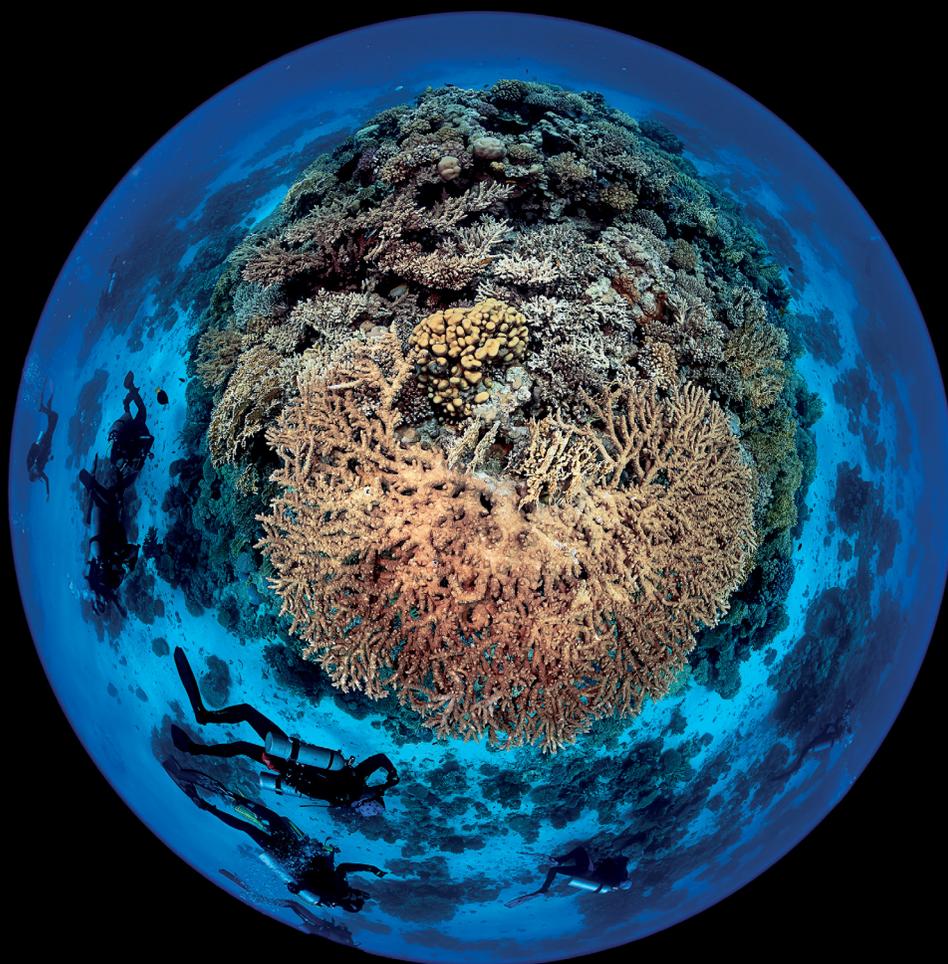


Вторая
Оценка состояния
Мирового
океана

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА II

Том I



Организация Объединенных Наций

**Вторая
Оценка состояния
Мирового
океана**

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА II

Том I



Организация Объединенных Наций

Фото на обложке: У Юнсэнь
Фотоконкурс Организации Объединенных Наций
ко Всемирному дню океанов

Публикация Организации Объединенных Наций
eISBN: 978-92-1-604011-6

Авторское право © Организация Объединенных Наций, 2021 год
Все права защищены
Отпечатано в Организации Объединенных Наций, Нью-Йорк

Вступительное слово Генерального секретаря

Минувший год принес беспрецедентные вызовы. Пандемия коронавирусного заболевания (COVID-19) расстроила жизни и жизненные уклады и обнажила хрупкость наших обществ. К сожалению, пандемия не единственный кризис, с которым сталкивается человечество. Не ослабевают изменение климата и утрата биоразнообразия, угрожающие устойчивому развитию и нашей выживаемости как вида. Эти вызовы особенно очевидны, когда мы смотрим на состояние той системы жизнеобеспечения нашей планеты, которой является океан.

В вышедшей в 2015 году первой «Оценке состояния Мирового океана» содержалось предупреждение о том, что многие участки океана серьезно деградировали и что наибольшей угрозой для него является неспособность что-то сделать с многочисленными нагрузками, вызываемыми человеческой деятельностью. Посыл второй «Оценки состояния Мирового океана» состоит в том, что ситуация не улучшилась, а многие из благ, даруемых океаном, находятся под угрозой. В «Оценке» дается совет: чтобы добиться устойчивости, мы должны сообща работать над совершенствованием комплексного распоряжения океаном, в том числе посредством совместных исследований, формирования потенциала и обмена данными, информацией и технологиями.

Океан играет немаловажную роль в достижении целей в области устойчивого развития и в обеспечении миллиардов людей средствами к существованию. Нам срочно необходимо изменить образ нашего взаимодействия с ним. Предстоящие Десятилетие Организации Объединенных Наций, посвященное науке об океане в интересах устойчивого развития, и Десятилетие Организации Объединенных Наций по восстановлению экосистем открывают для нас возможность больше понять и возможность исправить уже нанесенный ущерб. Приводимая во второй «Оценке» информация способна помочь в этом процессе, а также снабдить материалом профильные межправительственные конференции, намеченные на 2021 год.

Я настоятельно призываю лидеров и все заинтересованные стороны прислушаться к сделанным в «Оценке» предостережениям в ходе нашей работы над сохранением морской среды нашей планеты и устойчивым управлением ею. Давайте способствовать не только «зеленому», но и «голубому» восстановлению от пандемии COVID-19.

АНТОНИУ ГУТТЕРИШ

Резюме

В своих резолюциях 57/141 и 58/240 Генеральная Ассамблея постановила учредить в рамках Организации Объединенных Наций регулярный процесс в целях глобального освещения и оценки состояния морской среды, включая социально-экономические аспекты, как в настоящее время, так и в обозримом будущем, на основе существующих региональных оценок. В своей резолюции 71/257 Ассамблея напомнила, что в рамках первого цикла сфера охвата Регулярного процесса предусматривала определение исходного уровня, и постановила, что сфера охвата второго цикла будет расширена с целью оценки тенденций и выявления пробелов. Программой работы на период 2017–2020 годов для второго цикла Регулярного процесса предусматривается, что Группа экспертов Регулярного процесса глобального освещения и оценки состояния морской среды, включая социально-экономические аспекты, подготовит вторую «Оценку состояния Мирового океана», опираясь на исходные уровни, установленные в рамках первой глобальной комплексной морской оценки (первая «Оценка состояния Мирового океана»). В своей резолюции 72/73 Ассамблея постановила, что Группе экспертов следует исходить из того, что будет проведена единая комплексная оценка. Настоящий документ подготовлен Группой экспертов в соответствии с этими решениями.

Оговорки

Настоящий документ является произведением Группы экспертов Регулярного процесса глобального освещения и оценки состояния морской среды, включая социально-экономические аспекты, которая несет ответственность за его содержание. Члены Группы экспертов и контингента экспертов, участвовавшие в написании второй «Оценки состояния Мирового океана», внесли свой вклад в личном качестве. Члены Группы и контингента не являются представителями какого-либо правительства или какого-либо иного ведомства или организации.

Употребляемые обозначения (включая географические названия) и изложение материала (включая ссылки, карты и библиографию) в настоящем издании не означают выражения со стороны Организации Объединенных Наций какого бы то ни было мнения относительно названий и правового статуса любых стран, территорий, городов или районов или их властей либо относительно делимитации их границ или рубежей и не означают официального одобрения или поддержки Организацией Объединенных Наций. Содержащаяся в настоящем издании информация, проистекающая из предпринятых государствами действий и принятых ими решений, не означает официального одобрения, признания или поддержки таких действий и решений Организацией Объединенных Наций, и включение такой информации не наносит ущерба позиции какого-либо государства — члена Организации Объединенных Наций.

Предисловие

Учреждая Регулярный процесс глобального освещения и оценки состояния морской среды, включая социально-экономические аспекты, Генеральная Ассамблея задавалась целью обеспечить всесторонний обзор океана и взаимоотношений между океаном и людьми, охватывающий все экологические, социальные и экономические аспекты. Такому обзору предстояло послужить исходной основой для многочисленных решений, которые должны приниматься в этой области на международном, национальном и местном уровнях, чтобы заниматься устойчивым развитием. В 2015 году была завершена первая «Оценка состояния Мирового океана», ставшая важным шагом к этой цели.

Масштабность поставленной цели неизбежно привела не только к тому, что некоторые аспекты не получили полного раскрытия в первом итоговом документе Регулярного процесса, но и к тому, что с течением времени появилась необходимость его обновить, так как в нем оценивался период по 2015 год включительно. Поэтому Генеральная Ассамблея предусмотрела проведение дальнейших глобальных комплексных морских оценок, в которых будут фиксироваться сдвиги по сравнению с исходным уровнем, установленным в первой «Оценке», а по возможности — также демонстрироваться тенденции. В 2016 году она постановила, что вторую комплексную оценку следует подготовить к концу 2020 года.

В настоящем томе представлена вторая «Оценка состояния Мирового океана». Она дает больше информации по разным аспектам океана и его взаимоотношений с людьми (например, приводятся отдельные выкладки по абиссальным равнинам и морским гидратам), а вопросам, которые в первой «Оценке» рассматривались в разных разделах (например, состояние рыбных видов и морская инфраструктура), посвящены теперь отдельные главы.

Как и в случае с первой «Оценкой», подготовка настоящей «Оценки» стала масштабным начинанием, которое опиралось в основном на добровольные усилия сотен экспертов самого разного профиля — при поддержке из регулярного бюджета Организации Объединенных Наций. Как и прежде, Группе экспертов Регулярного процесса глобального освещения и оценки состояния морской

среды, включая социально-экономические аспекты, довелось организовать составление «Оценки», внести в нее свой вклад и окончательно ее оформить. Немаловажное содействие вновь оказали Секретариат, включая Отдел по вопросам океана и морскому праву, несколько международных организаций и ряд государств — членов Организации Объединенных Наций (подробнее об этом см. в главе 2). Группа экспертов признательна всем этим людям и учреждениям, но в соответствии с кругом ведения и методами работы, утвержденными Генеральной Ассамблеей, ответственность за окончательный текст несет в итоге сама Группа.

Основная часть текста была написана до вспышки пандемии коронавирусного заболевания (COVID-19). Последствия этой пандемии нашли некоторое отражение (например, они упоминаются в разделах главы 8А, посвященных рыболовству, судоходству и туризму), однако ее влияние на взаимодействия человека с океаном пока еще выясняется, и полноценным изучением этого влияния нужно будет заняться в третьем цикле Регулярного процесса. Вместе с тем океан и предоставляемые им услуги будут играть важную роль в восстановлении после пандемии. Стоит надеяться, что содержащаяся в настоящей «Оценке» информация поможет в этом деле.

В соответствии с руководящими указаниями, одобренными Генеральной Ассамблеей, настоящий документ не содержит политического анализа или политических рекомендаций — как не содержала их и первая «Оценка». Таким образом, правительствам стран и компетентным международным инстанциям предстоит самим решать, какие действия должны быть предприняты в свете оценочных заключений Регулярного процесса.

Ренисон Рува и Алан Симкок

Совместные координаторы Группы экспертов
Регулярного процесса

Йёрн Шмидт

Член Группы экспертов Регулярного процесса,
помогающий совместным координаторам

Содержание

Том I

	Стр.
Вступительное слово Генерального секретаря	iii
Резюме	v
Предисловие	vii
Часть первая: Резюме	1
Глава 1: Установочное резюме	3
Ключевые тезисы	5
1. Введение	5
2. Побудители	6
3. Очистка океана	7
4. Защита морских экосистем	10
5. Понимание океана ради устойчивого хозяйствования	13
6. Содействие защищенности от океана	15
7. Устойчивое поступление продовольствия из океана	17
8. Устойчивое экономическое использование океана	20
9. Эффективное осуществление международно-правовых норм, нашедших отражение в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву	22
Часть вторая: Введение	37
Глава 2: Подход к оценке	39
Ключевые тезисы	41
1. Предназначение второй «Оценки состояния Мирового океана»	41
2. Основная аудитория и рамки второй «Оценки состояния Мирового океана» ..	42
3. Подготовка второй «Оценки состояния Мирового океана»	43
4. Терминология	44
5. Выражение признательности	45
Справочная литература	45
Глава 3: Научное понимание океана	47
Ключевые тезисы	49
1. Введение	49
2. Описание изменений, происшедших после первой «Оценки состояния Мирового океана» в данных, технологиях и моделях, и последствий этих изменений для общего понимания, включая социально-экономические последствия	50
3. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	51
4. Перспективы научного понимания океана	56

5. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	56
6. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	57
Справочная литература	58
Часть третья: Побудители изменений в морской среде	63
Глава 4: Побудители	65
Ключевые тезисы	67
1. Введение	67
2. Побудители изменений в морской среде	68
3. Основные вопросы или аспекты, связанные с побудителями (в региональной разбивке)	72
4. Перспективы	74
5. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала ..	76
Справочная литература	76
Часть четвертая: Нынешнее состояние морской среды и характеризующие ее тенденции . . .	81
Глава 5: Тенденции, характеризующие физическое и химическое состояние океана	83
Ключевые тезисы	85
1. Введение	85
2. Физическое и химическое состояние океана	87
3. Пробелы в знаниях	100
4. Резюме	102
Справочная литература	103
Глава 6: Тенденции, характеризующие биоразнообразие основных таксонов морской биоты .	111
Введение	113
Глава 6А: Планктон (фитопланктон, зоопланктон, микробы и вирусы)	115
Ключевые тезисы	117
1. Введение	117
2. Резюме главы 6 первой «Оценки состояния Мирового океана»	118
3. Регионы, выбранные для настоящей «Оценки состояния Мирового океана» ..	119
4. Подсчеты разнообразия планктона	120
5. Микробный планктон	121
6. Метазоный зоопланктон	124
7. Зафиксированные тенденции	125
8. Перспективы	128
Справочная литература	129
Глава 6В: Морские беспозвоночные	141
Ключевые тезисы	143
1. Введение	143
2. Сжатое изложение ситуации, зафиксированной в первой «Оценке состоя- ния Мирового океана»	143
3. Описание экологических изменений (с 2010 по 2020 год)	144
4. Международная и правительственная реакция	151

5. Достижение соответствующих целей в области устойчивого развития и вклад в выполнение задачи 11 из Айтинских задач в области биоразнообразия	153
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала	154
Справочная литература	154
Добавление, составленное Группой экспертов Регулярного процесса глобального освещения и оценки состояния морской среды, включая социально-экономические аспекты	159
Справочная литература	159
Глава 6С: Рыбы	161
Ключевые тезисы	163
1. Введение	163
2. Зафиксированные изменения в состоянии рыбного биоразнообразия	165
3. Последствия изменений в биоразнообразии для человеческих сообществ, экономик и благополучия	168
4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	169
5. Перспективы	171
Справочная литература	172
Глава 6D: Морские млекопитающие	177
Ключевые тезисы	179
1. Введение	179
2. Китообразные	181
3. Ластоногие	184
4. Сирены	186
5. Куньи и белый медведь	186
6. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия	187
7. Перспективы	188
8. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	189
9. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	190
Справочная литература	190
Глава 6E: Морские пресмыкающиеся	195
Ключевые тезисы	197
1. Введение	197
2. Статус сохранности морских пресмыкающихся	197
3. Региональные тренды	199
4. Угрозы	201
5. Экономические и социальные последствия изменений в популяциях морских пресмыкающихся	203
6. Основные пробелы в знаниях и в формировании потенциала	204
Справочная литература	205

Глава 6F: Морские птицы	211
Ключевые тезисы	213
1. Введение	213
2. Описание экологических изменений (с 2010 по 2020 год)	214
3. Последствия изменений в популяциях морских птиц для человеческих сообществ, экономик и благополучия	217
4. Перспективы	218
5. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	219
6. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	220
Справочная литература	220
Глава 6G: Морские растения и макроводоросли	225
Ключевые тезисы	227
1. Введение	227
2. Мангры	227
3. Растения соленых маршей	229
4. Морские травы	230
5. Макроводоросли	232
6. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия	238
7. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала ..	240
8. Перспективы	240
Справочная литература	241
Глава 7: Тенденции, характеризующие состояние биоразнообразия в морских местообитаниях.	249
Введение	251
Глава 7A: Приливно-отливная зона	253
Ключевые тезисы	255
1. Введение	255
2. Описание экологических изменений с 2010 по 2020 год	258
3. Экономические и социальные последствия	259
4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	259
5. Перспективы	260
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	261
7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	261
Справочная литература	262
Глава 7B: Биогенные рифы и песчаные, илстые и скалистые береговые субстраты ..	265
Ключевые тезисы	267
1. Введение	267
2. Зафиксированные изменения в состоянии биогенных рифов и песчаных, илстых и скалистых береговых субстратов	270

3. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия	273
4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	275
5. Перспективы	277
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала ..	278
Справочная литература	279
Глава 7C: Атолловые и островные лагуны	287
Ключевые тезисы	289
1. Введение	289
2. Зафиксированные изменения в состоянии атоллов и островных лагун	290
3. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия	293
4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	294
5. Перспективы	295
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	295
7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	296
Справочная литература	297
Глава 7D: Тропические и субтропические коралловые рифы	303
Ключевые тезисы	305
1. Введение	305
2. Описание экологических изменений с 2010 по 2020 год	306
3. Описание экономических и социальных последствий и/или других экономических или социальных изменений	307
4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	308
5. Перспективы	310
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	311
7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	311
Справочная литература	312
Глава 7E: Холодноводные кораллы	319
Ключевые тезисы	321
1. Введение и резюме первой «Оценки состояния Мирового океана»	321
2. Описание экологических изменений с 2010 по 2020 год	323
3. Экономические и социальные последствия	327
4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	328
5. Перспективы	329
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	329
7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	331
Справочная литература	331
Глава 7F: Эстуарии и дельты	337
Ключевые тезисы	339

1. Введение	339
2. Зафиксированные изменения в состоянии эстуариев и дельт	340
3. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия	342
4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	343
5. Перспективы	344
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала ..	345
Справочная литература	346
Глава 7G: Луга морских трав	351
Ключевые тезисы	353
1. Введение	353
2. Социально-экономические последствия	354
3. Изменения (в региональной разбивке)	355
4. Перспективы	356
5. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	357
6. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	357
Справочная литература	360
Глава 7H: Мангры	363
Ключевые тезисы	365
1. Введение	365
2. Зафиксированные изменения в состоянии мангров с 2010 по 2020 год	366
3. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия	368
4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	369
5. Перспективы	370
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала ..	371
Справочная литература	372
Глава 7I: Солёные марши	379
Ключевые тезисы	381
1. Введение	381
2. Описание экологических изменений с 2010 по 2020 год	383
3. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия	384
4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	384
5. Перспективы	385
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	386
7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	387
Справочная литература	388
Глава 7J: Континентальные склоны и подводные каньоны	393
Ключевые тезисы	395

1. Введение	395
2. Сдвиги в понимании склонов и каньонов	398
3. Экосистемные услуги и блага, предоставляемые склонами и каньонами ..	402
4. Антропогенные воздействия	403
5. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	404
6. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	406
Справочная литература	407
Глава 7К: Высокоширотные льды	421
Ключевые тезисы	423
1. Введение	423
2. Описание экологических изменений с 2010 по 2020 год	424
3. Экономические и социальные последствия	428
4. Перспективы	430
5. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала ..	431
Справочная литература	431
Глава 7L: Подводные горы и скалы	437
Ключевые тезисы	439
1. Введение	439
2. Описание изменений в знаниях с 2010 по 2020 год	440
3. Описание экономических и социальных изменений	441
4. Основные исследования последних лет (в региональной разбивке)	442
5. Перспективы	444
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	445
7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	445
Справочная литература	446
Глава 7M: Абиссальные равнины	453
Ключевые тезисы	455
1. Введение	455
2. Сдвиг в базисных параметрах абиссального биоразнообразия и докумен- тирование его состояния и происходящих в нем изменений	456
3. Главные природные и антропогенные нагрузки	464
4. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия	466
5. Перспективы	468
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	469
Справочная литература	469
Глава 7N: Открытый океан	477
Ключевые тезисы	479
1. Введение	479
2. Экологические изменения в открытом океане с 2010 года	481

3. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия	484
4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	486
5. Перспективы	487
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	488
7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	488
Справочная литература	488
Глава 7O: Хребты, плато и желоба	495
Ключевые тезисы	497
1. Введение и резюме первой «Оценки состояния Мирового океана»	497
2. Описание экологических изменений с 2010 по 2020 год	499
3. Описание экономических и социальных изменений с 2010 по 2020 год	502
4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	505
5. Перспективы	506
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	507
7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	507
Справочная литература	508
Глава 7P: Гидротермальные источники и холодные просачивания	513
Ключевые тезисы	515
1. Введение	515
2. Экологические изменения за период после первой «Оценки состояния Мирового океана»	518
3. Экономические и социальные последствия	520
4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	522
5. Перспективы	524
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	525
7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	525
Справочная литература	525
Глава 7Q: Саргассово море	533
Ключевые тезисы	535
1. Введение	535
2. Изменения в состоянии	536
3. Институциональные механизмы	539
4. Последствия изменений	540
5. Перспективы	541
Справочная литература	541

Том II

Глава 8: Тенденции, характеризующие состояние человеческого общества в соотнесении с океаном	1
Глава 8А: Прибрежные сообщества и морские отрасли	3
Ключевые тезисы	5
1. Введение	5
2. Прибрежные сообщества	6
3. Промысловое рыболовство, добыча моллюсков и ракообразных и аквакультура	9
4. Судходство	10
5. Разработка морского дна	14
6. Морские углеводороды	14
7. Туризм и отдых	15
8. Морские генетические ресурсы	20
9. Морская возобновляемая энергетика	20
10. Опреснение	20
11. Производство соли	22
12. Основные пробелы в знаниях и в формировании потенциала	22
13. Перспективы	23
Справочная литература	24
Глава 8В: Влияние океана на человеческое здоровье	29
Ключевые тезисы	31
1. Введение	31
2. Общие аспекты зависимости здоровья людей от океана	31
3. Здоровье прибрежных сообществ по сравнению с сообществами, расположенными в глубине суши	37
4. Последствия контакта с зараженной морской водой	38
5. Проблемы для человеческого здоровья, которые вызывает питание морепродуктами	40
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала	42
7. Перспективы	43
Справочная литература	44
Часть пятая: Тенденции, характеризующие нагрузки на морскую среду	51
Глава 9: Нагрузки, обусловленные климатическими и атмосферными изменениями	53
Ключевые тезисы	55
1. Введение	55
2. Климатические нагрузки: экстремальные климатические явления и нагрузки, обусловленные изменениями физических и химических свойств океана	56
3. Формирование потенциала: Глобальная система наблюдений за закислением океана и Глобальная сеть по вопросам содержания кислорода в океане	66
4. Резюме	67
Справочная литература	68

Глава 10: Изменения в проникновении нутриентов в морскую среду	75
Ключевые тезисы	77
1. Введение	77
2. Ситуация, о которой сообщается в первой «Оценке состояния Мирового океана»	79
3. Характерные особенности и тенденции глобального масштаба	80
4. Характерные особенности и тенденции внутри регионов	83
5. Перспективы	90
Справочная литература	90
Глава 11: Изменения в осаждении в морской среде жидких веществ и атмосферных осадков с суши (в том числе через грунтовые воды), судов и морских установок	99
Ключевые тезисы	101
1. Введение	102
2. Ситуация, о которой сообщалось в первой «Оценке состояния Мирового океана»	102
3. Стойкие органические загрязнители, в том числе стоки, возникающие в результате использования сельскохозяйственных пестицидов	103
4. Металлы	111
5. Радиоактивные вещества	121
6. Фармацевтические препараты и средства личной гигиены	126
7. Атмосферные загрязнители (оксиды азота, оксиды серы)	129
8. Углеводороды, поступающие из наземных источников, с судов и морских установок (включая механизмы реагирования на разливы и утечки)	132
9. Другие вещества, используемые на морских установках или сбрасываемые с них	134
10. Связь с целями в области устойчивого развития	135
11. Основные сохраняющиеся в знаниях пробелы	136
12. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	138
Справочная литература	139
Глава 12: Изменения в объеме попадающих в морскую среду твердых отходов, за исключением отходов драгирования, и их распределении	151
Ключевые тезисы	153
1. Виды деятельности, приводящие к образованию морского мусора, включая пластмассы, брошенные орудия лова и микрочастицы и наночастицы пластмасс, а также оценка источников загрязнения, расположенных на суше, судах и морских установках	153
2. Сброс отходов в море, включая мусор с судов и осадки сточных вод	170
Справочная литература	177
Глава 13: Изменения в абразии и седиментации	185
Ключевые тезисы	187
1. Введение	187

2. Изменения в состоянии береговой абразии и седиментации	188
3. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия	192
4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	193
5. Перспективы	195
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала ..	195
Справочная литература	196
Глава 14: Изменения в прибрежной и морской инфраструктуре	201
Ключевые тезисы	203
1. Введение	203
2. Зафиксированные изменения в состоянии морской и прибрежной инфраструктуры	204
3. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия	207
4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	208
5. Перспективы	210
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала	211
Справочная литература	212
Глава 15: Изменения в промысловом рыболовстве и промысле морских беспозвоночных, относящихся к дикой фауне	215
Ключевые тезисы	217
1. Введение	217
2. Разница между уловом и выгрузкой, цели в области устойчивого развития и мелкое рыболовство	221
3. Выгруженные уловы беспозвоночных	225
4. Уровни прилова и косвенное воздействие	226
5. Послепромысловые рыбные потери	226
6. Потенциал для развития рыболовства	226
7. Использование белка и жиров морепродуктов в сельском хозяйстве и аквакультуре	226
8. Незаконный, несообщаемый и нерегулируемый рыбный промысел	227
9. Перспективы	228
10. Основные пробелы в знаниях	229
11. Основные пробелы в формировании потенциала	229
Справочная литература	230
Глава 16: Изменения в аквакультуре	235
Ключевые тезисы	237
1. Текущее состояние и основные улучшения	237
2. Аквакультура и окружающая среда	240
3. Аквакультура и общество	241
4. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	242

5. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	242
6. Перспективы	243
Справочная литература	244
Глава 17: Изменения в добыче и использовании морских водорослей	247
Ключевые тезисы	249
1. Введение	249
2. Зафиксированные изменения в области производства и использования морских водорослей (2012–2017 годы)	250
3. Последствия изменений в добыче и использовании морских водорослей для сообществ, экономик и благополучия	252
4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	252
5. Перспективы	253
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала ..	254
Справочная литература	254
Глава 18: Изменения в разработке морского дна	257
Ключевые тезисы	259
1. Введение	259
2. Изменения в масштабах и степени значимости разработки морского дна ..	262
3. Экологические аспекты	270
4. Экономические и социальные последствия	273
5. Потребности в наращивании потенциала	277
Справочная литература	278
Глава 19: Изменения в деятельности по разведке и добыче углеводородного сырья	281
Ключевые тезисы	283
1. Введение	283
2. Морская разведка и добыча углеводородов и вывод объектов из эксплуатации	285
3. Экономические, социальные и экологические аспекты морской разведки и добычи углеводородов и вывода соответствующих объектов из эксплуатации	288
4. Основные пробелы в знаниях и в формировании потенциала	290
5. Роль морского углеводородного сектора в содействии развитию морской возобновляемой энергетики	292
6. Заключение	293
Справочная литература	293
Глава 20: Динамика проникновения антропогенного шума в морскую среду	297
Ключевые тезисы	299
1. Введение	299
2. Описание состояния окружающей среды	300
3. Описание экономических и социальных последствий и других экономических и социальных изменений	308

4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)	308
5. Перспективы	310
6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях	312
7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала	313
Справочная литература	313
Глава 21: Сдвиги в области возобновляемых источников энергии	321
Ключевые тезисы	323
1. Введение	323
2. Состояние морской возобновляемой энергетики на глобальном уровне	324
3. Потенциальное воздействие освоения морских возобновляемых источников энергии на окружающую среду	329
4. Социально-экономические выгоды и последствия использования морских возобновляемых источников энергии	332
5. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала	334
6. Ожидаемые будущие тенденции	336
7. Справочная литература	337
Глава 22: Инвазивные виды	343
Ключевые тезисы	345
1. Введение	345
2. Зафиксированные исходные показатели и изменения в чужеродных видах	347
3. Последствия для человеческих сообществ, экономики и благополучия людей	348
4. Основные исходные показатели, изменения и последствия по конкретным регионам	350
5. Перспективы	355
6. Прочее	357
Справочная литература	357
Глава 23: Изменения в области исследования и использования морских генетических ресурсов	363
Ключевые тезисы	365
1. Введение	365
2. Тенденции в период между 2010 и 2020 годами	366
3. Экономические и социальные последствия и изменения	370
4. Ключевые региональные изменения в области знаний и их последствия	371
5. Пробелы в формировании потенциала	371
6. Методологические проблемы и будущие тенденции	373
7. Морские генетические ресурсы и цели в области устойчивого развития	374
Справочная литература	376
Глава 24: Морские гидраты — потенциально формирующийся вопрос	381
Ключевые тезисы	383
1. Введение	383

2. Что такое морские гидраты?	383
3. Потенциальные риски, связанные с морскими метаногидратами	386
4. Морские гидраты как источник энергии	388
5. Основные пробелы в знаниях и в формировании потенциала	390
6. Перспективы	390
Справочная литература	390
Глава 25: Кумулятивные эффекты	395
1. Введение	397
2. Оценки кумулятивных эффектов	398
3. Региональное использование результатов оценок кумулятивных эффектов на морскую среду: распределение и подходы	402
4. Перспективы	407
Справочная литература	415
Часть шестая: Тенденции, характеризующие подходы к управлению морской средой	423
Глава 26: Сдвиги в морском пространственном планировании	425
Ключевые тезисы	427
1. Введение	427
2. Виды морского пространственного планирования	428
3. Морское пространственное планирование: поэтапный подход к экосистемно ориентированному хозяйствованию	429
4. Инструменты морского пространственного планирования	430
5. Прогресс в осуществлении морского пространственного планирования ...	432
Справочная литература	438
Глава 27: Сдвиги в подходах к хозяйствованию	443
1. Введение	445
2. Подходы к хозяйствованию	446
3. Совершенствование подходов к распоряжению океаном	451
4. Инструменты хозяйствования в поддержку смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним, включая повышение устойчивости	460
5. Основные вопросы, касающиеся конкретных регионов	462
6. Формирование потенциала	464
7. Пробелы и перспективы на будущее	465
8. Перспективы	467
Справочная литература	468
Глава 28: Сдвиги в понимании общих выгод, получаемых человеком от океана	473
Ключевые тезисы	475
1. Введение	475
2. Блага и их распределение	480
3. Ущерб людям	481
4. Угрозы для обеспечиваемых океаном экосистемных услуг	481

5. Защита обеспечиваемых океаном выгод на основе регионального и международного сотрудничества и более эффективного осуществления норм международного права, отраженных в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву	482
Справочная литература	485
Приложения	489
Приложение I: Изначальный состав авторских коллективов, утвержденный Бюро	491
Приложение II: Состав рецензентов в разбивке по порученным им главам	499

Часть первая

Резюме

Глава 1

Установочное резюме

Участники: Мария Жуан Бебианно, Ван Цзюйин, Ка Тхань Ву, Карлос Гарсия-Сото, Тимон Зелиньский, Ильконида Калумпонг, Осман Ке Камара, Энрике Маршофф, Эсам Ясин Мохаммед, Хенн Оявеэр, Пак Чхуль, Иления Рандрианарисуа, Ренисон Рува, Алан Симкок, Анастасия Страти, Санаэ Тиба, Джошуа Т. Тухумвире, Йёрн Шмидт и Кэрен Эванс (Группа экспертов Регулярного процесса глобального освещения и оценки состояния морской среды, включая социально-экономические аспекты).

Ключевые тезисы

- Понимание океана продолжает улучшаться. Инновации, которым подверглись датчики и автономные наблюдательные платформы, позволили существенно активизировать наблюдения за океаном. Расширились региональные программы наблюдений, что сопровождается усилением координации и интеграции.
- С тех пор, как была обнародована первая «Оценка состояния Мирового океана»¹, произошло усовершенствование некоторых мер по митигации или снижению нагрузок и связанных с ними воздействий на океан. Это включает расширение и внедрение хозяйственных рамок для сохранения морской среды, в том числе создание охраняемых морских районов, а в некоторых областях — также улучшение борьбы с загрязнением и управления рыболовством. Однако многие нагрузки, порождаемые человеческой деятельностью, продолжают вызывать деградацию океана, включая такие важные местообитания, как мангры и коралловые рифы. Эти нагрузки связаны, в частности, со следующим: изменение климата; неустойчивое рыболовство, включая незаконный, несообщаемый и нерегулируемый промысел; привнесение инвазивных организмов; загрязнение атмосферы, вызывающее закисление и эвтрофикацию; чрезмерный приток нутриентов и опасных веществ, включая пластик, микро- и нанопластик; растущие уровни антропогенного шума; слабое регулирование деятельности по освоению прибрежной зоны и добыче природных ресурсов.
- По-прежнему мало количественных данных о воздействии нагрузок и об их кумулятивных эффектах. Общая неспособность добиться комплексного управления тем, как люди эксплуатируют побережья и океан, создает всё больше рисков для их способности пользоваться благами, которые дает океан, например в плане безопасности пищевых продуктов, обеспеченности продовольствием, получения материалов, обеспечения здоровья и благополучия людей, безопасности прибрежной зоны и поддержания ключевых экосистемных услуг.
- Совершенствование управления эксплуатацией океана человеком с целью обеспечить устойчивость такой эксплуатации потребует усиления координации и сотрудничества для наращивания потенциала в регионах, где его не хватает, достижения инноваций в морских технологиях, интеграции многодисциплинарных наблюдательных систем, внедрения комплексного хозяйствования и планирования, а также улучшения доступа к океанским знаниям и технологиям и обмена ими.
- Пандемия коронавирусной инфекции (COVID-19) серьезно сказывается на многих видах деятельности, осуществляемой человеком в океане. Полную картину тех последствий, которыми пандемия оборачивается для взаимодействия человека с океаном, еще предстоит выяснить.

1. Введение

Океан покрывает более 70 процентов поверхности планеты и образует 95 процентов биосферы. Изменения в океане сказываются на погодных системах, которые влияют на экосистемы как суши, так и моря. Океан и его экосистемы также обеспечивают глобальное сообщество существенными благами, включая регулирование

климата, защиту прибрежной зоны, продовольствие, занятость, отдых и культурное благополучие. Эти блага во многом зависят от поддержания океанических процессов, морского биологического разнообразия и смежных экосистемных услуг.

¹ United Nations, *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I* (Cambridge, Cambridge University Press, 2017).

Озабоченные ухудшением состояния океана, государства — члены Организации Объединенных Наций учредили по линии Генеральной Ассамблеи Регулярный процесс глобального освещения и оценки состояния морской среды, включая социально-экономические аспекты. Цель Регулярного процесса заключается в том, чтобы давать анализ состояния Мирового океана, предоставляемых им услуг и человеческой деятельности, влияющей на его состояние. В 2015 году была составлена первая «Оценка состояния Мирового океана». В ней был сделан вывод о том, что многие части океана серьезно деградировали и что если описанными в «Оценке» проблемами не заниматься, то они вызовут разрушительный цикл деградации и тогда океан уже не сможет обеспечивать людей многими из благ, на которые они рассчитывают. В рамках работы, намеченной для второго цикла Регулярного процесса, было подготовлено три документа с техническими тезисами, где обобщались выкладки первой «Оценки состояния Мирового океана» по таким конкретным темам, как изменение климата, биоразнообразии в районах за пределами действия национальной

юрисдикции и цель 14 в области устойчивого развития, посвященная сохранению морских экосистем (см. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи).

Вторая «Оценка состояния Мирового океана» актуализирует первую «Оценку» с учетом выясненных сдвигов и изменений за период с 2015 года и дополняет ее описанием других видов взаимодействия человека с океаном. Большая часть текста второй «Оценки» была написана до вспышки пандемии COVID-19, и потребуется время, чтобы стали видны все последствия этой пандемии. В подходящих случаях во второй «Оценке» анализируется, как сдвиги и изменения, происшедшие со времени первой «Оценки состояния Мирового океана», способствуют достижению соответствующих целей в области устойчивого развития. Также указаны сдвиги и изменения, которые имеют отношение к общественным целям, поставленным в рамках Десятилетия Организации Объединенных Наций, посвященного науке об океане в интересах устойчивого развития (см. резолюцию 72/73).

2. Побудители

Во второй «Оценке состояния Мирового океана» под побудителями понимаются социальные, демографические и экономические сдвиги в обществах, включая изменения в образе жизни и в соответствующих ему моделях потребления и производства, которые создают нагрузки на океан (гл. 4). Отношения между побудителями и нагрузками (и их воздействиями) сложны и динамичны, а их взаимовлияние приводит к кумулятивным взаимодействиям. В главе 4 названы следующие побудители:

a) рост численности населения и демографические изменения. Хотя по сравнению с показателями, наблюдавшимися в конце 1960-х годов, темпы замедлились, население мира продолжает увеличиваться, что сопровождается еще и ростом международной миграции. Степень, в которой рост численности населения в мире оборачивается нагрузкой на морскую среду, зависит от ряда переменных: где и как люди живут, каковы у

них модели потребления и какие технологии используются для производства энергии, продовольствия и материалов, транспортного сообщения и удаления отходов;

b) экономическая активность. В общемировом масштабе экономика продолжает расти, хотя и не так быстро, как отмечалось в первой «Оценке состояния Мирового океана», — что вызвано ослаблением промышленного производства и торговли. По мере роста численности населения планеты увеличивается спрос на товары и услуги, а вместе с ним увеличивается также потребление энергии и ресурсов. Многие страны выработали или вырабатывают стратегии, предусматривающие рост экономики, опирающейся на океан («голубая экономика»). Однако рост океанской экономики наталкивается на серьезное препятствие, а именно происходящее ухудшение здоровья океана и испытываемые океаном нагрузки;

- с) **технологические достижения.** Успехи в сфере технологий продолжают приводить к повышению эффективности, расширению рынков и усилению экономического роста. Внедрение инноваций отражалось на морской среде как положительно (повысилась эффективность генерирования энергии), так и отрицательно (появились избыточные рыбопромысловые мощности);
- д) **изменение структур управления и геополитическая нестабильность.** Совершенствование методов сотрудничества как на международном, так и на национальном уровнях и осуществление действенной политики в отдельных регионах способствовали сокращению некоторых нагрузок на океан. Однако ситуация, когда в регионах существуют коллизии по поводу морских границ и доступа к ресурсам, может подрывать действенность стратегий и соглашений, нацеленных на устойчивость;
- е) **изменение климата.** Антропогенные выбросы парниковых газов продолжали возрастать, вызывая дальнейшие долгосрочные климатические изменения и приводя в самых разных океанских акваториях к масштабным последствиям, которые влияют на океан и будут сохраняться веками. Воздействие климатических изменений было признано Конференцией сторон Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций

об изменении климата в ее решении 1/СР.21, которым было оформлено принятие Парижского соглашения², призванного упрочить глобальное реагирование на угрозы, исходящие от таких изменений.

Глобальное влияние этой пятерки побудителей проявляется не единообразно. Человеческие популяции распределены неравномерно, а рост численности населения в разных странах и регионах неодинаков. С 1980-х годов усиливается географическая диспропорциональность экономического роста. Отсюда возникают различия в технологических достижениях, когда некоторые страны обретают способность извлекать ресурсы с ранее недоступных участков, что сопровождается вероятностью усиления нагрузок на эти участки. Многие регионы, особенно если там располагаются наименее развитые страны, по-прежнему не имеют доступа к технологиям, которые способны помочь в устойчивом³ использовании морских ресурсов. Региональные споры и проявления геополитической нестабильности могут мешать осуществлению глобальных и региональных договоров и соглашений, сказываясь тем самым на экономическом росте, передаче технологий и установлении рамок для управления океанопользованием. Эффекты от изменения климата тоже не единообразны: в некоторых регионах, включая Северный Ледовитый океан, потепление происходит более высокими темпами, чем в среднем по миру (гл. 5).

3. Очистка океана

Отсутствие надлежащей обработки сточных вод и попадание в окружающую среду загрязнителей, генерируемых промышленными предприятиями, сельским хозяйством, туризмом, рыболовством и судоходством, продолжают ложиться на океан нагрузкой, отрицательно сказывающейся на обеспеченности продовольствием, безопасности пищевых продуктов

и морском биоразнообразии. Еще одной проблемой является морской мусор (от нано- до макроматериалов): причиняемый им ущерб может вызываться не только самим его присутствием, но и тем, что с мусором могут на большие расстояния переноситься загрязнители и некоренные организмы (гл. 10–12).

² См. FCCC/CP/2015/10/Add.1, решение 1/СР.21, приложение.

³ Если не указано иное, понятия «устойчивый» и «устойчивость» употребляются во всех их аспектах — экологическом, социальном и экономическом.

3.1. Увязка с целями в области устойчивого развития и с Десятилетием Организации Объединенных Наций, посвященным науке об океане в интересах устойчивого развития

Задача 14.1 целей в области устойчивого развития:

К 2025 году обеспечить предотвращение и существенное сокращение любого загрязнения морской среды, в особенности вследствие деятельности на суше, включая загрязнение морским мусором и питательными веществами

Ожидаемый результат проведения Десятилетия науки об океане:

Чистый океан с выявляемыми, купируемыми либо устранимыми источниками загрязнения

Концентрации некоторых загрязнителей (таких, как стойкие органические загрязнители и металлы) в определенных регионах снижаются, однако информация о таких концентрациях является пространственно неоднородной. Далеко не всё выяснено не только о недавно появившихся загрязнителях, но и о давно известных. В нескольких регионах по-прежнему недостает возможностей для применения внятных и последовательных стратегий и обязательного исполнения правил, призванных предупреждать и контролировать привнесение загрязнителей в океан (гл. 10–12 и 20).

В таблице 1 указаны конкретные проявления того, как прогресс в достижении других целей в области устойчивого развития будет способствовать выполнению задачи 14.1, а в таблице 2 – конкретные проявления того, как выполнение данной задачи будет способствовать прогрессу в достижении этих других целей.

3.2. Загрязнение нутриентами

Антропогенное привнесение азота и фосфора в прибрежные экосистемы, происходящее в результате прямого сброса, при стоке с суши, через реки и через атмосферу, в целом продолжало возрастать, несмотря на то, что попадание этих веществ в некоторые акватории сокращается благодаря более строгому контролю за их высвобождением. Из-за чрезмерного поступления таких нутриентов усиливается проблема

эвтрофикации, и количество гипоксических зон (называемых иногда «мертвыми зонами») во всем мире увеличилось с более чем 400 в 2008 году до примерно 700 в 2019-м. К наиболее затронутым экосистемам относятся северная часть Мексиканского залива, Балтийское и Северное моря, Бенгальский залив, а также Южно-Китайское и Восточно-Китайское моря. По оценкам, в течение первой половины XXI века объемы азота, привносимого в прибрежную зону человеком, удвоятся. Прогнозируется также, что, поскольку изменение климата ведет к повышению океанских температур и к изменениям в стратификации и океанических течениях, будет усугубляться дезоксигенация (гл. 5), в частности в прибрежных областях Африки, Южной Америки, Южной и Юго-Восточной Азии и Океании (гл. 10).

3.3. Опасные вещества

Продолжались развитие промышленности и рост интенсивности сельского хозяйства, в результате чего в океан не перестают привноситься опасные вещества, список которых пополняется. Среди новых позиций в этом списке – фармацевтические препараты, средства личной гигиены и наноматериалы, для отфильтровывания которых из сточных вод во многих районах мира нет возможностей. Фармацевтические препараты и средства личной гигиены всё чаще обнаруживаются во всех океанских акваториях, в том числе в Северном Ледовитом и Южном океанах. Замечено, что ряд таких предметов причиняет вред растениям и животным, однако масштаб их воздействия на морские организмы неизвестен, во многом по той причине, что они не являются обычно объектом мониторинга (гл. 11).

Хотя Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях⁴ положительно в целом повлияла на ситуацию с глобальными концентрациями таких загрязнителей, они по-прежнему обнаруживаются в морских акваториях и у морских организмов вдали от тех мест, где эти загрязнители производятся и используются. Получены данные, показывающие, что даже низкие концентрации снижают репродуктивный успех у морских организмов, включая арктических тюленей. По большинству областей океана информация о тенденциях отсутствует (гл. 11).

⁴ United Nations, *Treaty Series*, vol. 2256, No. 40214.

Минаматская конвенция о ртути⁵ привела в целом к снижению глобальных концентраций ртути, и в большинстве регионов есть свидетельства того, что концентрации ртути в океане стабилизируются. Вместе с тем есть сообщения о небольшом увеличении концентраций некоторых металлов, обнаруживаемых у организмов более высокого трофического уровня. Чтобы точнее оценить динамику концентраций металлов, по прибрежным зонам всего мира необходимо провести анализ расширенных временных рядов, охватывающий содержание металлических наночастиц в океане (гл. 11).

Концентрации большинства радиоактивных веществ продолжают снижаться: происходит распад этих веществ, попавших в океан в прошлом. С 2011 года не было крупных ядерных аварий, а выбросы предприятий в Европе, перерабатывающих ядерное топливо, продолжают существенно сокращаться. Сохраняются выбросы меньшего объема радионуклидов ядерно-энергетическими реакторами, действующими в 30 странах (гл. 11).

Повсеместно продолжало снижаться количество судовых аварий: с 2014 по 2018 год среднегодовое количество погибших судов валовой вместимостью более 100 т составляло 88 единиц, тогда как за предыдущее пятилетие оно составило 120. Достигается прогресс в сокращении загрязнения воздуха с судов. Редким явлением оставались и разливы нефти: с 2010 по 2018 год среднегодовое количество случаев, когда с нефтяных танкеров разливалось более 7 т нефти, составляло 6, тогда как за предыдущее десятилетие оно составило 18. Выбросы углеводородов в морскую среду происходят и с морских нефтегазовых установок, однако долгосрочные последствия таких выбросов остаются невыясненными (гл. 11 и 19).

3.4. Твердые отходы

Объемы твердых отходов (включая морской мусор), попадающих в разные океанские акватории мира в результате непреднамеренных выбросов и преднамеренного дампинга, количественно в основном не определены. До 80 процентов

морского мусора приходится на пластик, приток которого в океан через реки оценивается в 1,15–2,41 млн т ежегодно. Зафиксировано присутствие пластика у более чем 1400 видов морских организмов. О воздействии микрочастиц (размером менее 5 мм) и наночастиц (менее 100 нм) пластика известно меньше, однако наблюдались случаи проникновения пластиковых наночастиц в клетки организмов. Эти две группы частиц пластика либо образуются при разложении его макрочастиц, либо изготавливаются специально (например, как ингредиенты для средств личной гигиены). Сброс осадка сточных вод, а также органических и неорганических отходов по-прежнему носит ограниченный характер, причем сброс осадка сточных вод продолжает сокращаться в результате осуществления Конвенции по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов 1972 года (Лондонская конвенция)⁶ и Протокола 1996 года к ней⁷ а также многочисленных региональных конвенций. Однако отчетности, предусмотренной этими соглашениями, поступает по-прежнему недостаточно, что создает неопределенность относительно масштабов дампинга. Небольшой риск продолжают представлять сбрасываемые в море боеприпасы: они опасны как для морской экосистемы, так и рыбаков, которым они могут попадать в сети. При этом недавние исследования позволяют предположить, что высвобождение содержащихся в боеприпасах соединений может оказывать сублетальное генетическое и метаболическое воздействие на морские организмы (гл. 12).

3.5. Шум

Антропогенное зашумление океанских акваторий имеет много источников (деятельность судов, разведка и добыча нефти и газа, промышленные работы, функционирование гидролокаторов и т. д.) и отмечается временными и пространственными вариациями. Наиболее затронутыми оказываются регионы, характеризующиеся интенсивным промышленным использованием, например Мексиканский залив, Северное море и Атлантический океан. Зашумление, в отличие от многих других видов загрязнения моря, прекра-

⁵ UNEP(DTIE)/Hg/CONF/4, приложение II. Конвенция вступила в силу 16 августа 2017 года.

⁶ United Nations, *Treaty Series*, vol. 1046, No. 15749.

⁷ Лондонский протокол вступил в силу 24 марта 2006 года.

щается после удаления его источника из морской среды. За последние два десятилетия удалось больше узнать о влиянии антропогенного шума на морское биоразнообразие: на примере ряда таксонов (от зоопланктона до морских млекопитающих) выявлены различные прямые и косвенные воздействия. Понимание этих воздействий повышалось параллельно с тем, как росло признание необходимости следить за шумлением морской среды, а также выяснять и снижать шумовые воздействия. Притом что предпринимаются определенные усилия по снижению шума, создаваемого различными источниками, интенсификация океанопользования, скорее всего, сведет эти усилия на нет (гл. 20).

3.6. Основные пробелы в знаниях и в формировании потенциала

Срочно необходимы методы стандартизации мониторинга загрязнителей, включая шум, и наборы данных, позволяющие оценивать как

пространственные, так и временные различия в загрязнителях и устанавливать приоритеты. Необходимо наращивать способность к снижению объемов загрязнителей, привносимых в океан, в частности путем внедрения более чистых производств, более тихих технических решений, а также более дешевых и легких в применении технологий обработки сточных вод. Было бы желательно располагать общей базой данных об опасных веществах и исходными сведениями о естественном акустическом фоне: это поможет оценивать риски и заниматься моделированием. Поскольку во многих районах мира слабо выяснен размах трансграничного загрязнения морской среды (особенно когда речь идет о загрязнителях, переносимых по воздуху), необходимы более точные данные об источнике и переносе загрязнения. Наконец, необходимо лучше разобраться в воздействии загрязнителей, включая антропогенный шум, на морскую среду (гл. 10–12 и 20).

4. Защита морских экосистем

Основные угрозы морским экосистемам исходят от человеческой деятельности, такой как рыболовство, аквакультура, судоходство, добыча песка и минералов, разработка нефтяных и газовых месторождений, строительство инфраструктуры возобновляемой энергетики, застройка прибрежной зоны и загрязнение, в том числе вызываемое выбросом парниковых газов.

4.1. Увязка с целями в области устойчивого развития и с Десятилетием Организации Объединенных Наций, посвященным науке об океане в интересах устойчивого развития

Задача 14.2 целей в области устойчивого развития:

К 2020 году обеспечить рациональное использование и защиту морских и прибрежных экосистем с целью предотвратить значительное отрицательное воздействие, в том числе путем повышения стойкости этих экосистем, и принять меры по их восстановлению для обеспечения хорошего экологического состояния и продуктивности океанов

Задача 14.5 целей в области устойчивого развития:

К 2020 году охватить природоохранными мерами по крайней мере 10 процентов прибрежных и морских районов в соответствии с национальным законодательством и международным правом и на основе наилучшей имеющейся научной информации

Ожидаемый результат проведения Десятилетия науки об океане:

Экологически благополучный и жизнеспособный океан с изученными, восстановленными, охраняемыми и разумно используемыми морскими экосистемами

Многие морские организмы и местообитания продолжают подвергаться неблагоприятному воздействию усиливающихся антропогенных нагрузок (гл. 6A–6G и 7A–7Q; см. также ниже, разд. 5). Улучшается понимание того, как морские организмы и местообитания распределяются, каково их состояние и в чем выражается антропогенная нагрузка на них. В 2020 году охраняемые морские районы покрывали 18 процентов океанских акваторий, находящихся под национальной юрисдикцией (что составляет

примерно 8 процентов всей площади океана), и около 1 процента морских пространств, находящихся за пределами национальной юрисдикции (гл. 27).

В таблице 1 указаны конкретные проявления того, как прогресс в достижении других целей в области устойчивого развития будет способствовать выполнению задач 14.2 и 14.5, а в таблице 2 — конкретные проявления того, как выполнение данных задач будет способствовать прогрессу в достижении этих других целей.

Защита морских экосистем прописана в различных международных соглашениях, таких как Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву⁸ и Конвенция о биологическом разнообразии⁹, а также в региональных конвенциях и национальном законодательстве. Однако, невзирая на задаваемые такими соглашениями и конвенциями ориентиры, состояние многих морских организмов и местообитаний продолжает в глобальном масштабе ухудшаться, что подвергает риску функционирование экосистем. Кроме того, изменение климата приводит к потеплению океана, закислению, изменениям в циркуляции, концентрированию растворенного кислорода и росту интенсивности влагооборота. В результате ослабевает перенос питательных веществ, образующихся как первичная продукция, из поверхностных слоев морской воды в глубокие. Во всем мире зафиксировано около 2000 морских биологических видов, которые в результате человеческой деятельности подверглись интродукции за пределами их естественного ареала (гл. 5, 6A–6G, 7A–7Q и 22).

Многие рамки, настраивающие хозяйствование на защиту морских экосистем, имеют секторальную направленность, в силу чего в разных секторах могут действовать разные ориентиры по части защиты морской среды. Инструменты хозяйствования могут быть зонально привязанными (например: создание охраняемых морских районов, закрытие промыслов) или не иметь такой привязки (например: глобальный контроль за выбросами, контроль за уловом и промысловым усилием, введение технических ограничений).

Подходы к хозяйствованию всё менее фокусируются на узкосекторальных запросах и всё более — на учете разнообразных связей между аспектами экологическими и социальными, экономическими и культурными. При экосистемном подходе происходит интеграция экологических, социальных и экономических аспектов на глобальном, региональном, национальном или местном уровне. Неотъемлемой частью рамок, регулирующих хозяйствование, становится культурная информация — как ради принятия хозяйственных решений в привязке к интересам местных сообществ, так и ради сбережения культурной грани морской среды. Такая информация может быть разнообразной и не иметь материальной составляющей. Ею может становиться, например, информация о традиционном использовании морских ресурсов, о морских путях, о древних навигационных навыках, об отождествлении с морем, о морских легендах, ритуалах, верованиях и обычаях, об эстетических и вдохновляющих качествах, о культурном наследии и о местах, имеющих духовную, священную и религиозную значимость (гл. 27).

В некоторых регионах, в частности в Юго-Восточной Азии, стремление гармонично сочетать освоение и защиту прибрежных зон с защитой экологии и среды обитания приводит к внедрению таких подходов, как «развитие голубой инфраструктуры» и природоориентированные решения (гл. 8A, 13 и 14).

4.2. Прибрежные экосистемы

Несмотря на умножение охраняемых морских районов и расширение рамсарских угодий¹⁰, мангры (кроме как в регионе Красного моря) и луга морских трав (особенно в Юго-Восточной Азии) продолжают сокращаться: 19 процентов мангров и 21 процент видов морских трав отнесены к категории «Близкие к угрожаемым». Комбинированное воздействие океанского потепления и человеческой активности всё сильнее сказывается на тропических и субтропических коралловых рифах и ламинариевых лесах во всем мире. В последнее время коралловые рифы ежегодно переживают массовое обесцвечивание.

⁸ United Nations, *Treaty Series*, vol. 1834, No. 31363.

⁹ *Ibid.*, vol. 1760, No. 30619.

¹⁰ См. Конвенцию о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение, главным образом в качестве местообитаний водоплавающих птиц (United Nations, *Treaty Series*, vol. 996, No. 14583).

чивание, а ламинариевые леса страдают от эпизодов морской жары (гл. 9), что приводило к их стремительной гибели (гл. 6G, 7D и 7H).

В целом около 6 процентов известных видов рыб и почти 30 процентов видов пластиножаберных отнесены к категории «Близкие к угрожаемым» или «Уязвимые». Статус морских млекопитающих в глобальном масштабе варьируется: в некоторых группах (сирены, пресноводные дельфины, белые медведи, выдры) 75 процентов видов классифицируются как «уязвимые», «находящиеся в опасности» или «находящиеся в критической опасности». Многие виды крупных китов, бывших ранее объектом промысла, сейчас восстанавливаются благодаря введению запретов на их коммерческий лов, мер по его регулированию и национальных планов по восстановлению популяций. Статус сохранности морских пресмыкающихся сильно варьировался: в одних регионах определенные популяции благодаря их защите увеличились, тогда как в других происходит сокращение популяций из-за сохраняющихся или возрастающих угроз. Глобальный статус сохранности морских птиц ухудшился: более 30 процентов их видов отнесены в настоящее время к категории «Уязвимые», «Находящиеся в опасности» или «Находящиеся в критической опасности» (гл. 6C–6F).

4.3. Экосистемы открытого океана и морского глубоководья¹¹

Акватории открытого океана продолжают страдать от загрязнения морской среды, потепления, закисления и дезоксигенации. Представляется, что нутриенты, привнесенные из Амазонки и приподнятые апвеллингом у побережья Западной Африки, вызвали массовое цветение плавающих саргассовых водорослей: их скопление массой 20 млн т начало формироваться в 2011 году в экваториальной области Атлантического океана, а к 2018 году оно растянулось на 8850 км вдоль этой области (гл. 7N, 10 и 12).

Удалось больше выяснить о распространении холодноводных кораллов: сейчас известно, что они встречаются вдоль континентальных окраин, срединно-океанических хребтов и подводных гор по всему миру. Этим и другим элементам глубо-

ководного ландшафта (подводные горы, скалы, хребты, желоба, гидротермальные источники и холодные просачивания) продолжают угрожать рыбный промысел, бурение морских нефтяных скважин, разработка глубоководных полезных ископаемых, загрязнение, в том числе загрязнение пластиковыми отходами, и (в меньшей степени) изменение климата. Определенные усилия, направленные на сдерживание глубоководного донного траления и создание охраняемых морских районов там, где встречаются холодноводные кораллы, позволили частично восстановить некоторые поврежденные сообщества таких кораллов. Однако выздоровление таких местобитаний может занять десятилетия или даже столетия, что затрудняет выявление тенденций к улучшению ситуации (гл. 7E, 7L, 7O и 7P).

4.4. Основные пробелы в знаниях и в формировании потенциала

С 2015 года каждую неделю удается описать в среднем по одному новому виду рыб, что показывает, сколь много еще предстоит открыть. После выпуска первой «Оценки» знания о составе и функционировании экосистем улучшились, однако сохраняются пробелы, особенно в том, что касается экосистем морского глубоководья и планктонных и бентических организмов открытого океана. Сохраняются также пробелы в понимании биологии и экологии прибрежных организмов, особенно обитающих в территориальных водах развивающихся стран. Нет хорошо организованной структуры для изучения примерно 2000 некоренных видов, которые в результате человеческой деятельности распространились на новые ареалы, и их воздействия на естественные экосистемы. Менее чем у 1 процента видов макроводорослей оценен их статус сохранности (гл. 6A–6C, 6G, 7N и 22).

Хотя экосистемный подход получил широкое признание как эффективная основа для регулирования антропогенных воздействий, необходимо и дальше заниматься исследованиями и наращивать возможности, чтобы полноценно реализовать потенциал этого подхода во всех акваториях Мирового океана. Во многих регионах недостает необходимой информации, чтобы выяснять связи между экологическими причи-

¹¹ Определения терминов «открытый океан» и «морское глубоководье» см. в гл. 2, разд. 4.

нами и следствиями и сопоставлять их с социально-экономическими приоритетами при принятии решений. Усиление сотрудничества в деле мониторинга поможет объединить возможности разных секторов и учреждений и повысить эффективность мониторинговой деятельности,

данных и информации. Повышение способности к пониманию и внедрению хозяйственных подходов поможет правительствам и другим заинтересованным сторонам уяснить, какие у них есть варианты для хозяйствования в морских районах и распоряжения ими (гл. 27).

5. Понимание океана ради устойчивого хозяйствования

Устойчивого использования океана невозможно добиться, не достигнув глубокого понимания того, какие процессы происходят в океане и как он функционирует, и не имея отчетливого представления о том, как на океане сказывается человеческая деятельность (гл. 8А и 27).

5.1. Увязка с целями в области устойчивого развития и с Десятилетием Организации Объединенных Наций, посвященным науке об океане в интересах устойчивого развития

Задача 14.3 целей в области устойчивого развития:

Минимизировать и ликвидировать последствия закисления океана, в том числе благодаря развитию научного сотрудничества на всех уровнях

Задача 14.а целей в области устойчивого развития:

Увеличить объем научных знаний, расширить научные исследования и обеспечить передачу морских технологий, принимая во внимание Критерии и руководящие принципы в отношении передачи морских технологий, разработанные Межправительственной океанографической комиссией, с тем чтобы улучшить экологическое состояние океанской среды и повысить вклад морского биоразнообразия в развитие развивающихся стран, особенно малых островных развивающихся государств и наименее развитых стран

Ожидаемый результат проведения Десятилетия науки об океане:

- предсказуемый океан с обществом, которое осведомлено о происходящих в его состоянии изменениях и способно на них реагировать;
- доступный океан, предполагающий открытый и равный доступ к данным,

информации, технологиям и инновационным разработкам;

- **вдохновляющий и влекущий к себе океан, понимаемый и ценимый обществом в качестве источника благосостояния человека и фактора устойчивого развития.**

В океан продолжает, пусть и нерегулярно, попадать диоксид углерода, что приводит к закислению океана. В сочетании с другими нагрузками это негативно сказывалось на целом ряде живых организмов (в частности таких, у которых имеется раковина или панцирь из карбоната кальция), что может в потенциале изменить биоразнообразие и экосистемную структуру. Закисление океана, которое накладывается на рост температур, подъем уровня моря, дезоксигенацию и учащение экстремальных климатических явлений, еще больше угрожает способности прибрежных экосистем предоставлять товары и услуги (гл. 5 и 9).

Всё стремительнее возрастает научное понимание океана, его функционирования и испытываемых им воздействий. Однако по многим частям океана, особенно по районам за пределами национальной юрисдикции, сохраняются пробелы в знаниях и возможностях. Работа над количественной оценкой кумулятивных эффектов от тех нагрузок, которым подвергается океан, — равно как и над количественным определением всеобъемлющих и стандартизованных индикаторов здоровья океана — только начинается. Для применения комплексных подходов к регулированию антропогенных воздействий на океан по-прежнему необходима способность наделять людей доступом к научным знаниям и возможностью их использовать (гл. 3, 25 и 27).

В таблице 1 указаны конкретные проявления того, как прогресс в достижении других целей в области устойчивого развития будет способствовать выполнению задач 14.3 и 14.а, а в

таблице 2 — конкретные проявления того, как выполнение данных задач будет способствовать прогрессу в достижении этих других целей.

5.2. Глобальное научное понимание

Технологические и конструкторские инновации, затрагивающие датчики и автономные наблюдательные платформы, позволили собирать океанские данные при большем временном и пространственном разрешении и распространять эти наблюдения на удаленные районы. Получению большего объема данных наблюдений за океаном способствует также появление экономичных и простых в использовании датчиков, сопровождающееся созданием мобильных приложений, более широким участием граждан и размещением датчиков на судах, не имеющих научного профиля. Эти достижения позволили полнее разобраться в том, какие физические и биогеохимические системы действуют в океане и как океан меняется в ответ на изменение климата, а также расширить возможности для моделирования океанской обстановки в глобальном и региональном масштабах (гл. 3 и 5).

Налаживание сетевых связей и координация региональных наблюдательных программ способствовали дальнейшему развитию глобальных наблюдений за океаном в рамках интегрированной системы. В рамках международных инициатив осуществляются также стандартизация и гармонизация наблюдательных методов. Кроме того, созданы площадки для перенимания передовых наработок в деле наблюдения за океаном, обмена данными и диалога между сообществами с целью повышать эффективность использования данных об океане на благо общества (гл. 3).

5.3. Устойчивое хозяйствование

За последние два десятилетия разработано множество рамочных систем для оценки взаимовлияния человеческой деятельности и природных явлений («кумулятивные эффекты»), которые оперируют разными подходами, используют разную терминологию и применяются в разных масштабах. Они включают оценки экологического воздействия и стратегические экологические оценки (наряду с другими оценками окружающей среды) и являются инструментами, выдающими полезную информацию для морского пространственного планирования и для распоряжения ресурсами (гл. 25–27).

Рамочные системы как для морского пространственного планирования, так и для хозяйствования в океане складываются из самых разных процессов, но их роднят такие общие цели, как выявление тех, кто пользуется морской средой, планирование деятельности этих пользователей и введение той или иной формы регулирования такого пользования для обеспечения устойчивости. В целом морское пространственное планирование достигало наибольшей эффективности, когда к нему подключались все соответствующие ведомства и заинтересованные стороны и когда оно охватывало экономические, экологические и социальные аспекты. Социальные аспекты, а также социальные и культурные ценности всё чаще признаются в рамочных системах хозяйствования, однако взаимосвязка множества разнородных ценностей — задача непростая. Учет множественных ценностей лучше всего достигается путем взаимодействия с затрагиваемыми сообществами, что побуждает признать значимость таких хозяйственных решений, которые привязаны к интересам этих сообществ и настраивают на чуткое отношение к культурным граням моря при осуществлении экосистемных подходов к хозяйствованию. Стимулом к признанию сильных сторон таких хозяйственных решений стало более глубокое понимание устоявшихся (традиционных и автохтонных) прав на прибрежную морскую среду, форм владения ею и видов ее использования. Культура обладает потенциально мощной силой и как фактор, который необходимо направлять и контролировать, и как фундамент, на котором в контексте устойчивого развития могут быть выстроены экосистемные подходы, включающие в себя хозяйствование (гл. 26 и 27).

5.4. Основные пробелы в знаниях и в формировании потенциала

В мире сохраняются диспропорции в том, где сосредоточены знания, помогающие экосистемно ориентированному хозяйствованию. Большая (судя по количеству публикаций) часть имеющихся исследований и сведений относится к северной части Атлантического и Тихого океанов и к Северному Ледовитому океану. Диспропорции в инфраструктуре и профессиональном потенциале сдерживают океанские исследования, что приводит к региональным и национальным диспропорциям в научном понимании. Чтобы лучше отслеживать значительные изменения в физиче-

ской и биогеохимической среде и их воздействия на экосистемы и общество, необходимы дальнейшая интеграция многопрофильных наблюдательных систем и совершенствование моделей. Для поддержания таких систем также необходимы новаторские стратегии финансирования (гл. 3).

Большинство оценок, посвященных кумулятивным эффектам, сосредоточено, как правило, на нынешней и прошлой деятельности в морской среде. В свою очередь, объектами морского пространственного планирования часто становятся такие места, где уже осуществляется какая-то деятельность, а многие хозяйственные рамки призваны регулировать уже ведущиеся работы по добыче и использованию ресурсов, что придает этим инструментам ретроспективный характер. Для того чтобы можно было про-

думанно планировать будущую деятельность и продвигать такое хозяйствование, которое способно адаптироваться к будущим условиям и поддерживать экосистемы и людское благополучие, необходимы оценки, позволяющие «предвидеть». Выработка таких подходов — процесс непростой, требующий значительных усилий. Для поддержки холистического управления необходимо повышать потенциал трансграничного сотрудничества, укреплять возможности для взаимодействия между наукой и политикой, усиливать координацию общественных наук с науками естественными и научной деятельности с гражданским обществом, охватывая при этом и промышленность, а также признавать традиционные знания, культуру и социальную историю (гл. 25–27).

6. Содействие защищенности от океана

Целый ряд явлений, происходящих в океане и на его поверхности, угрожает людям, которые живут около океана, трудятся в океане или зависят от океана как источника их пищи. Примерами таких явлений являются цунами, штормовые нагоны, блуждающие волны, циклоны, ураганы и тайфуны, затопление побережья, абразия, морская жара и вредоносное цветение водорослей. Океан выступает в качестве сильного стимулятора гидрологической изменчивости (которая может происходить с интервалом от внутрисезонного до межгодового — либо с более длительным интервалом), проявляющейся над сушей в виде, например, засухи или дождливости (гл. 9). Такие явления, накладываясь на различные эффекты, порождаемые попаданием в морскую среду опасных веществ и избыточных нутриентов, способны угрожать продовольственной безопасности и мешать устойчивому экономическому развитию.

6.1. Увязка с целями в области устойчивого развития и с Десятилетием Организации Объединенных Наций, посвященным науке об океане в интересах устойчивого развития

Задача 14.1 целей в области устойчивого развития:
К 2025 году обеспечить предотвращение и существенное сокращение любого загрязнения

морской среды, в особенности вследствие деятельности на суше, включая загрязнение морским мусором и питательными веществами

Задача 14.3 целей в области устойчивого развития:

Минимизировать и ликвидировать последствия закисления океана, в том числе благодаря развитию научного сотрудничества на всех уровнях

Ожидаемый результат проведения Десятилетия науки об океане:

Безопасный океан, рядом с которым жизнь людей и источники их дохода защищены от связанных с морской стихией бедствий

В результате изменения климата растет частота и серьезность эпизодов морской жары, а также тропических циклонов, ураганов и тайфунов, однако такой рост можно сократить благодаря усилиям по митигации климатических изменений. Как указывалось выше, океан стимулирует изменчивость гидрологической обстановки также и над сушей. Строительство плотин и водохранилищ приводит в некоторых районах к более чем 50-процентному сокращению притока наносов к побережью, вызывая абразию дельт и прилегающих берегов. В результате загрязнения морской среды нутриентами участились случаи вредоносного цветения водорослей. Количество загрязнителей в океане продолжает расти, так что смеси, которые приходят в контакт с биотой и вбираются трофическими системами, становятся более изощренными (гл. 9–11 и 13).

В таблице 1 указаны конкретные проявления того, как прогресс в достижении других целей в области устойчивого развития будет способствовать выполнению задач 14.1 и 14.3, а в таблице 2 — конкретные проявления того, как выполнение данных задач будет способствовать прогрессу в достижении этих других целей.

6.2. Опасности со стороны океана

Наряду с такими сохраняющимися угрозами, как цунами, приходится наблюдать, что районы и ассоциированные с ними сообщества, которые ранее не страдали от подъема уровня моря, начинают всё чаще им затрагиваться из-за изменения климата. Подъем уровня моря может также усугублять береговую абразию. За последние десятилетия усилились осадки, ветры и экстремальные изменения уровня моря, связанные с тропическими циклонами, и повысилась ежегодная доля происходящих во всем мире тропических циклонов, относимых к категории 4 или 5. Из-за того что штормы начинают проходить по беспрецедентным траекториям, возрастают риски для мест, которые ранее штормам не подвергались. Преодоление рисков, вызываемых изменением траекторий и интенсивности штормов, оказывается непростой задачей в силу трудностей с организацией раннего оповещения и в силу нерасположенности затрагиваемого населения к реагированию (гл. 9 и 13).

На протяжении последних двух десятилетий эпизоды морской жары негативно сказывались на морских организмах и экосистемах во всех океанских бассейнах. Прогнозируется, что при глобальном потеплении в будущем частота, продолжительность, пространственный масштаб и интенсивность таких явлений будут возрастать. В результате у некоторых морских организмов, рыбных промыслов и экосистем будет превышена их способность к восстановлению, что приведет к каскадной реакции, отражаясь на экономиках и на обществах. Всё больше проблем порождает береговая абразия,

вызываемая, например, уменьшением притока речных наносов к побережью (из-за изменения режима регулирования рек), добычей прибрежного песка и изъятием прибрежных территорий под строительство. Эти проблемы усугубляются изменениями в профиле побережья, которые происходят после уничтожения мангров, соленых маршей и барьерных островов. Из-за применения синтетических удобрений, сжигания ископаемого топлива и прямого привнесения городских отходов увеличились объемы азота и фосфора, попадающих в прибрежные экосистемы через речной сток и при осаждении из атмосферы. Это влечет за собой учащение случаев вредоносного, в том числе токсичного, цветения водорослей, способного делать рыб, моллюсков и ракообразных ядовитыми, а как следствие — вызывать паралич и другие заболевания у людей (гл. 9, 10 и 13).

6.3. Основные пробелы в знаниях и в формировании потенциала

Для повышения безопасности людей в случае экстремальных погодных явлений настоятельно необходимо лучше разбираться в поведении океана и в его взаимоотношениях с атмосферой. Необходимо лучше разбираться также в масштабах, движении и распространении загрязнения и в прибрежной динамике. В Сендайской рамочной программе по снижению риска бедствий на 2015–2030 годы¹² озвучена необходимость усиливать и гармонизировать системы оповещения, чтобы снижать риски, связанные с действием опасных океанских факторов. Следует продвигаться в налаживании систем прогнозирования опасностей, расширить планирование на случай чрезвычайных ситуаций и оповещение о них, а также установить порядок приготовления к бедствиям, чтобы обеспечить быстрое реагирование на нужды затронутых сообществ. Требуются интегрированные системы, позволяющие прогнозировать многочисленные опасности, обнаруживать их и на них реагировать (гл. 9–14).

¹² Резолюция 69/283, Генеральной Ассамблеи, приложение II.

7. Устойчивое поступление продовольствия из океана

Животный белок из морей обеспечивает около 17 процентов всего животного белка, потребляемого людьми, и на его получении построен жизненный уклад около 12 процентов населения планеты. В основном он добывается рыболовством, ведущимся в естественных условиях, однако вклад аквакультуры в продовольственную безопасность быстро растет и имеет больший потенциал для роста, чем промысловое рыболовство. Методы, практикуемые в рыболовстве, создают множество стрессоров для морской среды во многих регионах, а расширение аквакультуры усиливает имеющиеся или порождает новые нагрузки на морские экосистемы, особенно в прибрежных районах (гл. 15–17).

7.1. Увязка с целями в области устойчивого развития и с Десятилетием Организации Объединенных Наций, посвященным науке об океане в интересах устойчивого развития

Задача 14.4 целей в области устойчивого развития:

К 2020 году обеспечить эффективное регулирование добычи и положить конец перелову, незаконному, несообщаемому и нерегулируемому рыбному промыслу и губительной рыболовственной практике, а также выполнить научно обоснованные планы хозяйственной деятельности, для того чтобы восстановить рыбные запасы в кратчайшие возможные сроки, доведя их по крайней мере до таких уровней, которые способны обеспечивать максимальный экологически рациональный улов с учетом биологических характеристик этих запасов

Задача 14.6 целей в области устойчивого развития:

К 2020 году запретить некоторые формы субсидий для рыбного промысла, содействующие созданию чрезмерных мощностей и перелову, отменить субсидии, содействующие незаконному, несообщаемому и нерегулируемому рыбному промыслу, и воздерживаться от введения новых таких субсидий, признавая, что надлежащее и эффективное применение особого и дифференцированного

режима в отношении развивающихся и наименее развитых стран должно быть неотъемлемой частью переговоров по вопросу о субсидировании рыбного промысла, которые ведутся в рамках Всемирной торговой организации¹³

Задача 14.7 целей в области устойчивого развития:

К 2030 году повысить экономические выгоды, получаемые малыми островными развивающимися государствами и наименее развитыми странами от экологически рационального использования морских ресурсов, в том числе благодаря экологически рациональной организации рыбного хозяйства, аквакультуры и туризма

Задача 14.b целей в области устойчивого развития:

Обеспечить доступ мелких хозяйств, занимающихся кустарным рыбным промыслом, к морским ресурсам и рынкам

Ожидаемый результат проведения Десятилетия науки об океане:

Продуктивный океан, способствующий устойчивому обеспечению продовольствием и стабильному развитию морского хозяйства

В таблице 1 указаны конкретные проявления того, как прогресс в достижении других целей в области устойчивого развития будет способствовать выполнению задач 14.4, 14.6, 14.7 и 14.b, а в таблице 2 – конкретные проявления того, как выполнение данных задач будет способствовать прогрессу в достижении этих других целей.

7.2. Морское промысловое рыболовство

Подсчитано, что с 2012 по 2017 год общемировой объем выгруженных уловов в морском промысловом рыболовстве увеличился на 3 процента, достигнув 80,6 млн т по массе и 127 млрд долл. США (в ценах 2017 года) по стоимости. Около 33 процентов мировых рыбных запасов, особенно относящихся к более высоким трофическим уровням, классифицируются как эксплуатируемые на биологически неустойчивых уровнях, а около 60 процентов – как

¹³ Принимая во внимание переговоры, ведущиеся в рамках Всемирной торговой организации, Дохинскую повестку дня в области развития и Гонконгскую декларацию министров.

подвергающиеся максимальному устойчивому вылову¹⁴. Устойчивости многих рыбных промыслов в мире продолжают препятствовать чрезмерная эксплуатация, избыток промысловых мощностей, неэффективность хозяйствования, вредное субсидирование, прилов (особенно прилов угрожаемых, исчезающих и охраняемых видов), а также незаконный, несообщаемый и нерегулируемый промысел, причем дополнительную нагрузку на морскую среду создают такие происходящие явления, как деградация местообитаний и потеря орудий лова. По оценкам, перелов рыбы приводил к потере чистой прибыли на сумму 88,9 млрд долл. США ежегодно. Рыбные рынки продолжают отмечаться стремительной глобализацией, что делает мелкое рыболовство более уязвимым перед лицом истощения локально значимых запасов. Переговоры под эгидой Всемирной торговой организации о сокращении вредных рыболовных субсидий продолжают, однако какой-то твердой договоренности пока не достигнуто. Соглашение 2009 года о мерах государства порта по предупреждению, сдерживанию и ликвидации незаконного, несообщаемого и нерегулируемого промысла¹⁵ подписано менее чем 40 процентами государств. В своих Добровольных руководящих принципах обеспечения устойчивого маломасштабного рыболовства в контексте продовольственной безопасности и искоренения бедности Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО) изложила способы применения информационных технологий, помогающих мелким рыболовным хозяйствам расширять свои возможности в таких областях, как безопасность, обмен местными знаниями, наращивание потенциала и управление. Свои способы для расширения возможностей таких хозяйств предлагает также использование подходов, основанных на уважении прав человека (гл. 15).

Обнадёживает, что в ряде регионов благодаря научной оценке запасов и управлению ими достигнуты показатели, свидетельствующие о по-

вышении устойчивости. В некоторых регионах сейчас применяются новые подходы к выявлению фактов незаконного, несообщаемого и нерегулируемого промысла. Как следует из недавних исследований, восстановление рыбных запасов, подвергавшихся перелову, может при надлежащем управлении занимать в среднем менее 10 лет, а это значит, что в случае проведения реформ 98 процентов таких запасов можно будет к середине XXI века считать здоровыми.

Ожидается, что последствия изменения климата будут включать усиление интенсивности и частоты стихийных бедствий, которое повлияет на локальное распределение и численность рыбных популяций. Наиболее серьезно могут пострадать зависящие от рыболовства развивающиеся государства. Поскольку ожидаются изменения в распределении видов, а как следствие — рост трансграничных миграций рыбных запасов, такое перераспределение, возможно, придется учитывать в будущем международном порядке управления ими (гл. 15).

7.3. Аквакультура

Аквакультура продолжает расти быстрее других основных секторов, занимающихся производством продовольствия, хотя за последнее десятилетие этот рост замедлился. В 2017 году данный сектор оценивался в 249,6 млрд долл. США. Он обеспечивает средствами к существованию 540 млн человек, 19 процентов из которых составляли в 2014 году женщины. Важность этой формы производства продовольствия заключается в том, что ее продукты отмечаются высоким содержанием белков, незаменимых микронутриентов и жирных кислот. Зависимость аквакультуры от рыбной муки снизилась с 4,20 млн т в 2005 году до 3,35 в 2015-м. Устойчивость аквакультуры будет, скорее всего, тесно связана с устойчивостью поставок белков, жиров и углеводов, получаемых из животных и растений суши и используемых в аквакультурных кормах. Мировая аквакультура по-прежнему сталкивается с такой

¹⁴ Выражение «подвергающиеся максимальному устойчивому вылову» употребляется здесь в значении, разъясняемом в главе 15.

¹⁵ Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, документ С 2009/REP и Corr. 1–3, приложение E.

проблемой, как болезни, которые являются одним из основных факторов, сдерживающих охват многих видов аквакультурой. За последнее десятилетие экологические показатели, достигаемые в аквакультуре, в целом значительно улучшились. К числу задач, которые необходимо решать при расширении аквакультурного производства, относятся сокращение воздействий на ценные прибрежные экосистемы (например, мангры), надежное поступление внешних кормов, а также сдерживание заболеваемости рыб и влияния особей, ускользнувших в дикую среду, на туземные виды (гл. 16).

7.4. Производство морских водорослей

Восемьдесят процентов от общего объема добываемых морских водорослей идет на непосредственное потребление человеком. Их глобальная добыча возростала с 2012 года примерно на 2,6 процента в год (этот рост приходился в основном на аквакультуру) и достигла в 2017 году 32 млн т, что оценивается в 12 млрд долл. США. Помимо потребления в пищу, морские водоросли находят всё большее применение в промышленности, например при производстве косметических изделий, фармацевтических препаратов и нутрицевтиков, и в качестве корма для домашнего скота. Десятью шестью процентами от всего аквакультурного производства приходится на культивирование макроводорослей. Выгоды от производства водорослей включают получение высококачественных продуктов питания, создание новых рабочих мест и увеличение доходов прибрежных жителей. Кроме того, это производство способствует секвестрации углерода, генерированию кислорода и снижению эвтрофикации (гл. 17).

7.5. Основные пробелы в знаниях и в формировании потенциала

Существует слабое понимание того, до какой степени сдвиги в структуре и функционировании морских экосистем и дальнейшие последствия для продуктивности моря могут зависеть от изменяющейся обстановки. Происходило совершенствование подходов к оценке рыболовства и учету его воздействия в местах, по которым мало данных, однако необходима

дальнейшая работа над наращиванием потенциала, позволяющего заполнить пробелы в сфере прибрежного рыболовства в развивающихся регионах. Наука о воспроизводстве рыбных запасов находится всё еще на начальных стадиях, но уже обещает предложить определенные способы увеличения рыбной добычи сверх того уровня, который достигим за счет эксплуатации одних только диких запасов. Вместе с тем не хватает понимания экологических последствий. В деле управления рыболовством недостает, например, способности выяснять воздействие на биологические виды, являющиеся объектом промысла, и учитывать влияние на другие виды при определении рамок хозяйствования. Кроме того, сохраняющаяся у развивающихся стран нехватка потенциала сужает для них возможности принимать участие в региональных и международных переговорах по достижению консенсуса относительно хозяйственной практики, позволяющей поддерживать рыбные запасы здоровыми.

Чтобы стимулировать устойчивое развитие аквакультуры, необходимо улучшить услуги по распространению знаний. Подготовка лиц, привлекаемых к оказанию таких услуг, должна включать их обучение методам донесения информации, равно как и практическим фермерским навыкам, что позволит им лучше помогать фермерам в совершенствовании производственной практики. Для улучшения секторального обучения необходимо будет задействовать информационные технологии, средства массовой информации, фермерские ассоциации, агентства по вопросам развития, поставщиков из частного сектора и других субъектов. Создание прибрежной аквакультуры и марикультуры должно быть подкреплено наличием достаточных морских служб, чтобы обеспечить устойчивость и безопасность операций. Сохраняется необходимость сильно пополнить знания, требующиеся для крупномасштабного производства водорослей, и знания о вероятных последствиях изменения климата. Предпринимаются определенные усилия по устранению нехватки в знаниях и по формированию недостающего потенциала. До сих пор неизвестна биология многих видов морских водорослей, даже ныне добываемых или выращиваемых (гл. 15–17).

8. Устойчивое экономическое использование океана

Океаном поддерживается широкий спектр экономической деятельности, включая морской транспорт как часть мировой торговли, туризм и отдых, добычу природных ресурсов (таких, как углеводороды и другие полезные ископаемые), обеспечение возобновляемой энергии и использование морских генетических ресурсов.

8.1. Увязка с целями в области устойчивого развития и с Десятилетием Организации Объединенных Наций, посвященным науке об океане в интересах устойчивого развития

Задача 14.2 целей в области устойчивого развития:

К 2020 году обеспечить рациональное использование и защиту морских и прибрежных экосистем с целью предотвратить значительное отрицательное воздействие, в том числе путем повышения устойчивости этих экосистем, и принять меры по их восстановлению для обеспечения хорошего экологического состояния и продуктивности океанов

Задача 14.7 целей в области устойчивого развития:

К 2030 году повысить экономические выгоды, получаемые малыми островными развивающимися государствами и наименее развитыми странами от экологически рационального использования морских ресурсов, в том числе благодаря экологически рациональной организации рыбного хозяйства, аквакультуры и туризма

Задача 14.с целей в области устойчивого развития:

Улучшить работу по сохранению и рациональному использованию океанов и их ресурсов путем соблюдения норм международного права, закрепленных в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву, которая, как отмечено в пункте 158 документа «Будущее, которого мы хотим», закладывает юридическую базу для сохранения и рационального использования Мирового океана и его ресурсов

Во всем мире экономическое использование океана расширилось. Многие страны составляют или уже составили стратегии по активизации таких видов морской деятельности, как возобновляемая океанская энергетика, аквакультура, морская биотехнология, прибрежный туризм и разработка морского дна (секторы роста в

«голубой экономике», к которой можно отнести экологически устойчивое судоходство и рыболовство). Однако получаемые от океана экономические блага распределяются в мире до сих пор весьма неравномерно (гл. 4, 8А, 18 и 28).

В таблице 1 указаны конкретные проявления того, как прогресс в достижении других целей в области устойчивого развития будет способствовать выполнению задач 14.2, 14.7 и 14.с, а в таблице 2 – конкретные проявления того, как выполнение данных задач будет способствовать прогрессу в достижении этих других целей.

8.2. Разработка морского дна

Поскольку наземные источники песка и гравия убывают, в качестве компенсации активизировалась их добыча на морском дне в пределах национальной юрисдикции. Масштабность этой добычи может существенно сказываться на локальной морской среде и вызывать береговую абразию. Масштабы других основных видов добычи деятельности (например, добыча алмазов, фосфатов, железной руды и олова) остаются более или менее стабильными. Глубоководная разработка морского дна в районах за пределами национальной юрисдикции приближается к тому, чтобы стать коммерческой реальностью; однако эксплуатация многих минеральных ресурсов требует продвинутых технологий, а значит, круг соответствующих эксплуатантов во многом ограничивается обладателями доступа к таким технологиям (гл. 18).

8.3. Добыча морских углеводородов

Морской нефтегазовый сектор повсеместно выдвигается в глубокие и сверхглубокие акватории. В следующее десятилетие рост этого сектора будет, скорее всего, сосредоточен в таких местах, как восточная часть Средиземного моря и районы у побережья Гайаны и западного побережья Африки. В таких давно эксплуатируемых районах, как Северное море и Мексиканский залив, наблюдается истощение некоторых месторождений. Вследствие этого учащаются случаи вывода морских установок из эксплуатации, хотя некоторые из них могут использоваться для производства возобновляемой морской

энергии. Методы добычи продолжают эволюционировать, ориентируясь при этом на уменьшение воздействия на морскую среду (гл. 19).

8.4. Морской транспорт

Вслед за подъемом мировой экономики после 2012 года стал наблюдаться рост мировой торговли, и его отражением явилось увеличение объема международных грузовых перевозок, осуществляемых морскими судами. Вместе с тем это увеличение происходило в условиях слабой конкуренции. Большая часть мирового судового тоннажа по-прежнему приходится на относительно небольшое количество регистров, а собственность на суда и контроль за судоходством остаются сконцентрированными в руках фирм из относительно небольшого числа стран. Эта концентрация существенно сказывается на будущем развитии портового хозяйства, поскольку может привести к тому, что роль распределительных узлов в межконтинентальной торговле достанется более крупным главным портам, круг которых сузится. С 2015 по 2019 год произошло небольшое снижение общего количества случаев, когда суда становились или чуть не становились жертвой пиратства и вооруженного разбоя (гл. 8А).

8.5. Туризм и отдых

Во многих районах мира большую экономическую значимость имеют приезд людей из-за рубежа и связанный с этим сектор туризма, в частности туризма под девизом «солнце, море и песок», сосредоточенного на морском побережье. Во всех туристических точках основное воздействие на морскую среду оказывает коммерческое освоение прибрежной зоны, в том изъятие земли под застройку гостиницами, ресторанами, магазинами и объектами транспортной инфраструктуры, включая аэропорты и железнодорожные вокзалы, а также создание «армированных» защитных береговых сооружений, уличного освещения и канализационной системы. Существенными элементами прибрежного туризма остаются снорклинг, дайвинг и любовование дикой природой (гл. 8А).

8.6. Морские генетические ресурсы

Морские генетические ресурсы продолжают привлекать к себе большое внимание: список

направлений их прикладного применения в коммерческих и некоммерческих целях расширяется. Быстрое снижение затрат на секвенирование и синтез генов, а также стремительные успехи в метаболической инженерии и синтетической биологии уменьшили зависимость от получения физических образцов из океана. Значительный интерес (благодаря биоактивным свойствам содержащихся в них природных соединений) продолжают вызывать губки и водоросли (гл. 23).

8.7. Морская возобновляемая энергетика

Морская возобновляемая энергетика (шельфовая ветроэнергетика, приливная, волновая и осмотическая энергетика, океанская теплоэнергетика, энергетика океанских течений и морской биомассы) эволюционирует и развивается разными темпами. Среди перечисленных видов энергетики шельфовая ветроэнергетика выделяется своей зрелостью и технической продвинутой. Хотя в 2018 году на нее приходилась лишь 1-процентная доля во всем секторе использования возобновляемых энергоисточников, эта энергетика быстро растет: с 2017 по 2018 год на нее приходилось 4 процента всего роста в названном секторе. С 2017 по 2018 год шельфовая ветроэнергетика выросла на 59 процентов в Азии и 17 в Европе. В следующем десятилетии Азия и Соединенные Штаты Америки могут стать основными движущими силами разработки и сооружения объектов шельфовой ветроэнергетики. Создание преобразователей приливной энергии вышло на коммерческую стадию, тогда как другие технологии использования морской возобновляемой энергии находятся сейчас в разработке. Среди новых видов морской возобновляемой энергетики самым многообещающим является шельфовая гелиоэнергетика, так как компоненты соответствующей технологии вполне развиты (гл. 21).

8.8. Основные пробелы в знаниях и в формировании потенциала

Во всех морских отраслях совершенно необходимы технологии, которые позволяют функционировать в условиях безопасности и без ущерба для морской среды. Непростой задачей остается наращивание потенциала для использования морских генетических ресурсов: большин-

ство работ в этой области приходится на узкий круг стран. Во многих странах необходимо формировать навыки для устойчивого планирования

и развития их «голубой экономики» и управления соответствующей человеческой деятельностью (гл. 8А, 14, 18, 19, 21, 23, 25 и 27).

9. Эффективное осуществление международно-правовых норм, нашедших отражение в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву

Эффективное осуществление международно-правовых норм, нашедших отражение в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву (в которой предписываются юридические рамки осуществления всей деятельности в Мировом океане), имеет важнейшее значение для сохранения и устойчивого использования океана и его ресурсов, равно как и для сбережения многочисленных экосистемных услуг, предоставляемых океаном как нынешнему, так и будущим поколениям.

9.1. Увязка с целями в области устойчивого развития и с Десятилетием Организации Объединенных Наций, посвященным науке об океане в интересах устойчивого развития

Задача 14.с целей в области устойчивого развития:

Улучшить работу по сохранению и рациональному использованию океанов и их ресурсов путем соблюдения норм международного права, закрепленных в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву, которая, как отмечено в пункте 158 документа «Будущее, которого мы хотим», закладывает юридическую базу для сохранения и рационального использования Мирового океана и его ресурсов

На всех уровнях уже предприняты шаги к более полному осуществлению международно-правовых норм, нашедших отражение в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву, в том числе путем расширения круга государств, участвующих в многочисленных глобальных и региональных договорах, допол-

няющих ее положения. Примеры на глобальном уровне включают такие международные конвенции, как Лондонская конвенция с Лондонским протоколом, Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 года, измененная Протоколами 1978 года и 1997 года к ней¹⁶ (включая ее приложение VI, которое вступило в силу в 2020 году и затрагивает сокращение выбросов серы с судов) и Соглашение ФАО о мерах государства порта по предупреждению, сдерживанию и ликвидации незаконного, несообщаемого и нерегулируемого промысла, которое вступило в силу в 2016 году (гл. 8А, 11, 12, 15 и 28).

Сохраняются крупные вызовы в том, что касается обеспечения участия в международных нормативных актах, преодоления нехватки ресурсов и возможностей, укрепления межсекторального сотрудничества, налаживания координации и обмена информацией на всех уровнях, а также составления новых нормативных актов для своевременного ответа на возникающие проблемы (гл. 28).

В таблице 1 указаны конкретные проявления того, как прогресс в достижении других целей в области устойчивого развития будет способствовать выполнению задачи 14.с, а в таблице 2 — конкретные проявления того, как выполнение данной задачи будет способствовать прогрессу в достижении этих других целей.

¹⁶ См.: [www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx).

9.2. Осуществление международно-правовых норм, нашедших отражение в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву

В основе Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву лежит интеграция экологических, социальных и экономических аспектов. Конвенция устанавливает тонкий баланс между необходимостью заниматься социально-экономическим развитием, используя для этого океан и его ресурсы, и необходимостью сохранять эти ресурсы, управлять ими, а также защищать и сохранять морскую среду. Интегрированный подход к распоряжению океаном, нашедший отражение в Конвенции, имеет важнейшее значение для содействия устойчивому развитию, поскольку узкосекторальные и фрагментированные подходы не дают слаженности и могут приводить к решениям, которые малополезны для сохранения и устойчивого использования океана и его ресурсов.

Во многих областях Конвенция дополняется более конкретными, отраслевыми документами. Помимо двух имплементационных соглашений к ней¹⁷, существует множество глобальных и региональных правовых актов, охватывающих разные аспекты океанопользования. Эффективное сохранение и устойчивое использование океана и его ресурсов достижимо только при полном и эффективном выполнении этого корпуса международного права. Действия и усилия следует сосредоточить в первую очередь на реализационных или каких-либо регулятивных пробелах, особенно в районах за пределами национальной юрисдикции.

9.3. Реализационные и регулятивные пробелы

Проблема ресурсной (в том числе финансовой) вооруженности остается существенным сдерживающим фактором в деле защиты и сохранения морской среды и осуществления морских научных исследований, а недостаточная технологическая вооруженность нередко мешает эффективному выполнению государством своих обязательств. Существуют пробелы в охваченности отдельных материалов (например, нет комплексных правил, регулирующих пластик и микропластик) или в географической применимости соответствующих механизмов (речь идет, например, о географическом охвате региональных рыбохозяйственных организаций и договоренностей) (гл. 27 и 28). Многим малым островным развивающимся государствам и наименее развитым странам не хватает доступа к детальным знаниям и квалифицированным людским ресурсам, необходимым для распоряжения океаном, а их ресурсы для управления крупными морскими районами, находящимися под их юрисдикцией, зачастую ограничены. Заполнение этих пробелов позволит обеспечивать, чтобы экономические блага извлекались максимально полно, но экологически устойчивым образом. Особые проблемы существуют в деле обязательного исполнения хозяйственных предписаний в районах за пределами национальной юрисдикции, что вызвано регулятивными пробелами и слабой кросссекторальной координацией. Данные вопросы в настоящее время обсуждаются в Организации Объединенных Наций в контексте межправительственных переговоров по разработке международного юридически обязательного документа на базе Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву о сохранении и устойчивом использовании морского биологического разнообразия в районах за пределами действия национальной юрисдикции (гл. 27 и 28).

¹⁷ Соглашение об осуществлении части XI Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву от 10 декабря 1982 года и Соглашение об осуществлении положений Конвенции Организации Объединенных по морскому праву от 10 декабря 1982 года, которые касаются сохранения трансграничных рыбных запасов и запасов далеко мигрирующих рыб и управления ими.

Таблица 1

Вклад, который вносит в достижение цели 14 работа над другими целями в области устойчивого развития

Задачи, уточняющие цель 14 в области устойчивого развития	Цели в области устойчивого развития, работа над которыми вносит вклад в достижение цели 14	Механизм
Очистка океана		
<p>Задача 14.1: к 2025 году обеспечить предотвращение и существенное сокращение любого загрязнения морской среды, в особенности вследствие деятельности на суше, включая загрязнение морским мусором и питательными веществами</p>	Цель 6: обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех	Совершенствование обращения со сточными водами
	Цель 7: обеспечение доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех	Совершенствование энергоисточников, повышение энергоэффективности и соответствующее сокращение выбросов
	Цель 11: обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов	Устойчивая урбанизация и уменьшение негативного экологического воздействия городов
	Цель 12: обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства	Экологически рациональное использование химических веществ и всех отходов, в том числе путем сокращения образования отходов
	Цель 17: укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках Глобального партнерства в интересах устойчивого развития	Улучшение доступа к науке, технике и инновациям, активизация обмена знаниями и передачи технологий, а также наращивание потенциала
Защита морских экосистем		
<p>Задача 14.2: к 2020 году обеспечить рациональное использование и защиту морских и прибрежных экосистем с целью предотвратить значительное отрицательное воздействие, в том числе путем повышения стойкости этих экосистем, и принять меры по их восстановлению для обеспечения хорошего экологического состояния и продуктивности океанов</p> <p>Задача 14.5: к 2020 году охватить природоохранными мерами по крайней мере 10 процентов прибрежных и морских районов в соответствии с национальным законодательством и международным правом и на основе наилучшей имеющейся научной информации</p>	Цель 6: обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех	Совершенствование обращения со сточными водами, а также охрана и восстановление водно-болотных угодий
	Цель 7: обеспечение доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех	Совершенствование энергоисточников, повышение энергоэффективности и соответствующее сокращение выбросов
	Цель 9: создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям	Использование чистых технологий и соответствующее сокращение выбросов
	Цель 11: обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов	Устойчивая урбанизация и уменьшение негативного экологического воздействия городов

Задачи, уточняющие цель 14 в области устойчивого развития	Цели в области устойчивого развития, работа над которыми вносит вклад в достижение цели 14	Механизм
	Цель 12: обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства	Рациональное освоение и использование природных ресурсов, а также уменьшение потерь в бытовых цепочках
	Цель 13: принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями ^а	Осуществление мер по смягчению остроты и ослаблению последствий изменения климата и по адаптации к ним
	Цель 15: защита и восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное лесопользование, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биологического разнообразия	Сдерживание деградации природных сред обитания и утраты биологического разнообразия, а также предотвращение исчезновения видов
	Цель 17: укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках Глобального партнерства в интересах устойчивого развития	Улучшение доступа к науке, технике и инновациям, активизация обмена знаниями и передачи технологий, а также наращивание потенциала
Понимание океана ради устойчивого хозяйствования		
Задача 14.3: минимизировать и ликвидировать последствия закисления океана, в том числе благодаря развитию научного сотрудничества на всех уровнях	Цель 9: создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям	Активизация научных исследований, наращивание технологического потенциала промышленных секторов во всех странах, особенно развивающихся странах, и стимулирование инновационной деятельности
Задача 14.а: увеличить объем научных знаний, расширить научные исследования и обеспечить передачу морских технологий, принимая во внимание Критерии и руководящие принципы в отношении передачи морских технологий, разработанные Межправительственной океанографической комиссией, с тем чтобы улучшить экологическое состояние океанской среды и повысить вклад морского биоразнообразия в развитие развивающихся стран, особенно малых островных развивающихся государств и наименее развитых стран	Цель 13: принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями ^а	Осуществление мер по смягчению остроты и ослаблению последствий изменения климата и по адаптации к ним
	Цель 17: укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках Глобального партнерства в интересах устойчивого развития	Улучшение доступа к науке, технике и инновациям, активизация обмена знаниями и передачи технологий, а также наращивание потенциала

Задачи, уточняющие цель 14 в области устойчивого развития	Цели в области устойчивого развития, работа над которыми вносит вклад в достижение цели 14	Механизм
Содействие защищенности от океана		
Задача 14.1: к 2025 году обеспечить предотвращение и существенное сокращение любого загрязнения морской среды, в особенности вследствие деятельности на суше, включая загрязнение морским мусором и питательными веществами	Цель 1: повсеместная ликвидация нищеты во всех ее формах	Уменьшение незащищенности и уязвимости перед экстремальными явлениями, вызванными изменением климата, и повышение сопротивляемости экологическим потрясениям и бедствиям
	Цель 2: ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания	Укрепление способности адаптироваться к изменению климата, экстремальным погодным явлениям и другим бедствиям
	Цель 6: обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех	Сокращение загрязнения, совершенствование обращения со сточными водами, а также охрана и восстановление экосистем, связанных с водой
	Цель 11: обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов	Сокращение числа людей, страдающих от бедствий, повышение качества планирования национального и регионального развития, а также осуществление комплексных стратегий и планов, направленных на смягчение последствий изменения климата, адаптацию к его изменению и способность противостоять бедствиям, равно как и разработка и внедрение мер по комплексному управлению рисками, связанными с бедствиями
	Цель 12: обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства	Экологически рациональное использование химических веществ и всех отходов
	Цель 13: принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями ^a	Повышение сопротивляемости и способности адаптироваться к стихийным бедствиям, имеющим климатическое происхождение и иным, а также содействие ослаблению их последствий и раннему предупреждению о них
	Цель 15: защита и восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное лесопользование, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биологического разнообразия	Сохранение, восстановление и рациональное использование наземных и внутренних пресноводных экосистем, а также сдерживание деградации сред обитания

Задачи, уточняющие цель 14 в области устойчивого развития	Цели в области устойчивого развития, работа над которыми вносит вклад в достижение цели 14	Механизм
Устойчивое поступление продовольствия из океана		
<p>Задача 14.4: к 2020 году обеспечить эффективное регулирование добычи и положить конец перелову, незаконному, несообщаемому и нерегулируемому рыбному промыслу и губительной рыбопромысловой практике, а также выполнить научно обоснованные планы хозяйственной деятельности, для того чтобы восстановить рыбные запасы в кратчайшие возможные сроки, доведя их по крайней мере до таких уровней, которые способны обеспечивать максимальной экологически рациональный улов с учетом биологических характеристик этих запасов</p> <p>Задача 14.6: к 2020 году запретить некоторые формы субсидий для рыбного промысла, содействующие созданию чрезмерных мощностей и перелову, отменить субсидии, содействующие незаконному, несообщаемому и нерегулируемому рыбному промыслу, и воздерживаться от введения новых таких субсидий, признавая, что надлежащее и эффективное применение особого и дифференцированного режима в отношении развивающихся и наименее развитых стран должно быть неотъемлемой частью переговоров по вопросу о субсидировании рыбного промысла, которые ведутся в рамках Всемирной торговой организации^b</p> <p>Задача 14.7: к 2030 году повысить экономические выгоды, получаемые малыми островными развивающимися государствами и наименее развитыми странами от экологически рационального использования морских ресурсов, в том числе благодаря экологически рациональной организации рыбного хозяйства, аквакультуры и туризма</p> <p>Задача 14.b: обеспечить доступ мелких хозяйств, занимающихся кустарным рыбным промыслом, к морским ресурсам и рынкам</p>	<p>Цель 2: ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания</p> <p>Цель 8: содействие поступательному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех</p> <p>Цель 9: создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям</p> <p>Цель 12: обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства</p>	<p>Повышение продуктивности сельского хозяйства (включая аквакультуру и марикультуру), обеспечение устойчивого производства продуктов питания, а также сохранение экосистем и генетического разнообразия диких видов</p> <p>Повышение эффективности использования ресурсов в системах потребления и производства</p> <p>Активизация научных исследований, а также разработок, исследований и инноваций в сфере технологий в развивающихся странах</p>
	<p>Цель 13: принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями^a</p>	<p>Осуществление мер по смягчению остроты и ослаблению последствий изменения климата и по адаптации к ним</p>
	<p>Цель 17: укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках Глобального партнерства в интересах устойчивого развития</p>	<p>Улучшение доступа к науке, технике и инновациям, активизация обмена знаниями и передачи технологий, а также наращивание потенциала</p>

Задачи, уточняющие цель 14 в области устойчивого развития	Цели в области устойчивого развития, работа над которыми вносит вклад в достижение цели 14	Механизм
Устойчивое экономическое использование океана		
<p>Задача 14.2: к 2020 году обеспечить рациональное использование и защиту морских и прибрежных экосистем с целью предотвратить значительное отрицательное воздействие, в том числе путем повышения стойкости этих экосистем, и принять меры по их восстановлению для обеспечения хорошего экологического состояния и продуктивности океанов</p>	<p>Цель 6: обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех</p>	<p>Совершенствование обращения со сточными водами, а также охрана и восстановление водно-болотных угодий</p>
<p>Задача 14.7: к 2030 году повысить экономические выгоды, получаемые малыми островными развивающимися государствами и наименее развитыми странами от экологически рационального использования морских ресурсов, в том числе благодаря экологически рациональной организации рыбного хозяйства, аквакультуры и туризма</p>	<p>Цель 7: обеспечение доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех</p>	<p>Совершенствование энергоисточников, повышение энергоэффективности и соответствующее сокращение выбросов</p>
<p>Задача 14.с: улучшить работу по сохранению и рациональному использованию океанов и их ресурсов путем соблюдения норм международного права, закрепленных в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву, которая, как отмечено в пункте 158 документа «Будущее, которого мы хотим», закладывает юридическую базу для сохранения и рационального использования Мирового океана и его ресурсов</p>	<p>Цель 11: обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов</p>	<p>Устойчивая урбанизация и уменьшение негативного экологического воздействия городов</p>
<p>Задача 14.с: улучшить работу по сохранению и рациональному использованию океанов и их ресурсов путем соблюдения норм международного права, закрепленных в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву, которая, как отмечено в пункте 158 документа «Будущее, которого мы хотим», закладывает юридическую базу для сохранения и рационального использования Мирового океана и его ресурсов</p>	<p>Цель 12: обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства</p>	<p>Рациональное освоение и использование природных ресурсов</p>
<p>Задача 14.с: улучшить работу по сохранению и рациональному использованию океанов и их ресурсов путем соблюдения норм международного права, закрепленных в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву, которая, как отмечено в пункте 158 документа «Будущее, которого мы хотим», закладывает юридическую базу для сохранения и рационального использования Мирового океана и его ресурсов</p>	<p>Цель 13: принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями</p>	<p>Осуществление мер по смягчению остроты и ослаблению последствий изменения климата и по адаптации к ним</p>
<p>Задача 14.с: улучшить работу по сохранению и рациональному использованию океанов и их ресурсов путем соблюдения норм международного права, закрепленных в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву, которая, как отмечено в пункте 158 документа «Будущее, которого мы хотим», закладывает юридическую базу для сохранения и рационального использования Мирового океана и его ресурсов</p>	<p>Цель 15: защита и восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биологического разнообразия</p>	<p>Сдерживание деградации природных сред обитания и утраты биологического разнообразия, а также предотвращение исчезновения видов</p>
<p>Задача 14.с: улучшить работу по сохранению и рациональному использованию океанов и их ресурсов путем соблюдения норм международного права, закрепленных в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву, которая, как отмечено в пункте 158 документа «Будущее, которого мы хотим», закладывает юридическую базу для сохранения и рационального использования Мирового океана и его ресурсов</p>	<p>Цель 16: содействие построению миролюбивого и открытого общества в интересах устойчивого развития, обеспечение доступа к правосудию для всех и создание эффективных, подотчетных и основанных на широком участии учреждений на всех уровнях</p>	<p>Содействие верховенству права на национальном и международном уровнях</p>
<p>Задача 14.с: улучшить работу по сохранению и рациональному использованию океанов и их ресурсов путем соблюдения норм международного права, закрепленных в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву, которая, как отмечено в пункте 158 документа «Будущее, которого мы хотим», закладывает юридическую базу для сохранения и рационального использования Мирового океана и его ресурсов</p>	<p>Цель 17: укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках Глобального партнерства в интересах устойчивого развития</p>	<p>Улучшение доступа к науке, технике и инновациям, активизация обмена знаниями и передачи технологий, а также наращивание потенциала</p>

Задачи, уточняющие цель 14 в области устойчивого развития	Цели в области устойчивого развития, работа над которыми вносит вклад в достижение цели 14	Механизм
Эффективное осуществление международно-правовых норм, нашедших отражение в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву		
Задача 14.с: улучшить работу по сохранению и рациональному использованию океанов и их ресурсов путем соблюдения норм международного права, закрепленных в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву, которая, как отмечено в пункте 158 документа «Будущее, которого мы хотим», закладывает юридическую базу для сохранения и рационального использования Мирового океана и его ресурсов	Цель 2: ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания	Обеспечение устойчивых систем производства продуктов питания, сохранение экосистем, а также укрепление способности адаптироваться к изменению климата, экстремальным погодным явлениям, засухам, наводнениям и другим бедствиям
	Цель 3: обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте	Сокращение опасных химических веществ, а также случаев загрязнения и отравления
	Цель 6: обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех	Сокращение загрязнения, совершенствование обращения со сточными водами, а также охрана и восстановление экосистем, связанных с водой
	Цель 11: обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов	Защита и сохранение культурного и природного наследия
	Цель 12: обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства	Экологически рациональное использование химических веществ и всех отходов на протяжении всего их жизненного цикла в соответствии с согласованными международными принципами
	Цель 13: принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями ^a	Включение мер реагирования на изменение климата в политику, стратегии и планирование на национальном уровне
	Цель 17: укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках Глобального партнерства в интересах устойчивого развития	Повышение последовательности политики по обеспечению устойчивого развития

^a Признавая, что Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата является главной международной межправительственной основой для согласования мер глобального реагирования на изменение климата.

^b Принимая во внимание переговоры, ведущиеся в рамках Всемирной торговой организации, Дохинскую повестку дня в области развития и Гонконгскую декларацию министров.

Таблица 2

Вклад, который работа над целью 14 вносит в достижение других целей в области устойчивого развития

Задачи, уточняющие цель 14 в области устойчивого развития	Цели в области устойчивого развития, в достижение которых вносит свой вклад работа над целью 14	Механизм
<p>Задача 14.1: к 2025 году обеспечить предотвращение и существенное сокращение любого загрязнения морской среды, в особенности вследствие деятельности на суше, включая загрязнение морским мусором и питательными веществами</p>	<p>Цель 3: обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте</p>	<p>Сокращение опасных химических веществ, а также случаев загрязнения и отравления</p>
	<p>Цель 6: обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех</p>	<p>Уменьшение загрязнения и выбросов опасных химических веществ и материалов, а также сточных вод</p>
	<p>Цель 11: обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов</p>	<p>Устойчивая урбанизация и уменьшение негативного экологического воздействия городов</p>
	<p>Цель 12: обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства</p>	<p>Экологически рациональное использование химических веществ и всех отходов, в том числе путем сокращения образования отходов</p>
	<p>Цель 17: укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках Глобального партнерства в интересах устойчивого развития</p>	<p>Улучшение доступа к науке, технике и инновациям, активизация обмена знаниями и передачи технологий, а также наращивание потенциала</p>
<p>Задача 14.2: к 2020 году обеспечить рациональное использование и защиту морских и прибрежных экосистем с целью предотвратить значительное отрицательное воздействие, в том числе путем повышения стойкости этих экосистем, и принять меры по их восстановлению для обеспечения хорошего экологического состояния и продуктивности океанов</p>	<p>Цель 1: повсеместная ликвидация нищеты во всех ее формах</p>	<p>Уменьшение незащищенности и уязвимости перед экстремальными явлениями, вызванными изменением климата, и повышение сопротивляемости экологическим потрясениям и бедствиям</p>
	<p>Цель 2: ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания</p>	<p>Повышение продуктивности сельского хозяйства (включая аквакультуру и марикультуру), обеспечение устойчивого производства продуктов питания, а также сохранение экосистем и генетического разнообразия диких видов</p>
	<p>Цель 8: содействие поступательному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех</p>	<p>Создание возможностей для поступательного экономического роста и устойчивого туризма</p>
	<p>Цель 11: обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов</p>	<p>Сбережение и поддержка экосистем, которые дают прибрежным сообществам защиту от бедствий</p>
	<p>Цель 13: принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями^a</p>	<p>Содействие сопротивляемости опасным климатическим явлениям</p>

Задачи, уточняющие цель 14 в области устойчивого развития	Цели в области устойчивого развития, в достижение которых вносит свой вклад работа над целью 14	Механизм
Задача 14.3: минимизировать и ликвидировать последствия закисления океана, в том числе благодаря развитию научного сотрудничества на всех уровнях	Цель 1: повсеместная ликвидация нищеты во всех ее формах	Уменьшение незащищенности перед экологическими потрясениями и бедствиями и повышение сопротивляемости им
	Цель 2: ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания	Обеспечение устойчивых систем производства продуктов питания, сохранение экосистем, укрепление способности адаптироваться к изменению климата, а также усиление сотрудничества в области исследований и технологических разработок
	Цель 12: обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства	Помощь развивающимся странам в наращивании их научно-технического потенциала
	Цель 13: принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями ^a	Осуществление мер по смягчению остроты и ослаблению последствий изменения климата и по адаптации к ним
	Цель 17: укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках Глобального партнерства в интересах устойчивого развития	Улучшение доступа к науке, технике и инновациям, активизация обмена знаниями и передачи технологий, а также наращивание потенциала
Задача 14.4: к 2020 году обеспечить эффективное регулирование добычи и положить конец перелову, незаконному, несообщаемому и нерегулируемому рыбному промыслу и губительной рыбопромысловой практике, а также выполнить научно обоснованные планы хозяйственной деятельности, для того чтобы восстановить рыбные запасы в кратчайшие возможные сроки, доведя их по крайней мере до таких уровней, которые способны обеспечивать максимальный экологически рациональный улов с учетом биологических характеристик этих запасов	Цель 2: ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания	Повышение продуктивности сельского хозяйства (включая аквакультуру и марикультуру), обеспечение устойчивого производства продуктов питания, а также сохранение экосистем и генетического разнообразия диких видов
	Цель 8: содействие поступательному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех	Поддержка производительной деятельности
	Цель 12: обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства	Достижение рационального освоения и эффективного использования природных ресурсов, уменьшение потерь продовольствия в производственно-сбытовых цепочках, в том числе послеуборочных потерь, наращивание научно-технического потенциала для перехода к более рациональным моделям потребления и производства, а также постепенный отказ от вредных субсидий
	Цель 17: укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках Глобального партнерства в интересах устойчивого развития	Укрепление партнерств в интересах устойчивого развития

Задачи, уточняющие цель 14 в области устойчивого развития	Цели в области устойчивого развития, в достижение которых вносит свой вклад работа над целью 14	Механизм
<p>Задача 14.5: к 2020 году охватить природоохранными мерами по крайней мере 10 процентов прибрежных и морских районов в соответствии с национальным законодательством и международным правом и на основе наилучшей имеющейся научной информации</p>	<p>Цель 2: ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания</p>	<p>Сохранение экосистем, укрепление способности адаптироваться к изменению климата, а также усиление сотрудничества в области исследований и технологических разработок</p>
	<p>Цель 11: обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов</p>	<p>Сбережение и поддержка экосистем, которые дают прибрежным сообществам защиту от бедствий</p>
	<p>Цель 15: защита и восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное лесопользование, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биологического разнообразия</p>	<p>Сдерживание деградации природных сред обитания и утраты биологического разнообразия, а также предотвращение исчезновения видов</p>
	<p>Цель 17: укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках Глобального партнерства в интересах устойчивого развития</p>	<p>Улучшение доступа к науке, технике и инновациям, активизация обмена знаниями и передачи технологий, а также наращивание потенциала</p>
<p>Задача 14.6: к 2020 году запретить некоторые формы субсидий для рыбного промысла, содействующие созданию чрезмерных мощностей и перелову, отменить субсидии, содействующие незаконному, несообщаемому и нерегулируемому рыбному промыслу, и воздерживаться от введения новых таких субсидий, признавая, что надлежащее и эффективное применение особого и дифференцированного режима в отношении развивающихся и наименее развитых стран должно быть неотъемлемой частью переговоров по вопросу о субсидировании рыбного промысла, которые ведутся в рамках Всемирной торговой организации^b</p>	<p>Цель 8: содействие поступательному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех</p>	<p>Поддержка производительной деятельности</p>
	<p>Цель 12: обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства</p>	<p>Достижение рационального освоения и эффективного использования природных ресурсов, уменьшение потерь продовольствия в производственно-бытовых цепочках, в том числе послеуборочных потерь, наращивание научно-технического потенциала для перехода к более рациональным моделям потребления и производства, а также постепенный отказ от вредных субсидий</p>
<p>Задача 14.7: к 2030 году повысить экономические выгоды, получаемые малыми островными развивающимися государствами и наименее развитыми странами от экологически рационального использования морских ресурсов, в том числе благодаря экологически рациональной организации рыбного хозяйства, аквакультуры и туризма</p>	<p>Цель 1: повсеместная ликвидация нищеты во всех ее формах</p>	<p>Уменьшение незащищенности перед экологическими потрясениями и бедствиями и повышение сопротивляемости им</p>
	<p>Цель 2: ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания</p>	<p>Повышение продуктивности сельского хозяйства (включая аквакультуру и марикультуру), обеспечение устойчивого производства продуктов питания, а также сохранение экосистем и генетического разнообразия диких видов</p>

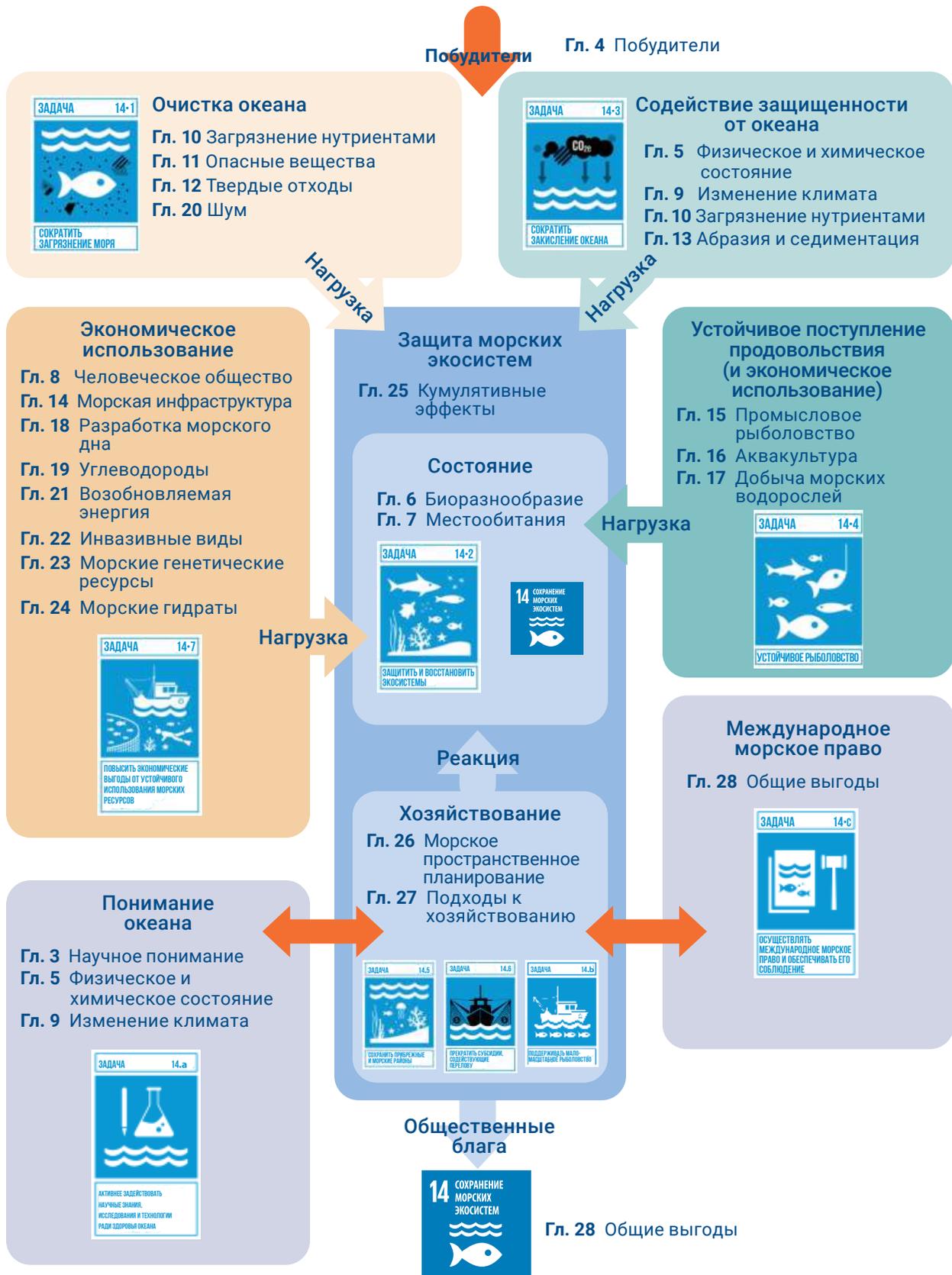
Задачи, уточняющие цель 14 в области устойчивого развития	Цели в области устойчивого развития, в достижение которых вносит свой вклад работа над целью 14	Механизм
	Цель 8: содействие поступательному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех	Создание возможностей для поступательного экономического роста и устойчивого туризма
	Цель 9: создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям	Активизация научных исследований, наращивание технологического потенциала промышленных секторов во всех странах, особенно развивающихся странах, и стимулирование инновационной деятельности
	Цель 12: обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства	Достижение рационального освоения и эффективного использования природных ресурсов, а также наращивание научно-технического потенциала
	Цель 13: принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями ^a	Осуществление мер по смягчению остроты и ослаблению последствий изменения климата и по адаптации к ним
	Цель 17: укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках Глобального партнерства в интересах устойчивого развития	Улучшение доступа к науке, технике и инновациям, активизация обмена знаниями и передачи технологий, а также наращивание потенциала
Задача 14.a: увеличить объем научных знаний, расширить научные исследования и обеспечить передачу морских технологий, принимая во внимание Критерии и руководящие принципы в отношении передачи морских технологий, разработанные Межправительственной океанографической комиссией, с тем чтобы улучшить экологическое состояние океанской среды и повысить вклад морского биоразнообразия в развитие развивающихся стран, особенно малых островных развивающихся государств и наименее развитых стран	Цель 9: создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям	Активизация научных исследований, наращивание технологического потенциала промышленных секторов во всех странах, особенно развивающихся странах, и стимулирование инновационной деятельности
	Цель 12: обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства	Достижение рационального освоения и эффективного использования природных ресурсов, а также наращивание научно-технического потенциала
	Цель 17: укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках Глобального партнерства в интересах устойчивого развития	Улучшение доступа к науке, технике и инновациям, активизация обмена знаниями и передачи технологий, а также наращивание потенциала
Задача 14.b: Обеспечить доступ мелких хозяйств, занимающихся кустарным рыбным промыслом, к морским ресурсам и рынкам	Цель 2: ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания	Повышение продуктивности сельского хозяйства (включая аквакультуру и марикультуру), обеспечение устойчивого производства продуктов питания, а также сохранение экосистем и генетического разнообразия диких видов
	Цель 8: содействие поступательному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех	Повышение эффективности использования ресурсов в системах потребления и производства

Задачи, уточняющие цель 14 в области устойчивого развития	Цели в области устойчивого развития, в достижение которых вносит свой вклад работа над целью 14	Механизм
	Цель 9: создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям	Активизация научных исследований, а также разработок, исследований и инноваций в сфере технологий в развивающихся странах
	Цель 12: обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства	Рациональное освоение и эффективное использование природных ресурсов, а также внедрение инструментов мониторинга влияния, оказываемого на устойчивое развитие устойчивым туризмом, который способствует созданию рабочих мест, развитию местной культуры и производству местной продукции
	Цель 17: укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках Глобального партнерства в интересах устойчивого развития	Улучшение доступа к науке, технике и инновациям, активизация обмена знаниями и передачи технологий, а также наращивание потенциала
Задача 14.с: улучшить работу по сохранению и рациональному использованию океанов и их ресурсов путем соблюдения норм международного права, закрепленных в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву, которая, как отмечено в пункте 158 документа «Будущее, которого мы хотим», закладывает юридическую базу для сохранения и рационального использования Мирового океана и его ресурсов	Цель 2: ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания	Обеспечение устойчивых систем производства продуктов питания, сохранение экосистем, а также укрепление способности адаптироваться к изменению климата, экстремальным погодным явлениям, засухам, наводнениям и другим бедствиям
	Цель 3: обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте	Сокращение опасных химических веществ, а также случаев загрязнения и отравления
	Цель 6: обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех	Сокращение загрязнения, совершенствование обращения со сточными водами, а также охрана и восстановление экосистем, связанных с водой
	Цель 7: обеспечение доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех	Совершенствование энергоисточников, повышение энергоэффективности и соответствующее сокращение выбросов
	Цель 11: обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов	Устойчивая урбанизация и уменьшение негативного экологического воздействия городов, а также защита и сохранение культурного и природного наследия
	Цель 12: обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства	Рациональное освоение и использование природных ресурсов, а также экологически рациональное использование химических веществ и всех отходов на протяжении всего их жизненного цикла в соответствии с согласованными международными принципами

Задачи, уточняющие цель 14 в области устойчивого развития	Цели в области устойчивого развития, в достижение которых вносит свой вклад работа над целью 14	Механизм
	Цель 13: принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями ^a	Осуществление мер по смягчению остроты и ослаблению последствий изменения климата и по адаптации к ним, а также включение мер реагирования на изменение климата в политику, стратегии и планирование на национальном уровне
	Цель 15: защита и восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное лесопользование, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биологического разнообразия	Сдерживание деградации природных сред обитания и утраты биологического разнообразия, а также предотвращение исчезновения видов
	Цель 16: содействие построению миролюбивого и открытого общества в интересах устойчивого развития, обеспечение доступа к правосудию для всех и создание эффективных, подотчетных и основанных на широком участии учреждений на всех уровнях	Содействие верховенству права на национальном и международном уровнях
	Цель 17: укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках Глобального партнерства в интересах устойчивого развития	Повышение последовательности политики по обеспечению устойчивого развития

- ^a Признавая, что Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата является главной международной межправительственной основой для согласования мер глобального реагирования на изменение климата.
- ^b Принимая во внимание переговоры, ведущиеся в рамках Всемирной торговой организации, Дохинскую повестку дня в области развития и Гонконгскую декларацию министров.

Схема подцелей, из которых складывается цель 14 в области устойчивого развития, и относящихся к ним глав



Часть вторая

Введение

Глава 2

Подход к оценке

Участники: Мария Жуан Бебианно, Ван Цзюйин, Ка Тхань Ву, Карлос Гарсия-Сото, Тимон Зелиньский, Ильконида Калумпонг, Осман Ке Камара, Энрике Маршофф, Эсам Ясин Мохаммед, Хенн Оявеэр, Пак Чхуль, Иления Рандрианарисуа, Ренисон Рува, Алан Симкок, Анастасия Страти, Санаэ Тиба, Джошуа Т. Тухумвире, Йёрн Шмидт и Кэрен Эванс (Группа экспертов Регулярного процесса глобального освещения и оценки состояния морской среды, включая социально-экономические аспекты).

Ключевые тезисы

- Вторая «Оценка состояния Мирового океана» призвана обновить первую «Оценку состояния Мирового океана», позволяя разобраться в изменениях, происшедших в Мировом океане с 2010 года, и в характеризующих их тенденциях.
- Она также дает представление об определенных аспектах, которые в первой «Оценке» полноценно не рассматривались, таких как антропогенный шум, морские гидраты, кумулятивные эффекты, морское простран-

ственное планирование и хозяйственные подходы.

- В «Оценке» применен модифицированный подход к модели «побудители – нагрузки – состояние – воздействия – реакции», выработанный благодаря серии семинаров, призванных выяснить информацию по конкретным регионам и оформлению соответствующего вклада в «Оценку», рецензированию материалов специалистами и их обзору государствами.

1. Предназначение второй «Оценки состояния Мирового океана»

Предназначение второй «Оценки состояния Мирового океана» вытекает из принципов, которыми определяются Регулярный процесс глобального освещения и оценки состояния морской среды, включая социально-экономические аспекты, его цель и сфера его охвата и которые изложены в соответствующих решениях Генеральной Ассамблеи, Специальной рабочей группы полного состава Генеральной Ассамблеи по Регулярному процессу и ее Бюро. В частности, в рекомендациях Рабочей группы относительно предлагаемых рамок Регулярного процесса (A/64/347, приложение) его общая цель сформулирована так:

Осуществляемый под эгидой Организации Объединенных Наций регулярный процесс должен быть признан в качестве глобального механизма наблюдения за состоянием морской среды, включая социально-экономические аспекты, на постоянной и систематической основе путем представления регулярных оценок на глобальном и межрегиональном уровнях и использования комплексного подхода, включающего экологические, экономические и социальные аспекты. Такие оценки способствовали бы принятию основанных на фактах решений и, таким образом, устойчивому управлению человеческой деятельностью, которая воздействует на океаны и моря, в соответствии с международным правом, включая Конвенцию Организации Объединенных Наций

по морскому праву и другие применимые международные документы и инициативы.

Рекомендации Рабочей группы были одобрены Генеральной Ассамблеей в ее резолюции 64/71, а принципы, определяющие Регулярный процесс, его цель и сферу его охвата, были подтверждены Ассамблеей в ее резолюции 71/257.

Принципы, определяющие Регулярный процесс, были изложены Рабочей группой следующим образом:

Регулярный процесс должен определяться международным правом, включая Конвенцию Организации Объединенных Наций по морскому праву и другие применимые международные документы и инициативы, и должен учитывать следующие принципы:

- a) подход к океанам как к части экосистемы планеты Земля;
- b) регулярный анализ государствами-членами продуктов оценки и самого регулярного процесса, с тем чтобы оказать поддержку адаптивному управлению;
- c) использование проверенных практикой достижений науки и содействие достижению наивысших научных результатов;
- d) регулярный анализ с целью выявления еще на ранней стадии возникающих проблем, основных вызовов и значительных пробелов в знаниях;

- e) постоянное совершенствование научного и оценочного потенциалов, включая поощрение и развитие деятельности по укреплению потенциала и передачи технологии;
- f) эффективные связи с теми, кто отвечает за разработку политики, и другими пользователями;
- g) инклюзивность в отношении коммуникации и взятие соответствующих обязательств с участием всех действующих сторон путем обеспечения соответствующих средств для их участия, включая надлежащее представительство и региональное равновесие на всех уровнях;
- h) признание и применение традиционных знаний и принципов и знаний и принципов коренных народов;
- i) транспарентность и подотчетность применительно к самому регулярному процессу и его продуктам;
- j) обмен информацией на всех уровнях;
- k) эффективные связи с существующими процессами оценки, в частности на региональном и национальном уровнях, и развитие этих связей;

- l) приверженность справедливому географическому распределению применительно ко всей деятельности в рамках регулярного процесса.

Сфера охвата первого цикла Регулярного процесса, равно как и первой «Оценки состояния Мирового океана», заключалась в выяснении исходного уровня для всех аспектов океана — экологических, социальных и экономических. В своей резолюции 72/73 Генеральная Ассамблея постановила, что в сферу охвата второго цикла будут включены оценка тенденций и выявление пробелов.

Настоящая «Оценка», являющаяся первым продолжением первой «Оценки», призвана дать глобальный обзор замеченных с 2010 года тенденций по всем аспектам океана. Кроме того, в ней сообщается об определенных аспектах океана, которые не получили полноценного освещения в первой «Оценке», в том числе об антропогенном шуме, морских гидратах, кумулятивных эффектах, морском пространственном планировании и хозяйственных подходах.

2. Основная аудитория и рамки второй «Оценки состояния Мирового океана»

Регулярный процесс подотчетен в первую очередь Генеральной Ассамблее (см. A/65/358). Поскольку цель Регулярного процесса состоит в том, чтобы способствовать «принятию основанных на фактах решений и, таким образом, устойчивому управлению человеческой деятельностью, которая воздействует на океаны и моря», главная аудитория, на которую рассчитана настоящая «Оценка», — это действующие во всех секторах люди, которые будут принимать решения, сказывающиеся на морской среде. Им необходимо быть в состоянии получать общее представление о морской среде в целом, равно как и фокусироваться на тех аспектах, которые наиболее значимы для их профиля.

В настоящей «Оценке» применена (с некоторыми модификациями) модель «побудители — нагрузки — состояние — воздействия — реакции»,

которая обсуждалась в главе 3 первой «Оценки». Этот модифицированный подход появился как результат обсуждений в первом раунде региональных семинаров, посвященных структуре «Оценки» (о семинарах рассказывается ниже). Вследствие этого в настоящей «Оценке»:

- a) определяются соответствующие побудители изменений в океане (часть 3);
- b) описываются тенденции, характеризующие текущее состояние основных компонентов морской среды, таких как группы биологических видов, типы местообитаний и человеческое общество, включая морские отрасли (часть 4),
- c) называются нагрузки и их воздействия на океан, включая соответствующие социально-экономические компоненты (часть 5);

- d) описываются сдвиги в хозяйственных мерах, принимаемых в ответ на это давление и воздействия (часть б).

В остальных разделах настоящей части дается обзор нашего нынешнего научного понимания океана, которое служит фундаментом для «Оценки».

3. Подготовка второй «Оценки состояния Мирового океана»

Настоящая «Оценка» подготовлена Группой экспертов Регулярного процесса глобального освещения и оценки состояния морской среды, включая социально-экономические аспекты, и авторскими коллективами, набранными из контингента экспертов, в соответствии с кругом ведения и методами работы Группы экспертов на второй цикл Регулярного процесса и руководством для участников, подготовленным Группой.

Группа экспертов была образована для надзора за работой, требующейся для составления настоящей «Оценки». Группа состоит из экспертов, выдвинутых каждой региональной группой государств — членов Организации Объединенных Наций. Составители отдельных глав «Оценки» и рецензенты проектов этих глав были отобраны как из Группы, так и из контингента экспертов. В этот контингент входят эксперты, присутствовавшие в нем в первый цикл Регулярного процесса, и дополнительные эксперты, выдвинутые государствами специально для второго цикла.

Процесс подготовки настоящей «Оценки» начался с того, что Группа экспертов определила ее структуру. Поначалу структура основывалась на структуре первой «Оценки» и складывалась из резюме и четырех частей, посвященных компонентам океана: океану и его циркуляции, пищевой сети, прибрежным и шельфовым морям и открытому океану. Эта предложенная структура обсуждалась в состоявшемся в 2017 году первом раунде из пяти региональных семинаров, на которых были изложены результаты первой «Оценки», рассмотрены недавние региональные оценки и определены региональные приоритеты для включения в настоящую «Оценку». Основываясь на отзывах участников этих семинаров и стремясь учесть два главных озвученных момента, Группа пересмотрела предложенную структуру «Оценки», так чтобы она четче следовала международно признанной модели «побудители — нагрузки — состояние — воздей-

ствия — реакции» (Smeets and Weterings, 1999) и включала конкретное освещение вопросов хозяйствования. Эта пересмотренная структура была воплощена в плане настоящей «Оценки», который был рассмотрен, уточнен и утвержден Специальной рабочей группой полного состава на ее десятом совещании.

Чтобы содействовать разработке глав, в 2018 году был проведен второй раунд региональных семинаров, на которых присутствовали члены Группы экспертов и эксперты (в том числе из контингента экспертов и авторских коллективов), выдвинутые государствами, особенно государствами соответствующих регионов. Семинары были посвящены проработке конкретных глав «Оценки» с учетом региональных отзывов, региональных потребностей в формировании потенциала и прочих вопросов, отмеченных участниками.

Группа экспертов оформила соответствующие списки членов авторских коллективов и представила их на утверждение Бюро Специальной рабочей группы полного состава. При определении возможного состава авторских коллективов применялись разные методы: несколько экспертов подходящей квалификации уже были в контингенте экспертов и согласились участвовать в составлении проекта, когда Группа к ним обратилась; несколько человек приняли участие в одном из региональных семинаров, а потом были выдвинуты в контингент экспертов; несколько человек были добавлены по запросу Группы, которой требовались специалисты конкретного профиля, или после самовыдвижения. Авторские коллективы выполняли свою работу в основном посредством телеконференций и переписки.

В руководстве для участников, которое было разработано Группой экспертов, отмечалось, в частности, необходимость стремиться к глобальности обзора и указывалось, как описывать

риски, как справляться с неопределенностью и какие этические соображения учитывать при составлении и оценке материалов для Регулярного процесса (UNGA, 2017b; UNGA, 2018a). Члены Группы, назначенные ведущими и соведущими по разным главам, давали советы о том, какие типы информации считать приемлемыми и как добиться сбалансированности содержания главы. Перед членами авторского коллектива каждой главы была поставлена задача изучить проект этой главы на общую сбалансированность и максимально проследить за тем, чтобы глава опиралась на наилучшие имеющиеся данные и информацию, а делаемые выводы были здоровыми и хорошо обоснованными.

После того как заканчивалось составление проекта каждой главы и он признавался пригодным для рецензирования, его отправляли на рецензирование, к которому привлекались как минимум два рецензента, отобранные из контингента экспертов. Рецензенты действовали совершенно

независимо и не были причастны к составлению рецензируемой ими главы. Им предлагалось оценить каждую главу на общую сбалансированность и проверить, были ли использованы наилучшие имеющиеся данные и информация и являются ли выводы здоровыми и хорошо обоснованными.

После того как каждая глава подверглась рецензированию специалистами и последующей правке авторским коллективом, было выполнено компилирование и редактирование глав с целью оформить сводный документ, представляемый государствам для обзора. После обзора государствами главы подверглись дальнейшей правке авторскими коллективами, и в результате появился окончательный проект «Оценки». Группа экспертов представила его Специальной рабочей группе полного состава, чтобы та санкционировала его представление Генеральной Ассамблее.

4. Терминология

Необходимо провести важное различие между терминологией, используемой при научном описании океана, и юридической терминологией, применяемой для описания прав и обязательств государств в океане. Не считая некоторых аспектов континентального шельфа за пределами 200 морских миль, границы морских зон, которые устанавливаются Конвенцией Организации Объединенных Наций по морскому праву, основаны не на геоморфологических критериях.

Если не указано иное, то под термином «континентальный шельф» в настоящей «Оценке» (см., в частности, главы 7J, 7M и 7N) понимается геоморфологический континентальный шельф, а не континентальный шельф в том виде, в каком он определяется в Конвенции. Геоморфологический континентальный шельф обычно определяется как подводное продолжение континента или острова вплоть до точки, где в континентальном склоне появляется заметный перегиб и где склон начинает уходить в глубину,

до континентального подножия или абиссальной равнины (Hobbs, 2003).

В свою очередь, под термином «открытый океан» понимается водная толща глубоководных районов, которые расположены дальше (т.е. мористее) геоморфологического континентального шельфа. Он охватывает всю толщу воды (пелагическая зона, пелагиаль) в районах за пределами геоморфологического континентального шельфа.

Под термином «морское глубоководье» понимается морское дно глубоководных районов, которые расположены дальше (т.е. мористее) геоморфологического континентального шельфа. Это бентическая зона (бенталь), которая обычно начинается глубже 200-метровой отметки.

Наконец, термин «районы за пределами национальной юрисдикции» означает открытое море и Район (т.е. дно морей и океанов и его недра за пределами национальной юрисдикции), совпадая с определением, даваемым в Конвенции.

5. Выражение признательности

Очень важным стало то, что в регулярном бюджете Организации Объединенных Наций были предусмотрены ресурсы на нужды настоящей «Оценки». Это разительно сказалось на выполнении работы.

Никто из членов Группы экспертов или контингента экспертов не получал вознаграждения за свою работу.

Регулярный процесс признателен Австралии, Бразилии, Гане, Германии, Греции, Индонезии, Катару, Мальте, Новой Зеландии, Объединенной Республике Танзания, Палау, Польше, Португалии, Республике Корея, Соединенному Коро-

левству Великобритании и Северной Ирландии, Соединенным Штатам Америки, Таиланду, Украине, Эквадору, Эстонии и Японии за их содействие в составлении настоящей «Оценки». Кроме того, дополнительное содействие оказали Межправительственная океанографическая комиссия, Постоянная комиссия для южной части Тихого океана и анонимный частный донор. Регулярный процесс также признателен Ирландии, Нидерландам, Новой Зеландии, Республике Корея и Эстонии за их добровольные взносы в целевой фонд для Регулярного процесса во время второго цикла.

Справочная литература

Hobbs, Carl, III (2003). "Continental Shelf". In *Encyclopedia of Geomorphology*, ed. Andrew Goudie, Routledge, London and New York.

Smeets, E., and R. Weterings (1999). Environmental indicators: typology and overview. Technical report No. 25/1999. European Environment Agency, Copenhagen.

United Nations, Ad Hoc Working Group of the Whole of the General Assembly on the Regular Process for Global Reporting and Assessment of the State of the Marine Environment, including Socioeconomic Aspects (2009) = Организация Объединенных Наций, Специальная рабочая группа полного состава Генеральной Ассамблеи по Регулярному процессу глобального освещения и оценки состояния морской среды, включая социально-экономические аспекты (2009). Доклад о работе Специальной рабочей группы полного состава, представляющей Генеральной Ассамблее рекомендуемый курс действий в отношении регулярного процесса глобального освещения и оценки состояния морской среды, включая социально-экономические аспекты (A/64/347, приложение), пп. 7 и 9.

United Nations General Assembly (UNGA) (2010) = Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций (ГА ООН) (2010). Резолюция 64/71, п. 177. См. также резолюцию 72/73, п. 302.

_____ (2016) = ГА ООН (2016). Резолюция 71/257 («Мировой океан и морское право»), п. 299.

_____ (2017a) = ГА ООН (2017a). Резолюция 72/73 («Мировой океан и морское право»), пп. 304 и 330.

_____ (2017b) = ГА ООН (2017b). Руководство для участников: часть I (A/72/494, приложение IV).

_____ (2018) = ГА ООН (2018). Руководство для участников: часть II (A/73/74, приложение II).

Глава 3

Научное понимание океана

Участники: Цяо Бин (координатор), Карлус Франсиску Андради, Нене Би Трас Бонифас, Карлос Гарсия-Сото (соведущий участник), Антонио Ди Натале, Тимон Зелиньский (соведущий участник), Инь Кэ Дун, Энрике Р. Маршофф, Колин Моффат, Джослин Мпемба Казади, Паулу Антунис Орта, Хенн Оявезэр, Ренисон Рува (ведущий участник), Уэнсуд Сеньягбето, Санаэ Тиба (соведущий участник), Секу Тидьян Бангура, Чжан Джан Ик, Мохаммад Захедур Рахман Чоудхури, Йёрн Шмидт (соведущий участник) и Кэрен Эванс.

Ключевые тезисы

- Технологические и конструкторские инновации, затрагивающие датчики и автономные наблюдательные платформы, позволили существенно активизировать наблюдения за океаном и добиваться большего временного и пространственного разрешения у результатов таких наблюдений.
- Благодаря тому, что поощрялись налаживание сетевых связей и координация региональных наблюдательных программ, появилась возможность повысить координацию и интеграцию усилий, а также стандартизацию и гармонизацию наблюдательных методов.
- Во всем мире сохраняются диспропорции в понимании и пробелы в знаниях на континентально-региональном уровне, особенно в Африке, Океании и Южной Америке.
- Большинство наблюдательных сетей не настроено на отслеживание экономических, социальных и культурных аспектов океана, вследствие чего на региональном и глобальном уровнях не хватает целенаправленных и общедоступных наблюдений за этими аспектами морских систем в стандартизованных форматах. Результаты таких наблюдений могли бы предоставляться в рамках работы над вспомогательными национальными счетами.

1. Введение

В настоящей главе описываются изменения в научной основе для понимания морской среды. Основой для понимания всех аспектов окружающего мира считается доказательная наука. Естественные науки играли особенно важную роль в открытии окружающей среды и улучшении ее понимания, тогда как общественные и гуманитарные науки важны для понимания ценностей, усматриваемых за морской средой, и человеческого поведения как при пользовании океаном, так и при признании его ценностей. Совокупность этих дисциплин была существенно значимой для понимания вызовов, с которыми человечество (отдельные люди, их коллективы и целые общества) сталкивается в деле обеспечения устойчивого использования морской среды, при котором сберегаются эти ценности и сохраняется морская среда. В морских науках всё чаще поощряются меж- и трансдисциплинарные подходы, на поддержку которых направлены новые схемы финансирования, внедренные несколькими международными финансовыми

органами (такими, как BiodivERsA¹, JPI Oceans² и Бельмонтский форум³) и национальными агентствами, а также по линии инициатив и начинаний в сфере научной дипломатии^{4,5}.

В настоящей главе дается обзор научных достижений, на которые опирается понимание океана, а также изменений в научном потенциале, происшедших за время после первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017c). В ней резюмируются новые достижения в научной сфере и успехи в деле формирования научного потенциала. Она строится на двух главах первой «Оценки»: главе 3, посвященной научному пониманию экосистемных услуг (United Nations, 2017a), и главе 30, посвященной морским научным исследованиям (United Nations, 2017b). Однако обновленная информация о концепции экосистемных услуг и детализация новой концепции «Вклад природы на благо человека», как следует из недавнего доклада Межправительственной научно-политической платформы по биораз-

¹ См. www.biodiversa.org.

² См. <http://jpi-oceans.eu>.

³ См. www.belmontforum.org.

⁴ См. <https://allatlanticocean.org/main>.

⁵ См. <https://meetings.pices.int>.

нообразию и экосистемным услугам (МПБЭУ) (Pascual and others, 2017), приводятся не в данной главе, а в главе 28 настоящей «Оценки».

В настоящей главе рассматривается также вопрос о том, какие более общие сдвиги произошли в конкретных дисциплинах после первой «Оценки» и как они изменили понимание океана

(см. разд. 2). В ней резюмируются ключевые изменения по конкретным регионам (см. разд. 3), рассматриваются изменения, которых можно ожидать в предстоящие годы (см. разд. 4), и дается обзор существующих пробелов в знаниях (см. разд. 5) и в формировании потенциала (см. разд. 6).

2. Описание изменений, происшедших после первой «Оценки состояния Мирового океана» в данных, технологиях и моделях, и последствий этих изменений для общего понимания, включая социально-экономические последствия

Вальдес и др. (Intergovernmental Oceanographic Commission (UNESCO-IOC), 2017a) усматривают изменения и рост в научном понимании по следующим восьми глобальным категориям морских научно-исследовательских дисциплин: а) функции и процессы морских экосистем; б) океан и климат; в) океаническая кора и морские геологические опасности; г) «голубой» рост; д) здоровье океана; е) здоровье и благополучие людей; ж) океанские технологии и инженерия; з) наблюдения за океаном и морские данные. Технологические и конструкторские инновации, затрагивающие датчики (например, Wang and others, 2019) и автономные наблюдательные платформы (Zolich and others, 2019), позволили собирать данные при большем временном и пространственном разрешении и распространять эти наблюдения на удаленные районы (Samus and others, 2019). Появление же экономичных и простых в использовании датчиков, сопровождающееся созданием мобильных приложений, более широким участием граждан (например, Simoniello and others, 2019) и размещением датчиков на судах, не имеющих научного профиля, способствует получению большего объема данных наблюдения за океаном (Jiang and others, 2019). Это позволило полнее разобраться в том, какие физические и биогеохимические системы действуют в океане (например, Moore and others, 2019), и способствовало дальнейшему развитию потенциала в области раннего предупреждения об опасностях и их прогнозирования (Luther and

others, 2017). Разработаны наборы данных и методы для точной оценки антропогенных выбросов CO₂ и их перераспределения в атмосфере, в океанах и в биосфере суши (Le Quéré and others, 2018).

Достижения в области компьютерных технологий и статистических подходов к анализу крупных наборов данных, например с помощью машинного обучения и искусственного интеллекта, позволили усовершенствовать дистанционное зондирование и повысить полезность наборов океанских данных, в частности для мониторинга рыбных промыслов и наблюдения за ними (Toonen and Bush, 2020) и для преодоления биоинвазий (Koerich and others, 2020). Достижения в области геномных подходов к наблюдению за океаном, например с помощью методов исследования экологической ДНК (Ruppert and others, 2019), улучшают понимание распределения и состава биологических видов (Canónico and others, 2019) в океане и позволяют полнее разобраться в пищевых сетях, трофических связях и соединенности видов в разных регионах. Разработаны новые модели и инструменты, призванные выяснять и оценивать кумулятивные эффекты от множественных нагрузок на морские экосистемы (Stelzenmüller and others, 2018; см. также главу 25) и позволяющие изучать хозяйственные варианты для устойчивого развития человеческого общества (Halpern and others, 2017; Audzijonyte and others, 2019). Инициированы такие проекты, как проект Фонда «Ниппон» и Генеральной ба-

тиметрической карты океанов под названием «Морское дно — 2030»⁶, посвященный смелой задаче — нанести к 2030 году на карту 100 процентов океанского дна.

Чтобы способствовать дальнейшему развитию глобальных наблюдений за океаном в рамках интегрированной системы и обеспечивать сопоставимость океанских данных, поощрялось налаживание сетевых связей и координация региональных наблюдательных программ (Moltmann and others, 2019). Благодаря таким международным начинаниям, как инициатива «Основные климатические переменные» у Глобальной системы наблюдений за климатом (Vojniski and others, 2014) и инициатива «Основные океа-

нические переменные» у Глобальной системы наблюдений за океаном (Miloslavich and others, 2018), достигается стандартизация и гармонизация методов наблюдений. Чтобы эффективнее использовать данные об океане на благо общества, выдвинуто предложение базировать службы океанских данных на принципах легконаходимости, доступности, интероперабельности и многократности (Tanhua and others, 2019a), а также созданы площадки, позволяющие делиться передовыми наработками в области наблюдений за океаном, обмениваться данными и вести коллективный диалог (Pearlman and others, 2019).

3. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)

3.1. Северный Ледовитый океан

Арктический совет регулярно публикует (в том числе по линии Программы арктического мониторинга и оценки и Программы циркумполярного мониторинга биоразнообразия рабочей группы «Сохранение арктической флоры и фауны») доклады о состоянии сухопутной, пресноводной и морской среды Арктики. В недавних докладах о состоянии арктического биоразнообразия (Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF), 2017), о закислении океана (Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), 2018) и о последствиях изменения климата (AMAP, 2019) представлена новая информация о стремительных изменениях в арктической морской среде, включая увеличение речного стока, которое объясняется слабостью ледостава и привело к росту объемов углерода и нутриентов с последующим увеличением первичной продукции в прибрежных областях. Такие изменения в продукции, а также в сроках и интенсивности цветения морских водорослей оказывают глубокое влияние на всю пищевую сеть. Потепление Арктики также привело к интродукции 20 видов, а в Чукотском море и море Бофорта достоверно установлено изменение ареала распространения

еще 59 видов за последние 15 лет. Согласно наблюдениям, закисление океана серьезно сказывается на арктической пищевой сети, в том числе на таких промысловых видах, как треска (AMAP, 2019). Притом что в Северном Ледовитом океане происходят значительные изменения, некоторые регионы и экосистемные компоненты остаются недостаточно изученными и не охваченными долгосрочным мониторингом (CAFF, 2017).

3.2. Северная часть Атлантического океана и Балтийское, Северное, Средиземное и Черное моря

По линии совместной программы BONUS⁷, посвященной исследованию и развитию Балтийского моря, удалось значительно продвинуться в научном понимании этой акватории. За последнее время в некоторых тенденциях в Балтийское море были замечены серьезные переломы, например возвращение высших хищников, восстановление некоторых рыбных запасов и сокращение привнесения нутриентов и вредных веществ (Reusch and others, 2018). Недавно для Балтийского моря была разработана пространственно эксплицитная сквозная экосистемная модель Atlantis, призванная оценивать эффекты антропогенных

⁶ См. <https://seabed2030.gebco.net>.

⁷ См. www.bonusportal.org.

нагрузок на морскую экосистему (Bossier and others, 2018). Вторая «Целостная оценка здоровья экосистемы Балтийского моря», выполненная Хельсинкской комиссией, показала, что, несмотря на некоторые (скромные) признаки улучшения состояния Балтийского моря, цели и экологические задачи Плана действий по Балтийскому морю пока не реализованы. В случаях, когда имелась информация субрегионального масштаба, были также включены результаты экономического и социального анализа (Helsinki Commission, 2018).

Комиссия по защите морской среды Северо-Восточной Атлантики⁸ периодически публикует обновленные сведения о состоянии морской среды. Согласно ее оценке (Commission for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic, 2017), расширилась площадь охраняемых морских районов и произошло уменьшение загрязняющих и радиоактивных выбросов, в частности с нефтегазовых установок. Однако были отмечены сохранение такой проблемы, как эвтрофикация, и рост морского мусора, особенно пластика. Если у одних морских млекопитающих (например, у обыкновенного тюленя (*Phoca vitulina*) и длинномордого тюленя (*Halichoerus grypus*) популяция увеличивается, то у других (например, у морской свиньи (*Phocoena phocoena*) и афалины (*Tursiops truncatus*) она сокращается. У более чем четверти оцененных видов морских птиц происходит упадок популяции, а бентические местообитания продолжают страдать от практики донного траления.

В рамках Конвенции о защите морской среды и прибрежного региона Средиземноморья⁹ составляется несколько хорошо продуманных планов действий, направленных на решение приоритетных проблем Средиземноморья. К ним относятся загрязнение, сохранение местообитаний и видов, изменение климата, комплексное управление прибрежной зоной и устойчивое использование ресурсов.

За последнее время обнаружено большое количество локальных гипоксических воронок («мертвых зон») в восточной части тропической

Северной Атлантики. К северу от 12° с. ш. эти воронки заносят слабосоленую морскую воду из области апвеллинга на восточной границе Северной Атлантики в открытое море, а к югу от 12° с. ш. вихревые явления образуются, судя по всему, в открытом океане (Schütte and others, 2016a). Повышенные концентрации хлорофилла, ассоциируемые с усиленным потреблением кислорода в вихревом ядре, приводят к увеличению общего потребления кислорода в открытых акваториях тропической части Северо-Восточной Атлантики. Считается, что это способствует формированию мелководной зоны кислородного минимума в данном регионе (Schütte and others, 2016b).

3.3. Южная часть Атлантического океана и Большой Карибский район

Достигнут значительный прогресс в наблюдении, понимании и прогнозировании множественных взаимосвязанных проявлений изменения климата в тропической Атлантике, таких как количество осадков, выпадающих над сушей, ураганная активность, морская биологическая продуктивность, эпизоды жары, атмосферная циркуляция, захватывающая экваториальную часть Тихого океана, корреляция и взаимовлияние с социальными явлениями и приток пресной воды из Амазонки (Foltz and others, 2019; Rodrigues and others, 2019). Группировка заякоренных буев для прогнозирования и исследований в тропической части Атлантики¹⁰ переведена на аппаратуру следующего поколения, позволяющую расширить и улучшить способность группировки выполнять океанские и климатические исследования и прогнозы. Благодаря многократным съемкам, осуществленным как гидрографическими судами, так и судами-добровольцами, вырос объем натурных наблюдений. В прибрежных акваториях Сенегала замечено долгосрочное ослабление апвеллинга, приводящее к цветению диатомей. Ожидается, что это вызовет в данном регионе аноксию и потерю азота (Machu and others, 2019). Требуется

⁸ См. www.ospar.org.

⁹ См. <https://www.unep.org/unepmap/>.

¹⁰ См. <http://pirata.ccsst.inpe.br/en/home>.

более глубокое понимание причины, движения и экологических последствий цветения саргасс в Карибском море (Wang and Hu, 2017).

Удалось добиться усовершенствований в системах раннего предупреждения о состоянии коралловых рифов, в частности благодаря формированию новых партнерств, одним из которых является партнерство Центра Карибского сообщества по изменению климата с Национальной администрацией по океану и атмосфере. В соответствии с партнерским соглашением Атлантическая океанографическая и метеорологическая лаборатория, частично финансируемая Программой по сохранению коралловых рифов, оказывает консультационную помощь и поддержку информационных систем, включая программирование буя для сбора данных и передачу данных обратно в Лабораторию.

3.4. Индийский океан, Аравийское и Красное моря и Аденский, Бенгальский и Персидский заливы

Успехи, отмечавшиеся после первой «Оценки» в понимании Индийского океана и его экосистем, во многом достигнуты благодаря второй Международной экспедиции в Индийском океане, которая действует с 2015 года и была в 2020 году продлена еще на пять лет (Hood and others, 2015; Hood and others, 2019). Это многонациональное совместное начинание позволило выяснить, что на западной границе Аравийского моря расширяются масштабы подповерхностного истощения кислорода и что это привело к резкому сдвигу в экосистемах не только Аравийского моря, но и Бенгальского залива (Gomes and others, 2014; Bristow and others, 2017). Экспедиция также обнаружила новые подводные каньоны и позволила лучше понять бентические местообитания на абиссальном конкрециеносном поле в центральной части индоокеанского бассейна, на западной континентальной окраине Аравийского моря и в западных областях Бенгальского залива (Hood and others, 2019). Кроме того, в ходе экспедиции были отмечены крупные изменения в биогеохимии и экосистемах Персидского залива, вызванные человеческой деятельностью, а также

впервые произведены зарегистрированные измерения первичной продукции, поглощаемого азота и разнообразия фитопланктона в разных биогеохимических провинциях центральной олиготрофной части Индийского океана (Hood and others, 2015).

Система наблюдений за Индийским океаном подверглась обзору, повлекшему за собой переконфигурирование Группировки заякоренных буев для анализа и прогнозирования афро-азиатско-австралийских муссонов с целью охватить новые участки в Аравийском море и еще восемь запланированных участков, расположенных сразу за исключительной экономической зоной Индии. Эти буи почти в реальном времени выдают океанографические и метеорологические данные, а центры прогнозирования климата и погоды получают прямой доступ к ним для климатического моделирования и погодных прогнозов (Hermes and others, 2019). Растет количество плавучих буев, развертываемых в рамках системы Argo; они оснащены биогеохимическими датчиками и позволяют получить представление о ключевых процессах, ассоциируемых с цветением планктона и зонами кислородного минимума (Hermes and others, 2019).

Индонезийский сквозной поток, т. е. перетекание тропических западнотихоокеанских вод в тропическую юго-восточную часть Индийского океана через индонезийские моря, служит важным каналом, извещающим о климатических сигналах и их аномалиях в Мировом океане (Fan and others, 2018; Feng and others, 2017; Iwatani and others, 2018; Lee and others, 2019; Maher and others, 2018; Zhou and others, 2016). Измерение и моделирование физической и биогеохимической изменчивости в индонезийских морях по-прежнему сопряжено с многочисленными неопределенностями.

3.5. Северная часть Тихого океана

Компоненты Интегрированной системы наблюдений за океаном в северной части Тихого океана расширили свои возможности по мониторингу прибрежных зон и начали охватывать общественно-научные дисциплины. Это привело к лучшему пониманию механизма и экологических последствий аномальной жары на Аляске в 2014–2016 годах (Yang and others, 2019).

Организация по морским наукам в северной части Тихого океана¹¹, которая после первой «Оценки» усилила свою роль в координации региональных наблюдательных сетей в подведомственном ей регионе, служит площадкой для обмена знаниями между учеными и мостом между наукой и формированием политики. За период, прошедший после первой «Оценки», она выпустила две специальные публикации: о закислении и дезоксигенации в северной части Тихого океана (Christian and Ono, 2019) и о последствиях замусоривания морской среды, вызванного цунами 2011 года в Японии (Clarke Murray and others, 2019). Она также занималась совершенствованием понимания факторов предсказуемости климата и экосистем, побудителей цветения водорослей и медуз, морских экосистем и предоставляемых ими услуг, благополучия человека и состояния высших хищников (Watanuki and others, 2016; Makino and Perry, 2017; Trainer, 2017; Uye and Brodeur, 2017; Zhang and others, 2015; Jang and Curchitser, 2018). Организация периодически выпускает доклад о состоянии северотихоокеанской экосистемы, в котором анализируются и обобщаются состояние и динамика морских экосистем в северной части Тихого океана, а также рассматриваются факторы, вызывающие изменения или способные их вызвать в скором будущем. В настоящее время готовится третий доклад, в котором будут детализированы тенденции, характеризующие физические, химические и биологические характеристики северной части Тихого океана на протяжении 2010-х годов.

Интенсивное расширение Китаем морских научно-исследовательских средств и возможностей, включая платформы для дистанционного зондирования и для натуральных наблюдений и объекты сухопутной инфраструктуры (Chen and Lei, 2019), позволило усилить мониторинговый потенциал в морских акваториях Юго-Восточной Азии. Эта система способствовала продвижению регионального сотрудничества в области

устойчивого развития и морских и климатических исследований.

3.6. Южная часть Тихого океана

Новое понимание последствий изменения климата и потепления океана помогло выявить основные проблемные точки в южной части Тихого океана, включая акватории к юго-востоку от Австралии и к западу от островов Галапагос, восток Микронезии и пролив Дрейка, где региональные темпы потепления превышают среднемировые¹². В то же время улучшилось описание и понимание эпизодов морской жары и их воздействия на морские экосистемы (Oliver and others, 2018; Fordyce and others, 2019). Оценки коралловых атоллов в разных местах региона не выявили массовых признаков физической дестабилизации в условиях подъема уровня моря, и площадь суши остается стабильной (Duvat, 2018). Действующие в регионе наблюдательные системы занимаются сейчас сбором временных рядов океанских данных, получаемых в ходе различных наблюдений (в том числе наблюдений за физической и химической средой, биологической продуктивностью и морскими животными), которые позволяют говорить о тенденциях и изменениях¹³.

Между членами Постоянной комиссии для южной части Тихого океана (Колумбия, Перу, Чили и Эквадор) налажены новые региональные партнерства с целью мониторинга и прогнозирования океанографической и климатической изменчивости¹⁴. В недавнем докладе Системы наблюдений за тропической зоной Тихого океана¹⁵ были сформулированы рекомендации по модификации группировки заякоренных буев¹⁶, способной улучшить наблюдения в названной зоне.

Правительство Австралии составляет каждые пять лет доклад о состоянии окружающей среды Австралии, последний из которых вышел в 2016 году (Clark and Johnston, 2016; Evans and others, 2016; Evans and others, 2018). В темати-

¹¹ См. <https://meetings.pices.int>.

¹² См. www.marinehotspots.org.

¹³ См. www.imosoceanreport.org.au.

¹⁴ См. <http://met.igp.gob.pe/elnino/enfen/index.html>.

¹⁵ См. <http://tpos2020.org>.

¹⁶ См. www.pmel.noaa.gov/gtmba/mission.

ческих докладах по морской и прибрежной средам Австралии был сделан вывод, что их общее состояние можно считать хорошим. Однако накопившееся воздействие ряда старых нагрузок (таких, как коммерческое и любительское рыболовство) и наличие новых нагрузок, действие которых в настоящее время адекватно не регулируется (например, изменение климата и замусоривание моря), привели к ухудшению состояния этих сред и продолжают отрицательно на нем сказываться. Поэтому перспективы для прибрежной и морской сред были сочтены смешанными и во многом зависящими от того, будет ли нарастать траектория нагрузок, связанных с климатом, и продолжится ли расширенное освоение прибрежных и морских зон.

Новая Зеландия тоже регулярно публикует доклад о состоянии своей морской среды, два из которых вышли после первой «Оценки»: в 2016 и 2019 годах¹⁷. В последнем из них освещаются текущие проблемы, включая следующие: многие организмы и местообитания находятся под угрозой; объемы загрязнения, привносимого в морскую среду, равно как и накапливающихся в ней отложений, растут; активность судового движения и морских перевозок усиливается; это сопровождается распространением нетуземных видов и загрязнения, усилением застройки прибрежной зоны и беспрецедентным изменением морской среды, связанным с изменением климата. Заслуживает упоминания акцентированная в докладе мысль о том, что наиболее неотложной проблемой, с которой сталкивается океан, является кумулятивный эффект этих нагрузок.

3.7. Южный океан

Созданная в 2011 году Система наблюдений за Южным океаном — совместная инициатива Научного комитета по исследованию Антарктики и Научного комитета по океанологическим исследованиям — содействует сбору важнейших результатов физических, химических и биологических океанографических наблюдений в Южном океане. Региональные сети для наблюдательной деятельности, функционирующие в рамках Системы наблюдений за Южным океаном, спо-

собствуют обмену информацией, передаче технологий, стандартизации измерений и совместному пользованию данными¹⁸. Разработанные системой инструменты включают интерактивную веб-платформу с открытым доступом, которая позволяет пользователям исследовать наборы циркумполярных данных и облегчает обмен научной информацией. База данных о предстоящих экспедициях в Южный океан позволяет пользователям узнавать о планируемых экспедициях (морские рейсы, авиарейсы, походы), что облегчает координацию полевых мероприятий (Newman and others, 2019). Система способствовала тому, что за время после первой «Оценки» вырос собранный объем наблюдений, зафиксировавших, в частности, повышение температуры океана (Roemmich and others, 2015), усиление западных ветров над Антарктическим циркумполярным течением (Gent, 2016) и опреснение океана, особенно вблизи континента (Schmidtke and others, 2014). Благодаря развёртыванию биохимических датчиков увеличилось количество измерений хлорофилла *a*, нитратов, кислорода, света, оптических характеристик и pH в разных точках Южного океана (Newman and others, 2019). Биологические буи Argo, способные действовать во льдах, собирают сейчас информацию о биогеохимических циклах в периоды обледенения (Briggs and others, 2017), а инструментарий для наблюдений за океаном пополнился планерами (Newman and others, 2019). По мере изменения экосистем наблюдаются различные воздействия на морских хищников: некоторые популяции пингвина Адели (*Pygoscelis adeliae*) и антарктического пингвина (*Pygoscelis antarcticus*) уменьшились, тогда как некоторые популяции субантарктического пингвина (*Pygoscelis papua*) увеличились (Trivelpiece and others, 2011; Hinke and others, 2017; см. также главу 7К). В рамках управления промыслом криля по линии Конвенции о сохранении морских живых ресурсов Антарктики продолжает осуществляться долгосрочный мониторинг морских видов, включая пингвинов и тюленей, который способствует более полному выяснению их кормодобывающего поведения и демографических характеристик (Newman and others, 2019).

¹⁷ См. www.mfe.govt.nz/.

¹⁸ См. <http://soos.aq/activities/cwg/soflux>.

4. Перспективы научного понимания океана

Дальнейшие научные исследования, особенно в рамках Десятилетия Организации Объединенных Наций, посвященного науке об океане в интересах устойчивого развития¹⁹, помогут оценить выполнение задач, уточняющих цель 14 в области устойчивого развития. В рамках этого Десятилетия признается, что для реализации Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года необходимы новаторские подходы к науке, предполагающие подключение множественных дисциплин и социальных секторов. Что касается наблюдений за океаном и прибрежной зоной вообще, то на Конференции OceanObs'19²⁰ был выдвинут ряд рекомендаций, настраивающих, в частности, на следующее: поддержание наблюдений за океаном; общение с пользователями и заинтересованными сторонами; определение полезности наблюдений для общества; дальнейшая разработка индикаторов для океана; поощрение трансдисциплинарных подходов к исследованиям. Началась работа над «дорожными картами» по дальнейшему развитию такой глобальной системы наблюдений за океаном, которая включает и интегрирует абиотические и биотические наблюдения и не

замыкается на традиционных наблюдательных технологиях (Speich and others, 2019). В сочетании с достижениями в области компьютерных технологий и аналитических методов результаты изучения экологической ДНК помогут анализировать наблюдения за биоразнообразием, что приведет к совершенствованию информации, вводимой в экосистемные модели, и улучшению использования таких моделей в экосистемно ориентированном хозяйствовании.

В 2017 году вступила в силу Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими²¹. Она призвана предотвращать распространение вредных водных организмов из одного региона в другой, устанавливая стандарты и процедуры для управления судовыми балластными водами и осадками и их контроля. Необходима дальнейшая научная работа для получения (в том числе путем наблюдений и развития технологий) требующихся знаний и сведений, которые помогали бы хозяйственникам и заинтересованным сторонам, в том числе государственным ведомствам, осуществлять Конвенцию.

5. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях

Научные задачи на ближайшее будущее связаны с такими темами, как понимание и прогнозирование проявлений феномена «Эль-Ниньо — Южное колебание» и переломных моментов в морских экосистемах, количественная оценка кумулятивных эффектов от множественных нагрузок на морскую среду, разработка подходов, построенных на адаптивном управлении, и повышение их применимости, а также поощрение более широкого рассмотрения и учета местных, традиционных и автохтонных знаний в деле оценки морских экосистем и управления ими.

Сохраняются глобальные диспропорции в понимании и пробелы в знаниях на континентально-региональном уровне. Основной (судя по количеству публикаций) массив исследований и легкодоступной информации относится к северной части Атлантического и Тихого океанов и к Северному Ледовитому океану. По другим регионам, в частности Африке, Океании и Южной Америке (UNESCO-IOC, 2017b), доступной информации меньше.

Своевременное распространение собранных изменений очень важно для эффективного исполь-

¹⁹ См. резолюцию 72/73 Генеральной Ассамблеи; см. также www.oceandecade.org.

²⁰ См. www.oceanobs19.net/sessions.

²¹ International Maritime Organization, document BWM/CONF/36, annex; см. также [www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Control-and-Management-of-Ships'-Ballast-Water-and-Sediments-\(BWM\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Control-and-Management-of-Ships'-Ballast-Water-and-Sediments-(BWM).aspx).

зования данных в современных соединенных системах прогнозирования и мониторинга океана. Учет этого аспекта (т. е. обеспечение доступности данных), а также наличие программного обеспечения для контроля качества совершенно необходимы для получения максимальной отдачи от наблюдений за океаном.

В настоящее время большинство глобальных наблюдательных сетей не настроено на отслеживание экономических, социальных и культурных аспектов океана, вследствие чего на региональном и глобальном уровнях не хватает целенаправленных, систематических и общедоступных наблюдений за этими аспектами морских систем в стандартизованных форматах (Evans and others, 2019). Облечение экономической, социальной и культурной информации в пригодные к пользованию форматы, позволяющие включать эту информацию в систему оценки, где она синтезируется в глобальном масштабе, требует значительных усилий, часто выходящих за рамки возможностей тех людей или коллективов, которые были подключены к составлению настоящей «Оценки». Если расширить нынешние системы наблюдений, включив в них системати-

ческое и стандартизованное отслеживание экономических, социальных и культурных аспектов океана, это позволит значительно усовершенствовать оценки, проводимые в рамках «Оценки» (Evans and others, 2019). МПБЭУ четко указала, что необходимо повысить способность не только осуществлять мониторинг биоразнообразия, но и понимать его функции и то влияние, которое на него оказывает человеческая деятельность, в том числе проявляющаяся в изменении климата (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), 2019). Одна из целей переменных, прорабатываемых сейчас в рамках Глобальной системы наблюдений за океаном, состоит в том, чтобы расширить наблюдения за нагрузками, которые создает для морских экосистем человеческая деятельность, охватив такими наблюдениями шум в океане и морской мусор, в том числе пластиковый. Итоговые материалы «Оценки» могли бы помочь в настраивании процесса на выявление таких переменных и тем самым наметить взаимную траекторию для дальнейшего совершенствования наблюдений, способствующих будущим оценкам.

6. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала

Прогресс в глобальном понимании научных знаний зависит от единообразия усилий по повсеместному осуществлению исследований в континентальных регионах. В свою очередь, единообразие исследовательских усилий в разных частях мира зависит от того, как распределены развитая инфраструктура, специализированные научные кадры и технологии и насколько удастся сообща пользоваться ими благодаря партнерствам. Многие естественно-научные дисциплины, такие как физическая, химическая и биологическая океанография и морская геология, требуют исследовательских судов или иного специализированного оборудования и усовершенствованных современных технологий, а также поддержки в виде оснащенных современным оборудованием наземных лабораторий, чтобы можно было выполнять исследовательские съемки по всему глубинному диапазону Миро-

вого океана. Для дистанционного зондирования океана требуется дополнительная поддержка в виде применения спутников. Наконец, необходимы инновации, в результате которых появляются экономичные инструменты и методы для натурных наблюдений.

В настоящее время уровень научного понимания регионально несимметричен из-за диспропорций в возможностях региональных инфраструктур и в специализированных профессиональных кадрах. Такая асимметрия влияет на конкурентоспособность в деле проведения океанских исследований и порождает, в свою очередь, наблюдаемые диспропорции в научном понимании океанов на региональном уровне.

Чтобы улучшить возможности для прогнозирования «Эль-Ниньо — Южного колебания» и других проявлений океанско-климатической изменчивости, необходимо укреплять системы

наблюдений за океаном и развивать партнерства со странами регионов в целях повышения местного потенциала²². Для мониторинга значительных изменений в физической и биогеохимической средах и их воздействий на экосистемы и общество требуются дальнейшая интеграция междисциплинарных наблюдений и снижение неопределенности моделей прогнозирования. Кроме того, для поддержания интегрированных систем наблюдений нужны новаторские стратегии финансирования.

Океанологическое сообщество предложило планы действий на следующее десятилетие (Speich and others, 2019), где предусматриваются усилия по повышению эффективности цепочки, проходя через которую океанская информация приобретает большую ценность (Tanhua and others, 2019b). Чтобы максимизировать ценность океанских данных для общественного потребления, следует хорошо отшлифовать интерфейс

каждого сервиса, научного наблюдения, набора данных и директивно-хозяйственного механизма. К примеру, надлежит гармонизированным образом интегрировать системы наблюдений и внедрять в работу с данными принципы легконходимости, доступности, интероперабельности и многократности. Задача настоящей «Оценки» состоит в том, чтобы сделать возможным передачу научных знаний в виде информации, которая будет полезной и понятной пользователям не из академического сообщества, и тем самым служить важным звеном в цепочке приращения ценности океанских данных.

Необходимо обеспечить дальнейший учет местных, традиционных и автохтонных знаний, а также взять за образец концепции, которые настраивают на совместные начинания, позволяющие задействовать возможности для синергизма, обмена информацией и совместного пользования ею (Wright and others, 2019).

Справочная литература

- Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP) (2018). *AMAP Assessment 2018: Arctic Ocean Acidification*. Tromsø, Norway: AMAP.
- _____ (2019). *AMAP Climate Change Update 2019: An Update to Key Findings of Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017*. Oslo, Norway: AMAP, p. 12.
- Audzijonyte, Asta, and others (2019). Atlantis: a spatially explicit end-to-end marine ecosystem model with dynamically integrated physics, ecology and socio-economic modules. *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 10, No. 10, pp. 1814–1819. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13272>.
- Bojinski, Stephan, and others (2014). The concept of essential climate variables in support of climate research, applications, and policy. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 95, No. 9, pp. 1431–1443.
- Bossier, Sieme, and others (2018). The Baltic Sea Atlantis: An integrated end-to-end modelling framework evaluating ecosystem-wide effects of human-induced pressures. *PloS One*, vol. 13, No. 7.
- Briggs, Ellen M., and others (2017). Physical and biological drivers of biogeochemical tracers within the seasonal sea ice zone of the Southern Ocean from profiling floats. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(2), pp. 746–758. <https://doi.org/10.1002/2017JC012846>.
- Bristow, L.A., and others (2017). N₂ production rates limited by nitrite availability in the Bay of Bengal oxygen minimum zone. *Nature Geoscience*, vol. 10, No. 1, pp. 24–29. <https://doi.org/10.1038/ngeo2847>.
- Camus, Lionel, and others (2019). Autonomous surface and underwater vehicles reveal new discoveries in the arctic ocean. In *OCEANS 2019-Marseille*, pp. 1–8. IEEE.
- Canonico, Gabrielle, and others (2019). Global observational needs and resources for marine biodiversity. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 367. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00367>.

²² См. <http://soos.aq/activities/cwg/soflux>.

- Chen, Lianzeng, and Bo Lei (2019). Marine science and technology development over the past 70 years in China. *Haiyang Xuebao*, 41(10): 3–22. <https://doi.org/10.3969/j.issn.0253-4193.2019.10.002>.
- Christian, James R., and Tsuneo Ono, eds. (2019). *Ocean Acidification and Deoxygenation in the North Pacific Ocean*. PICES Special Publication 5. North Pacific Marine Science Organization (PICES).
- Clark G.F., and E.L. Johnston (2016). Coasts: coasts. In *Australia State of the Environment 2016*. Canberra: Australian Government Department of the Environment and Energy. <https://soe.environment.gov.au/theme/coasts>.
- Clarke Murray, Cathryn, and others, eds. (2019). *The Effects of Marine Debris Caused by the Great Japan Tsunami of 2011*. PICES Special Publication 6. North Pacific Marine Science Organization (PICES).
- Commission for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (2017). *Intermediate Assessment 2017*. <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/intermediate-assessment-2017>.
- Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF) (2017). State of the Arctic Marine Biodiversity. www.arcticbiodiversity.is/marine.
- Delory, E., and J. Pearlman, eds. (2018), *Challenges and Innovations in Ocean: In Situ Sensors*, 1st edition. ISBN: 9780128098868.
- Duvat, Virginie K.E. (2018). A global assessment of atoll island planform changes over the past decades. *WIREs Climate Change*, vol. 10, No. 1, p. e557. <https://doi.org/10.1002/wcc.557>.
- Dziak, R.P., and others (2017): Ambient sound at Challenger Deep, Mariana Trench. *Oceanography*, 30(2), 186–197, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2017.240>.
- Evans, Karen, and others (2016). Marine environment: marine environment. In *Australia State of the Environment 2016*. Canberra: Australian Government Department of the Environment and Energy. Canberra.
- Evans, Karen, and others (2019). The global integrated world ocean assessment: linking observations to science and policy across multiple scales. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 298. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00298>.
- Evans, Karen, and others (2018). Enhancing the robustness of a national assessment of the marine environment. *Marine Policy*, vol. 98, pp. 133–145. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.08.011>.
- Fan, W., and others (2018) Variability of the Indonesian Throughflow in the Makassar Strait over the Last 30ka. *Scientific Reports*, 8(1):5678. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24055-1>.
- Feng, M., and others (2017). Contribution of the deep ocean to the centennial changes of the Indonesian Throughflow. *Geophysical Research Letters*, 44(6): 2859–2867. <https://doi.org/10.1002/2017GL072577>.
- Fernandez C., and others (2019). Temporal and spatial variability of biological nitrogen fixation off the upwelling system of central Chile (35–38.5°S), *Journal of Geophysical Research Oceans*, vol. 120, pp.3330–3349. <https://doi.org/10.1002/2014JC010410>.
- Foltz, G.R., and others (2019). The tropical Atlantic observing system. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 206. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00206>.
- Fordyce, Alexander J., and others (2019). Marine Heatwave Hotspots in Coral Reef Environments: Physical Drivers, Ecophysiological Outcomes, and Impact Upon Structural Complexity. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 498. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00498>.
- Gent, Peter R. (2016). Effects of Southern Hemisphere wind changes on the meridional overturning circulation in ocean models. *Annual Review of Marine Science*, vol. 8, No. 1, pp. 79–94. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-122414-033929>.
- Gomes, Helga do Rosário, and others (2014). Massive outbreaks of noctiluca scintillans blooms in the Arabian Sea due to spread of hypoxia. *Nature Communications*, vol. 5, No. 1, p. 4862. <https://doi.org/10.1038/ncomms5862>.
- Halpern, Benjamin S., and others (2017). Drivers and implications of change in global ocean health over the past five years. *PLOS ONE*, vol. 12, No. 7, pp. 1–23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178267>.

- Helsinki Commission (2018). State of the Baltic Sea: second HELCOM holistic assessment 2011-2016. In *Baltic Sea Environment Proceedings 155*. Helsinki, Finland.
- Hermes, J.C., and others (2019). A sustained ocean observing system in the Indian Ocean for climate related scientific knowledge and societal needs. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 355. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00355>.
- Hinke, Jefferson T., and others (2017). Variable vital rates and the risk of population declines in Adélie penguins from the Antarctic Peninsula region. *Ecosphere*, vol. 8, No. 1, p. e01666. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1666>.
- Hood, Raleigh R., and others (2015). *Science Plan of the Second International Indian Ocean Expedition (IIOE-2): A Basin-Wide Research Program*. Newark, Delaware: Scientific Committee on Oceanic Research.
- Hood, Raleigh R., and others (2019). The second International Indian Ocean Expedition (IIOE-2): Motivating new exploration in a poorly understood ocean basin (volume 2). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 166, pp. 3–5. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2019.07.016>.
- Huang, Zhi, and Xiao Hua Wang (2019). Mapping the spatial and temporal variability of the upwelling systems of the Australian south-eastern coast using 14-year of MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, vol. 227, pp. 90–109.
- Intergovernmental Oceanographic Commission (UNESCO-IOC) (2017a). *Global Ocean Science Report: The Current Status of Ocean Science around the World*. ed. Luis Valdés. Paris: UNESCO Publishing.
- _____ (2017b). Research productivity and science impact. In *Global Ocean Science Report: The Current Status of Ocean Science around the World*, ed. Luis Valdés. Paris: UNESCO Publishing.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) (2019) = Межправительственная научно-политическая платформа по биоразнообразию и экосистемным услугам (2019). Резюме для директивных органов доклада о глобальной оценке биоразнообразия и экосистемных услуг Межправительственной научно-политической платформы по биоразнообразию и экосистемным услугам, IPBES/7/10/Add.1.
- Jang, Chan Joo, and Enrique Curchitser, eds. (2018). Report of working group 29 on regional climate modeling. *PICES Scientific Report*, No. 54, pp. 1–177.
- Iwatani, Hokuto, and others (2018). Intermediate-water dynamics and ocean ventilation effects on the Indonesian Throughflow during the past 15,000 years: Ostracod evidence. *Geology*. <https://doi.org/10.1130/G40177.1>.
- Jiang, Zong-Pei, and others (2019). Enhancing the observing capacity for the surface ocean by the use of Volunteer Observing Ship. *Acta Oceanologica Sinica*, vol. 38, No. 7, pp. 114–120. <https://doi.org/10.1007/s13131-019-1463-3>.
- Koerich, Gabrielle, and others (2020). How experimental physiology and ecological niche modelling can inform the management of marine bioinvasions? *Science of The Total Environment* 700: 134692. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134692>.
- Lee, T., and others (2019). Maritime Continent water cycle regulates low-latitude chokepoint of global ocean circulation. *Nature Communications*. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10109-z>.
- Le Quéré, C., and others (2018). Global carbon budget 2018. *Earth System Science Data*, vol. 10, No. 4, pp. 2141–2194. <https://doi.org/10.5194/essd-10-2141-2018>.
- Luther, Jochen, and others (2017). World Meteorological Organization: Concerted International Efforts for Advancing Multi-hazard Early Warning Systems. In *Advancing Culture of Living with Landslides*, eds. Kyoji Sassa, Matjaž Mikoš, and Yueping Yin, pp. 129–41. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Machu, E., and others (2019). First evidence of anoxia and nitrogen loss in the southern Canary upwelling system. *Geophysical Research Letters*, vol. 46, No. 5, pp. 2619–2127. <https://doi.org/10.1029/2018GL079622>.

- Maher, N., and others (2018). Role of Pacific trade winds in driving ocean temperatures during the recent slowdown and projections under a wind trend reversal. *Climate Dynamics*, 51(1-2):321-336. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3923-3>.
- Makino, Mitsutaku, and R. Ian Perry, eds. (2017). Marine Ecosystems and Human Well-being: The PIC-ES-Japan MAFF MarWeB Project. *PICES Scientific Report*, No. 52, pp. 1–234.
- Miloslavich, Patricia, and others (2018). Essential ocean variables for global sustained observations of biodiversity and ecosystem changes. *Global Change Biology*, vol. 24, No. 6, pp. 2416–2133. <https://doi.org/10.1111/gcb.14108>.
- Molina, Verónica, and Laura Farías (2009). Aerobic ammonium oxidation in the oxycline and oxygen minimum zone of the eastern tropical South Pacific off northern Chile (~20°S). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 56, pp. 1032–1041. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2008.09.006>.
- Moltmann, Tim, and others (2019). A Global Ocean Observing System (GOOS), delivered through enhanced collaboration across regions, communities, and new technologies. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 291. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00291>.
- Moore, Andrew M., and others (2019). Synthesis of ocean observations using data assimilation for operational, real-time and reanalysis systems: a more complete picture of the state of the ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 90. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00090>.
- Newman, Louise, and others (2019). Delivering sustained, coordinated, and integrated observations of the Southern Ocean for global impact. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 433. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00433>.
- Oliver, Eric C.J., and others (2018). Marine heatwaves off eastern Tasmania: trends, interannual variability, and predictability. *Progress in Oceanography*, vol. 161, pp. 116–130.
- Pascual, Unai, and others (2017). Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 26–27, pp. 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>.
- Pearlman, Jay, and others (2019). Evolving and sustaining ocean best practices and standards for the next decade. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 277. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00277>.
- Reusch, Thorsten B.H., and others (2018). The Baltic Sea as a time machine for the future coastal ocean. *Science Advances*, vol. 4, No. 5. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aar8195>.
- Rignot, Eric, and others (2002). Rapid bottom melting widespread near Antarctic Ice Sheet grounding lines. *Science (New York)*, 296(5575): 2020–3. <https://doi.org/10.1126/science.1070942>.
- Rodrigues, R.R., and others (2019). Common cause for severe droughts in South America and marine heatwaves in the South Atlantic. *Nature Geoscience*, 12(8), 620–626. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0393-8>.
- Roemmich, Dean, and others (2015). Unabated planetary warming and its ocean structure since 2006. *Nature Climate Change*, vol. 5, No. 3, pp. 240–45. <https://doi.org/10.1038/nclimate2513>.
- Ruppert, Krista M., and others (2019). Past, present, and future perspectives of environmental DNA (eDNA) metabarcoding: A systematic review in methods, monitoring, and applications of global eDNA. *Global Ecology and Conservation*, vol. 17, p. e00547. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00547>.
- Schmidtko, Sunke, and others (2014). Multidecadal warming of Antarctic waters. *Science*, vol. 346, No. 6214, pp. 1227–1231. <https://doi.org/10.1126/science.1256117>.
- Schütte, Florian, and others (2016a). Occurrence and characteristics of mesoscale eddies in the tropical northeastern Atlantic Ocean. *Ocean Science*, 12(3), pp. 663–685. <https://doi.org/10.5194/os-12-663-2016>.
- Schütte, Florian, and others (2016b). Characterization of “dead-zone” eddies in the tropical northeast Atlantic Ocean. *Biogeosciences (BG)*, 13, pp. 5865–5881.

- Simoniello, Christina, and others (2019). Citizen-science for the future: advisory case studies from around the globe. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 225. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00225>.
- Speich, Sabrina, and others (2019). Editorial: OceanObs'19: an ocean of opportunity. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 570. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00570>.
- Stelzenmüller, Vanessa, and others (2018). A risk-based approach to cumulative effect assessments for marine management. *Science of The Total Environment*, vol. 612, pp. 1132–1140. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.289>.
- Tanhua, Toste, and others (2019a). Ocean fair data services. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 440.
- Tanhua, Toste, and others (2019b). What we have learned from the framework for ocean observing: evolution of the global ocean observing system? *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 471. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00471>.
- Toonen, Hilde M., and Simon R. Bush (2020). The digital frontiers of fisheries governance: fish attraction devices, drones and satellites. *Journal of Environmental Policy & Planning*, vol. 22, No. 1, pp. 125–137. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2018.1461084>.
- Trainer, Vera L., ed. (2017). Conditions Promoting Extreme Pseudo-nitzschia Events in the Eastern Pacific but not the Western Pacific. *PICES Scientific Report*, No. 53, pp. 1–52.
- Trivelpiece, Wayne Z., and others (2011). Variability in krill biomass links harvesting and climate warming to penguin population changes in Antarctica. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 108, No. 18, pp. 7625–7628. <https://doi.org/10.1073/pnas.1016560108>.
- United Nations (2017a). Chapter 3: Scientific understanding of ecosystem services. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017b). Chapter 30: Marine scientific research. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017c). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Uye, Shin-ichi, and Richard D. Brodeur, eds. (2017). Report of working group 26 on jellyfish blooms around the North Pacific rim: causes and consequences. *PICES Scientific Report*, No. 51, pp. 1–222.
- Wang, M.Q., and C.M. Hu (2017). Predicting sargassum blooms in the Caribbean Sea from MODIS observations. *Geophysical Research Letters* 44: 3265–3273. <https://doi.org/10.1002/2017GL072932>.
- Wang, Zhaohui Aleck, and others (2019). Advancing observation of ocean biogeochemistry, biology, and ecosystems with cost-effective in situ sensing technologies. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 519. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00519>.
- Watanuki, Yutaka, and others, eds. (2016). Spatial ecology of marine top predators in the North Pacific: tools for integrating across datasets and identifying high use areas. *PICES Scientific Report*, No. 50, pp. 1–55.
- Wright, A.L., and others (2019). Using two-eyed seeing in research with indigenous people: an integrative review. *International Journal of Qualitative Methods*. <https://doi.org/10.1177/1609406919869695>.
- Yang, Qiong, and others (2019). How “The Blob” affected groundfish distributions in the Gulf of Alaska. *Fisheries Oceanography*, vol. 28, No. 4, pp. 434–453. <https://doi.org/10.1111/fog.12422>.
- Zhang, Chang Ik, and others (2015). An extended ecosystem-based fisheries assessment. In *Proceedings of the Twelfth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 15*, 6–10 October 2015, Varna, Bulgaria, E. Ozhan (ed.), vol. 1467–1490.
- Zhou, L., and others (2016). A Central Indian Ocean Mode and Heavy Precipitation during Indian Summer Monsoon. *Journal of Climate*, 30(6):2055–2067. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-03471>.
- Zolich, Artur, and others (2019). Survey on communication and networks for autonomous marine systems. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 95, No. 3, pp. 789–813. <https://doi.org/10.1007/s10846-018-0833-5>.

Часть третья
Побудители
изменений
в морской среде

Глава 4

Побудители

Участники: Чжан Джан Ик (координатор), Эндрю Ф. Джонсон, Осман Ке Камара (соведующий участник), Ренисон Рува (ведущий участник), Тома В. Террьо, Йёрн Шмидт (соведующий участник) и Кэрен Эванс (соведующий участник).

Ключевые тезисы

- Побудителями, оказывающими наибольшее влияние на морскую среду и ее устойчивость, являются: а) рост численности населения и демографические изменения; б) экономическая активность; в) технологические достижения; г) изменение структур управления и геополитическая нестабильность; д) изменение климата.
- Отношения между побудителями и нагрузками (и их воздействиями) сложны и динамичны, причем взаимовлияние побудителей приводит к кумулятивным взаимодействиям и эффектам нагрузок.
- В разных регионах побудители действуют неодинаково, что объясняется глобальной вариабельностью в распределении населения и демографических характеристиках, степени экономического развития, технологическим потенциалом и неравномерным воздействием климатических изменений. Поэтому проявления человеческой деятельности и антропогенных нагрузок в мире не однородны, причем наиболее заметны различия между умеренными и тропическими регионами и между развитыми и наименее развитыми регионами.
- Комплексные рамки моделирования — если они позволяют изучать сценарии, охватывающие демографические и экономические изменения, структуры управления и последствия изменения климата для морских отраслей и окружающей среды, и если они носят многосекторальный характер и поэтому обеспечивают общесистемность подходов — дают возможность определять способы устойчивого океанопользования.

1. Введение

Для оценки причин и следствий изменения экосистемы и тех действий, которые можно предпринять в ответ на такое изменение, широко применяется концептуальная модель «побудители — нагрузки — состояние — воздействия — реакции» (Smeets and Weterings, 1999). С тех пор как эта модель появилась, она подвергалась дальнейшим уточнениям и было сформулировано множество ее производных, позволяющих обойти ее ограничения и применить ее к конкретным средам (например, Patricio and others, 2016). Хотя существует много вариантов, базовая модель помогает описать влияние человеческой деятельности на окружающую среду и может использоваться как подспорье при принятии решений и выработке политики (Maxim and others, 2009). Эта модель была применена для выстраивания структуры второй «Оценки», и ее детализация включена в главу 2.

Настоящая глава посвящена побудителям изменений в морской среде, их развитию за время после первой «Оценки» (United Nations, 2017a) и изменениям, прогнозируемым на будущее. В первой «Оценке» побудители изменений в морской среде детально не разбирались, но они затрагивались в некоторых ее главах.

Универсально согласованного набора факторов, признаваемых за побудителей изменений в морской среде, не существует. В различных программах и оценочных процессах побудители определяются по-разному, причем в некоторых случаях понятия «побудители» и «нагрузки», будь то естественного происхождения или антропогенные, используются как взаимозаменяемые. В «Оценке экосистем на пороге тысячелетия» побудитель («движущая сила») определяется как природный или созданный людьми фактор, который прямо или косвенно вызывает изменения в экосистеме (Millennium Ecosystem Assessment, 2003). Межправительственная научно-политическая платформа по биоразнообразию и экосистемным услугам использует в своей глобальной оценке аналогичный подход: побудители определяются там как прямые человеческие влияния на природу и факторы, в силу которых люди идут на те или иные решения, сказывающиеся на природе (Balvanera and others, 2019). Европейское агентство по окружающей среде рассматривает в качестве побудителей только антропогенные факторы (European Environment Agency, 2005), а Межправительственная группа экспертов по изменению климата определяет

побудители в контексте глобальных выбросов парниковых газов как элементы, которые прямо или косвенно способствуют таким выбросам (Blanco and others, 2014).

В контексте настоящей «Оценки» под побудителями понимаются социальные, демографические и экономические сдвиги в обществах, включая соответствующие изменения в образе жизни и в связанных с ним общих моделях потребления и производства (European Environment Agency, 2019), которые создают нагрузки на морскую среду, детализируемые в части 5. Нагрузки – это факторы, которые непосредственно приводят к изменениям в состоянии морской среды и накладываются при этом на изменения, вызываемые естественными процессами (United Nations Environment Programme, 2019). Побудители, которые оказывают наибольшее влияние на морскую среду и ее устойчивость, таковы:

- a) рост численности населения и демографические изменения;
- b) хозяйственная активность;
- c) технологические достижения;
- d) изменение структур управления и геополитическая нестабильность;
- e) изменение климата¹.

Увеличение численности населения планеты, сопровождаясь глобальным экономическим ростом и технологическими изменениями, привело к изменениям в образе жизни и тем самым к увеличению спроса на ресурсы, включая пищевые, энергетические и природные ресурсы, такие как

редкоземельные элементы, песок и металлы. Рост населения и вызываемый им спрос ведут к тому, что усиливаются выбросы парниковых газов, генерирование отходов, включая пластик, применение химикатов в сельскохозяйственном производстве, энергогенерация и добыча ресурсов.

Отношения между побудителями и нагрузками (и их воздействиями) сложны и динамичны и сопровождаются взаимовлиянием побудителей. Например, технологические достижения могут влиять на экономический рост, а изменение режимов управления может влиять на доступ к технологиям и их использование. С ростом достатка и доступа к технологиям может повыситься эффективность добычи ресурсов, что приведет к повышению нагрузок на океан (см. также разд. 2).

Чтобы воплотить человеческие устремления к устойчивому и справедливому будущему в конкретные ориентиры развития, озвучив при этом явно неблагоприятные экологические угрозы и необходимые для их смягчения стратегии, были сформулированы цели в области устойчивого развития² (United Nations, 2017b). Притом что морской среде непосредственно посвящена цель 14 («Сохранение морских экосистем»), цели в области устойчивого развития взаимосвязаны и прогресс в достижении одной из них влияет на другие. Таким образом, обеспечение устойчивого использования морской среды будет зависеть от успешного достижения всей совокупности этих целей (International Council for Science, 2017).

2. Побудители изменений в морской среде

2.1. Рост численности населения и демографические изменения

Хотя население планеты увеличилось с 7 млрд человек в 2011 году до 7,7 млрд в 2019-м³, коэффициент его прироста стабильно снижался: в 1968 году он составлял 2,1 процента, а в

2019-м – 1,08. Прогнозы глобальной численности населения предполагают неравномерный, но продолжающийся рост при более низких темпах, и усредненные цифры указывают, что к 2050 году она достигнет 9,7 млрд человек. Уменьшение прироста населения связано с падением рождаемости, и если прибавить сюда снижение смерт-

¹ Строго говоря, побудителем является увеличение содержания парниковых газов, вызывающее изменение климата. Однако термин «изменение климата» широко используется как означающий человеческую деятельность, которая прямо или косвенно изменяет состав глобальной атмосферы.

² См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

³ См. <https://population.un.org/wpp/Graphs/DemographicProfiles/Line/900>.

ности и увеличение продолжительности жизни благодаря повышению здравоохранительных стандартов, то это означает, что средний возраст мирового населения поднимается (Baxter and others, 2017).

Доля международных мигрантов в населении земного шара выросла с 2,8 процента в 2000 году до 3,5 в 2019-м [United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (UNDESA), 2019a]. Миграция происходила главным образом между странами одного и того же региона, за исключением Океании и Северной Америки, где 87,9 и, соответственно, 97,5 процента международных мигрантов родились в другом регионе (UNDESA, 2019a).

Более 600 млн человек живут в прибрежных регионах, расположенных на высоте менее 10 м над уровнем моря, а почти 2,5 млрд человек — в пределах 100 км от побережья (UNDESA, 2019b). В этих регионах наблюдаются более высокий рост населения и более сильная урбанизация, чем во внутриматериковых регионах (Neumann and others, 2015). Подобное развитие ситуации принесло прибрежным регионам немало экономических выгод, включая улучшение транспорта, увеличение торговли, туризма и производства продовольствия, а также социальные, рекреационные и культурные блага (Clark and Johnston, 2017). Однако по мере увеличения населенности этих регионов создается всё большая нагрузка на прибрежные экосистемы. Степень, в которой рост мирового населения оборачивается нагрузками для морской среды, варьируется, завися от разнообразных факторов, в том числе от того, где и как люди живут, сколько они потребляют и какие технологии используются для производства энергии, продовольствия и материалов, для обеспечения работы транспорта и для обращения с создающимися отходами. То, как изменения в мировом населении сказываются на прибрежных регионах, пользовании морскими ресурсами и генерировании отходов, детализируется в главе 8 и части 5.

2.2. Экономическая активность

Экономический рост, измеряемый в виде валового внутреннего продукта (ВВП) на душу населения, в глобальном отношении стабильно увеличивался⁴, хотя и замедлился — вместе с объемом торговли. В первой половине 2019 года этот рост составил 1 процент, что является слабейшим показателем с 2012 года (International Monetary Fund (IMF) (2019). Экономический рост, если пересчитать его в среднем на всё население планеты, привел к увеличению среднегодового дохода человека с 3300 долл. США в 1950 году до 14 574 в 2016-м (при этом экономический рост характеризуется колоссальной географической неоднородностью: см. разд. 3). Замедление роста во многом связано со слабостью производства и торговли. При этом отрасли сферы услуг, такие как туризм, выросли (IMF, 2019).

Увеличение численности населения в мире и повышение спроса на товары и услуги сопровождалось ростом потребления энергии и ресурсов. Понимание соотношения между усилением экономической активности и использованием природных ресурсов имеет существенное значение для определения того, как добиться будущей устойчивости и ограничить воздействия, связанные с добычей, производством, потреблением и отхождением (Jackson, 2017).

Общий спрос на энергию, измеряемый в миллионах тонн нефтяного эквивалента (МТНЭ), вырос с 13 267 МТНЭ в 2014 году до 13 978 в 2018-м⁵. В то же время темпы улучшения первичной энергоёмкости (показывающей, сколько энергии используется мировой экономикой) замедлились с 1,7 процента в 2017 году до 1,2 в 2019-м (International Energy Agency (IEA), 2019a). Это означает замедление темпов повышения энергоэффективности (т. е. отношения произведенного ВВП к потребленной энергии) и обусловлено рядом краткосрочных факторов, таких как рост производства электроэнергии из ископаемого топлива, и более долгосрочных структурных изменений, таких как замедление перехода на менее энергоёмкие производства. В то же время инвестиции в повышение энергоэффективности оставались с 2014 года на ста-

⁴ См. <https://ourworldindata.org/economic-growth>.

⁵ См. <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>.

бильном уровне. Технические улучшения энергоэффективности позволили снизить связанные с энергетикой выбросы CO₂ на 3,5 Гт (гигатонна) с 2015 по 2018 год (IEA, 2019a). Кроме того, выросло производство возобновляемой энергии: в рамках усилий по сокращению выбросов парниковых газов многие страны переходят на энергетические стратегии, ориентирующиеся на этот путь. Частью многих стратегических разработок является производство энергии в океане, которое выросло с 1 тераватт-часа в 2014 году до 1,2 в 2018-м (IEA, 2019b). Изменения в производстве энергии, включая освоение морской возобновляемой энергии, и нагрузки, создаваемые для морской среды, детализируются в главах 19 и 21.

По мере роста населения в мире продолжает расти и экономическая активность, связанная с добычей морских ресурсов. Если в 2014 году производство морских и пресноводных продуктов питания было ключевым поставщиком белка и источником дохода для примерно 56,6 млн человек во всем мире, то в 2016 году оно стало таковыми для 59,6 млн человек. Объем добычи морского промыслового рыболовства стабильно сохраняется на уровне около 80 млн т, а объем марикультурного производства неуклонно растет, увеличившись с 26,8 млн т в 2014 году до 28,7 млн в 2016-м (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018). Последствия увеличения спроса на пищевые морепродукты (включая такие последствия, как перелов, прилов угрожаемых видов и утрату или деградацию местообитаний из-за рыболовства и аквакультуры) детализируются в главах 15–17.

Многими странами разрабатываются либо уже разработаны стратегии, настраивающие на потенциальный рост таких видов морской деятельности, как океанская энергетика, аквакультура, морская биотехнология, прибрежный туризм и разработка морского дна (т. е. рост «голубой экономики»). Между тем серьезным препятствием для роста океанской экономики является нынешнее ухудшение здоровья океана и уже испытываемые им нагрузки (Organization for Economic Cooperation and Development, 2016), многие из которых детализируются в части 5.

2.3. Технологические достижения

В условиях расширения морской деятельности и увеличения спроса на ресурсы ключом к тому, чтобы эта деятельность сопровождалась повышением эффективности, расширением рынков и усилением экономического роста, стали технологические достижения. Такие инновации сказывались на морской среде как положительно, так и к отрицательно. Некоторые достижения в сфере рыболовных технологий привели к общему увеличению промысловых мощностей, а во многих регионах Азии, Европы и Северной Америки – к избыточности таких мощностей (Eigaard and others, 2014). Повышение эффективности благодаря использованию технологий (которое называют также «ползучей технологизацией»), например позволяющих действеннее и точнее определять места для ведения лова, привело вместе с тем к увеличению промыслового усилия, способствуя перелову рыбных запасов (Finkbeiner and others, 2017). В свою очередь, достижения в таких сферах, как дистанционное зондирование, технические возможности камер, натурное применение генетических подходов к видовой идентификации и использование методов искусственного интеллекта и машинного обучения, помогают сейчас лучше отслеживать факты незаконного, нерегулируемого и несообщаемого промысла (Detsis and others, 2012), совершенствовать отчетность об уловах (Ruiz and others, 2014), обеспечивать прослеживаемость продукции (Lewis and Boyle, 2017) и сокращать потери в цепочках поставок (Hafliðason and others, 2012). Такие технологии помогают улучшить мониторинг передвижения рыболовных флотов, обеспечивая тем самым более эффективное управление охраняемыми районами (Rowlands and others, 2019).

Технологические достижения, включая цифровизацию, модернизируют способы достижения энергоэффективности, сокращая потребление энергии, сдвигая спрос с пиковых периодов на непиковые, повышая подключенность и обеспечивая гибкость нагрузок (благодаря которой в возобновляемой энергетике растет доля прерывистой энергогенерации), и тем самым положительно сказываются на ситуации с выбросом парниковых газов (IEA, 2019a). Усовершенствования в транспортных двигателях, приводящие

к более эффективному сгоранию ископаемого топлива, и инновации в солнечной и ветровой энергетике для производства чистой энергии тоже помогают сокращать выброс парниковых газов.

2.4. Изменение структур управления и геополитическая нестабильность

Существует много международных договоров и соглашений, призванных снижать нагрузки на морскую среду и сильнее ее оберегать. К их числу относятся Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву⁶, Конвенция по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов 1972 года⁷, Соглашение об осуществлении положений Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву от 10 декабря 1982 года, которые касаются сохранения трансграничных рыбных запасов и запасов далеко мигрирующих рыб и управления ими⁸, Конвенция о биологическом разнообразии⁹ и Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года¹⁰. Задачи, устанавливаемые в привязке к международным соглашениям, например Айтинские задачи в области биоразнообразия¹¹ и цели в области устойчивого развития¹², позволили создать больше охраняемых морских районов, а соответственно, и усилить защиту морской среды. Региональные рыбохозяйственные организации обеспечивают координацию усилий, направленных на управление общими промысловыми ресурсами (Haas and others, 2020), а в некоторых регионах ими вводился действенный порядок восстановления рыбных запасов, пострадавших от перелова (Hillary and others, 2016).

Управление морской деятельностью в некоторых областях улучшилось также благодаря способствующей этому политике, проводимой на национальном уровне (Evans and others, 2017). Однако на эффективности политики, разработан-

ной для управления морской средой, могут сказываться глобальные факторы неравенства, в том числе связанные с достатком, гендерным аспектом, географией, обеспечением прав и доступом к ресурсам (Balvanera and others, 2019). Кроме того, консолидация и концентрация корпоративной собственности привела к тому, что крупные доли потоков на любом рынке зачастую контролируются небольшим числом компаний или финансистов (например, Bailey and others, 2018). У корпораций больше возможностей напрямую договариваться с правительствами, что способно мешать продвижению к устойчивости при освоении морской среды. На стратегиях и соглашениях, призванных добиваться такой устойчивости, могут пагубно сказываться конфликты, возникающие по поводу доступа к ресурсам и прав собственности (Suárez-de Vivero and Rodríguez Mateos, 2017). Наконец, нестабильность правительств способна замедлять формирование политики и хозяйственных рамок или приводить к их неэффективности, оборачиваясь продолжением или усилением чрезмерной эксплуатации ресурсов.

2.5. Изменение климата

Климат всегда оказывал большое влияние на морскую среду: речь идет и о высокой естественной межгодовой изменчивости, и о долгосрочной изменчивости, связанной с климатическими явлениями регионального и глобального уровня. Однако есть веские доказательства того, что наш климат изменяется с беспрецедентной в геологической истории скоростью. В специальном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата, озаглавленном «Океан и криосфера в условиях изменяющегося климата» (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019), обобщаются исторические и недавние проявления динамики глобального климата и даются прогнозы изменений при разных сценариях выброса парниковых газов.

⁶ United Nations, *Treaty Series*, vol. 1834, No. 31363.

⁷ *Ibid.*, vol. 1046, No. 15749.

⁸ *Ibid.*, vol. 2167, No. 37924.

⁹ *Ibid.*, vol. 1760, No. 30619.

¹⁰ См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

¹¹ См. Программу Организации Объединенных Наций по окружающей среде, документ UNEP/CBD/COP/10/27, приложение, решение X/2.

¹² См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

После первой «Оценки» выбросы парниковых газов продолжали расти: общемировые выбросы CO₂ увеличились с 30,4 гигатонны в 2010 году до 33,3 в 2019-м¹³. Рост выбросов привел к массовому сокращению криосферы (т.е. замерзших частей водной оболочки планеты), продолжающемуся повышению океанской температуры, снижению pH и кислорода в океане, смещению течений и росту таких экстремальных явлений, как эпизоды жары (IPCC, 2019). Эти изменения детализируются в главе 5, а создаваемые ими нагрузки, включая социально-экономические воздействия, детализируются в главе 9.

Следуя курсом, заданным Рамочной конвенцией Организации Объединенных Наций об изменении климата (вступила в силу в 1994 году) и Киотским протоколом (вступил в силу в 2005 году), в декабре 2015 года на своем двадцать первом совещании Конференция сторон Конвенции приняла Парижское соглашение¹⁴. Соглашение направлено на укрепление глобального реагирования на угрозу изменения климата посредством удержания прироста глобальной средней температуры намного ниже 2 °C сверх доиндустриальных уровней и приложения усилий в целях ограничения роста температуры до 1,5 °C сверх таких уровней. В Соглашении признается, что изменение климата представляет собой экстренную и потенциально необратимую угрозу для человеческих обществ и для планеты и что поэтому оно требует самого широкого сотруд-

ничества всех стран. В нем признается также, что для достижения конечной цели Конвенции потребуются значительные сокращения глобальных выбросов.

В своем докладе о глобальном потеплении на 1,5 °C (IPCC, 2018) Межправительственная группа экспертов по изменению климата рассказывает о том, какие варианты смягчения воздействий соответствуют потеплению глобального климата на 1,5 °C, каковы вероятные воздействия, связанные с потеплением подобного характера, и что потребуется для реагирования на такое изменение. В докладе подчеркивается, что потепление в результате антропогенных выбросов не будет прекращаться в течение срока от сотен до тысяч лет и продолжит быть причиной дальнейших долгосрочных изменений в климатической системе, включая океан.

К числу взаимодействий изменения климата с другими побудителями относятся: его влияние на распределение мирового населения по мере того, как люди покидают всё более непригодные для жизни районы; экономические последствия, в том числе связанные с производством продовольствия (включая аквакультуру и рыболовство); усиливающаяся потребность в технологических инновациях и решениях, позволяющих сокращать выбросы парниковых газов, включая активизацию освоения морской возобновляемой энергии.

3. Основные вопросы или аспекты, связанные с побудителями (в региональной разбивке)

Географическая неоднородность в распределении населения, в экономическом развитии, в доступе к технологическим достижениям, в способности внедрять модели управления и хозяйствования, а также в последствиях изменения климата и мерах реагирования на него обуславливает значительную неоднородность влияния каждого из побудителей, описанных в разделе 2, на разные океанские регионы.

3.1. Рост численности населения и демографические изменения

В регионах с высоким уровнем дохода коэффициенты рождаемости ниже, чем в регионах со средним и низким уровнем дохода (Baxter and others, 2017). При этом проблемы испытывают как страны, где высок и коэффициент рождаемости, и прирост населения (UNDESA, 2019c), так и страны, где рождаемость низкая, а доля стареющего населения растет (см. также

¹³ См. www.iea.org/articles/global-co2-emissions-in-2019.

¹⁴ См. FCCC/CP/2015/10/Add.1, decision 1/CP.21, annex.

разд. 4). К регионам с высоким ростом численности населения относятся Африка к югу от Сахары, Центральная и Южная Азия и Восточная и Юго-Восточная Азия. Средний коэффициент прироста населения в наименее развитых странах¹⁵ составил за 2015–2020 годы 2,3 процента, что более чем вдвое превышает общемировой коэффициент. Это создает для таких стран проблемы в деле достижения устойчивого развития и сохранения прибрежных и морских районов, что усугубляется уязвимостью этих стран к климатическим изменениям, к изменчивости климата и к подъему уровня моря (UNDESA, 2019с).

3.2. Экономический рост

С 1980-х годов в экономическом росте усиливаются географические диспропорции: в одних регионах наблюдаются экономические успехи, в других происходит стагнация. В большинстве стран с 1950 по 2016 год наблюдался положительный рост, однако в некоторых, например в Демократической Республике Конго и Центральноафриканской Республике, рост был отрицательным, в основном из-за политической нестабильности (Kampane and Quinn, 2019). Примечательно, что диспропорции в сфере занятости и производительности росли и внутри стран, причем среди стран с развитой экономикой существуют большие различия в масштабности таких диспропорций (IMF, 2019). Изменение климата может эти диспропорции еще больше усугубить, особенно в местах, где есть географическая неоднородность в распределении таких уязвимых отраслей, как сельское хозяйство (включая рыболовство и аквакультуру). Вообще говоря, повышение температуры сказывается на экономической деятельности нелинейным образом: в очень холодных регионах оно способно благотворно повлиять на такую деятельность (например, в Северном Ледовитом океане будут проложены судоходные маршруты и полнее раскрыт его торговый потенциал), тогда как сверх определенного оптимального уровня оно чревато негативными последствиями для эко-

номической производительности и трудового потенциала (IMF, 2019).

3.3. Технологические достижения

Благодаря технологическим достижениям, которые облегчают разведку и разработку глубоководных ресурсов, включая биоразнообразие, полезные ископаемые, нефть и газ, районы за пределами национальной юрисдикции становятся всё более доступными. Обеспечение устойчивого развития этих районов потребует международного сотрудничества для эффективного управления ими. Достижению устойчивого развития и сохранения этих районов посвящены переговоры, касающиеся международного юридически обязательного документа на базе Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву о сохранении и устойчивом использовании морского биологического разнообразия в районах за пределами действия национальной юрисдикции¹⁶ (см. также гл. 28). Международному органу по морскому дну вручен двойной мандат: содействовать освоению глубоководных полезных ископаемых и обеспечивать при этом, чтобы такое освоение не наносило ущерб окружающей среде. В районах за пределами национальной юрисдикции требуется надлежащее планирование с целью минимизировать воздействие на морскую среду. Применение технологических достижений для доступа к морским ресурсам и их использования, для устойчивого развития морских отраслей и для эффективного управления морепользованием происходит в мире не однородно. Многие регионы, особенно если в них расположены наименее развитые страны, всё еще не имеют доступа к технологиям, способным помочь в устойчивом использовании морских ресурсов.

3.4. Изменение структур управления и геополитическая нестабильность

За последнее десятилетие наблюдался рост национализма и протекционизма, что привело к изменению торговых соглашений, а совсем недавно — еще и к введению тарифов на товары

¹⁵ В Группу наименее развитых стран входят 47 стран: 32 в Африке к югу от Сахары, 2 в Северной Африке и Западной Азии, 4 в Центральной и Южной Азии, 4 в Восточной и Юго-Восточной Азии, 1 в Латинской Америке и Карибском бассейне и 4 в Океании. Подробнее см. <http://unohrrls.org/about-ldcs>.

¹⁶ См. резолюцию 72/249 Генеральной Ассамблеи.

между конкретными странами. Индекс демократии¹⁷ упал с 5,55 в 2014 году до 5,44 в 2019-м, в основном из-за ухудшения условий в таких регионах, как Латинская Америка и Африка к югу от Сахары. Когда рассчитываются индексы по отдельно взятым странам, становятся очевидными резкие региональные различия. Страны в Скандинавии, на дальнем севере Америки и на юго-западе Тихого океана получили самые высокие показатели, а страны в Африке к югу от Сахары, на Ближнем Востоке и в некоторых частях Азии – самые низкие показатели. Эти различия отражаются на осуществлении глобальных и региональных договоров и соглашений, влияя тем самым на экономический рост, передачу технологий и внедрение рамок для управления океанопользованием, включая разработку национальной политики в отношении океана. Это, в свою очередь, сказывается на устойчивости человеческой деятельности и защите морских экосистем в таких районах.

3.5. Изменение климата

Последствия изменения климата в Мировом океане не единообразны. Ряд регионов демон-

стрирует темпы потепления выше среднемировых и относится к проблемным морским точкам (Hobday and Pecl, 2014). Некоторые из этих проблемных точек возникают там, где зависимость человека от морских ресурсов ощущается наиболее сильно, например в Юго-Восточной Азии и Западной Африке, и последствия для продовольственной безопасности ощущаются там существеннее, чем в других регионах. Еще один такой регион – это Арктика, где потепление океана в два-три раза превышает среднемировой уровень (IPCC, 2018). Региональная неоднородность отмечается также по таким позициям, как снижение концентраций карбонат-ионов и pH в океане (ассоциируемое с закислением океана) и иные последствия изменения климата, например дезоксигенация, стратификация и подъем уровня моря, причем сильно разнятся и проявления воздействия на морскую среду. Региональные различия в таких изменениях детализируются в главе 5, а создаваемые ими нагрузки, включая социально-экономические воздействия, – в главе 9.

4. Перспективы

Прогнозы по прибрежным областям, выполненные согласно сценариям «Совместные социально-экономические траектории», говорят о том, что с 2000 по 2050 год численность их жителей во всем мире увеличится на 71 процент и достигнет более 1 млрд человек – в результате как роста населения планеты вообще, так и миграции в эти районы (Merkens and others, 2016). Согласно тем же сценариям, в районах с низкой и средней плотностью населения (<1000 человек на 1 км²) прогнозируется сокращение численности жителей, а в районах с более высокой плотностью – увеличение (Jones and O’Neill, 2016), которое будет сопровождаться расширением урбанистического «следа» в густозаселенных районах и возрастанием давления на приуроченную к ним инфраструктуру. Влияние изменения климата на то, как и где живут в мире люди и в чем проявляются порождаемые ими воздей-

ствия на окружающую среду, будет многообразным. В условиях, когда местность становится всё более непригодной для жизни в результате уменьшения осадков, повышения температур, подъема уровня моря и утраты экосистемных товаров и услуг, люди будут переселяться в более пригодные для жизни регионы, усиливая там урбанистический «след».

По мере старения населения планеты и замедления общего роста ожидается сокращение рядов рабочей силы, что скажется на мировой экономике. Подсчитано, что глобальный контингент людей в возрасте 20–64 лет, на который приходится основная доля экономически активного населения, будет в 2015–2040 годах расти более чем вдвое медленнее по сравнению с предыдущим 25-летним периодом, а контингент людей старше 65 лет будет расти в пять раз быстрее,

¹⁷ См. www.eiu.com/topic/democracy-index.

чем население трудоспособного возраста (Baxter and others, 2017). То, как экономики стран мира отреагируют на последствия изменений в росте населения и в демографии, будет зависеть от государственной политики, например проведения курса на снижение барьеров для занятости женщин, и от их способности использовать технологические достижения для поддержания производительности. Предстоит выяснить, как эти изменения в росте, распределении и плотности населения, а также экономические перемены будут влиять на морскую среду.

Экономическая активность в океане быстро усиливается, и есть прогнозы, согласно которым к 2030 году (при сценарии «обычный ход деятельности») объем океанской экономики может более чем удвоиться, достигнув в стоимостном выражении свыше 3 трлн долл. США, и в ней будет насчитываться примерно 40 млн полноценных рабочих мест (Organization for Economic Cooperation and Development, 2016). Технологические достижения и инновации будут иметь колоссальное значение для отыскания надежных траекторий, позволяющих развивать мировую экономику, в том числе океанскую, преодолевая при этом многие из вызовов, с которыми океан сталкивается в настоящее время.

Регулирующей и управляющей деятельности будет не просто поспевать за столь стремительными изменениями. Подгонка формирующихся морских отраслей под существующую регулятивную базу, страдающую фрагментацией, будет сужать способность эффективно и своевременно справляться с нагрузками, которые эти отрасли будут порождать. Чтобы обеспечить океану устойчивое будущее, потребуется более действенное комплексное хозяйствование в океане, учитывающее те побудители изменений, которые детализируются в настоящей главе, а также в главе 27.

Предполагается, что если нынешние темпы выброса парниковых газов сохранятся, то где-то между 2030 и 2052 годом температура поверхности повысится на 1,5 °C (IPCC, 2018). В морских экосистемах уже замечено множество перемен, вызванных изменением климата, так что

будущие изменения, имеющие климатическое происхождение, и связанные с ним риски будут зависеть от того, удастся ли (и когда удастся) выйти на нулевое сальдо выбросов парниковых газов, а также от соответствующих темпов, пиков и продолжительности потепления поверхности (IPCC, 2018). Даже если будут достигнуто нулевое сальдо антропогенных выбросов CO₂, потепление будет сохраняться еще столетиями или даже тысячелетиями и продолжит вызывать дальнейшие долгосрочные изменения в климатической системе, а следовательно, и в океанских акваториях, включая подъем уровня моря и закисление океана (IPCC, 2018). Чтобы снижать в будущем те риски для продовольственной безопасности, морских отраслей и прибрежных сообществ, которые порождаются климатом и связаны с изменениями в морской среде, потребуется масштабировать и ускорять митигационные и адаптационные подходы.

В настоящее время в мире бушует пандемия COVID-19, внося серьезный разлад в экономику стран и в жизнь их населения. Во многих регионах митигационные усилия, призванные сдержать распространение вируса, привели к временному ослаблению нагрузок, непосредственно отражающихся на океане, таких как рыбный промысел, туристическая активность, загрязнение и выбросы парниковых газов¹⁸. Введение ограничений на передвижение населения и на осуществление деловых операций, а также закрытие границ, сбои в цепочках поставок и упадок рынков сказались на ряде морских отраслей, в частности на рыболовстве¹⁹. Вместе с тем можно ожидать, что вероятное влияние, которое сокращение нагрузок окажет на долгосрочные изменения, побуждаемые, например, изменением климата, будет минимальным, и в настоящее время неясно, сможет ли такое влияние сколь-нибудь благотворным образом отразиться на морских экосистемах. Сбои в глобальных цепочках поставок высветили для многих стран необходимость укреплять местные цепочки, и в частности исследовать варианты электронной торговли для поддержки цепочек поставок вообще.

¹⁸ См. www.carbonbrief.org/analysis-coronavirus-has-temporarily-reduced-chinas-co2-emissions-by-a-quarter.

¹⁹ См. www.ices.dk/news-and-events/news-archive/news/Pages/wgsocialCOVID.aspx.

5. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала

Все пять побудителей, описанные в настоящей главе, вступают друг с другом в разнообразные взаимодействия. Уровень понимания таких взаимодействий не одинаков: в частности, выяснение механизмов, посредством которых взаимодействия между побудителями влияют на морскую среду, — это новое направление исследований, хотя и признанное важным для выработки целостных подходов к хозяйствованию в океане. Комплексное хозяйствование, учитывающее социальные, экономические, экосистемные и культурные ценности и потребности (т. е. общесистемный подход), позволяет намечать надежные траектории, способствующие национальным экономикам и благополучию людей.

Необходимо разрабатывать системы моделирования, позволяющие проверять сценарии, в которых учитываются демографические изменения, подбираются структуры управления и просчитываются экологические и экономические последствия изменения климата. В настоящее время ведется начальная разработка комплексных социально-экологических моделей, позволяющих инкорпорировать морскую среду и рыболовство в сценарии «Совместные социально-экономические траектории» для изучения будущего структурирования океанского рыболовства (Maury and others, 2017; Bograd and others, 2019). Для изучения будущего состояния морской экосистемы и рыболовства используются также альтернативные подходы к комплексным моделям (Tittensor and others, 2018). Такие усилия необходимо продвигать, чтобы не только расширять подходы к моделированию для изучения эффектов от сразу нескольких

побудителей и их кумулятивных эффектов в отношении морских экосистем, но и разрабатывать инструменты, дающие возможность состыковывать моделирование с механизмами принятия решений и позволяющие планировать и внедрять устойчивые подходы к океанопользованию.

Способность измерять, а соответственно, и понимать ключевые компоненты, которые вносят свою лепту в побудители изменений, описанные в настоящей главе (т. е. социальные, демографические и экономические сдвиги в обществах, включая соответствующие изменения в образе жизни и в связанных с ним общих моделях потребления и производства), не является повсеместно одинаковой. Существует необходимость наращивать, особенно в наименее развитых странах, потенциал для сбора данных наблюдений, позволяющих разобраться в ключевых побудителях, сказывающихся на морской среде, во взаимодействиях между ними и во влиянии изменений в каждом из них на морскую среду. Точно так же необходимо наращивать способность регистрировать изменения, к которым приводят вызываемые побудителями нагрузки, и благодаря этому выяснять воздействия на морскую среду (Evans and others, 2019). Наконец, требуется способность эффективно планировать деятельность в океане, оценивать ее и управлять ею, руководствуясь рамочными механизмами, в которых учитываются побудители изменений и взаимодействия между ними, особенно в регионах, где в настоящее время мало возможностей для внедрения таких механизмов.

Справочная литература

- Bailey, Megan, and others (2018). The role of corporate social responsibility in creating a Seussian world of seafood sustainability. *Fish and Fisheries*, vol. 19, No. 5, pp. 782–790.
- Balvanera, Patricia, and others (2019). Chapter 2: Status and trends; indirect and direct drivers of change. In *IPBES Global Assessment on Biodiversity and Ecosystem Services*, ed. IPBES. Bonn: IPBES Secretariat.
- Baxter, David, and others (2017). Population aging and the global economy: weakening demographic tailwinds reduce economic growth. In *Berkeley Forum on Aging and the Global Economy*. Issue brief No. 1.

- Blanco, Gabriel, and others (2014). Chapter 5: Drivers, trends and mitigation. In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. IPCC Working Group III Contribution to AR5*. Cambridge University Press.
- Bograd, Steven J., and others (2019). Developing a Social-Ecological-Environmental System Framework to Address Climate Change Impacts in the North Pacific. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 333.
- Clark, G.F., and E.L. Johnston (2017). *Australia State of the Environment 2016: Coasts, Independent Report to the Australian Government Minister for Environment and Energy*. Canberra: Australian Government Department of the Environment and Energy.
- Detsis, Emmanouil, and others (2012). Project catch: a space-based solution to combat illegal, unreported and unregulated fishing: Part I: vessel monitoring system. *Acta Astronautica*, vol. 80, pp. 114–123.
- Eigaard, Ole Ritzau, and others (2014). Technological development and fisheries management. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, vol. 22, No. 2, pp. 156–174. <https://doi.org/10.1080/23308249.2014.899557>.
- European Environment Agency (2005). *Sustainable Use and Management of Natural Resources*. EEA Report, 9/2005. Copenhagen: European Environment Agency.
- _____ (2019). *The European Environment – State and Outlook 2020, Knowledge for Transition to a Sustainable Europe*. EEA Report, 9/2005. Copenhagen: European Environment Agency.
- Evans, Karen, and others (2019). The global integrated world ocean assessment: linking observations to science and policy across multiple scales. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 298.
- Evans, Karen, and others (2017). *Australia State of the Environment 2016: Marine Environment, Independent Report to the Australian Government Minister for the Environment and Energy*. Canberra: Australian Government Department of the Environment and Energy.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018) = Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (2018). *Состояние мирового рыболовства и аквакультуры, 2018: достижение целей устойчивого развития*. Рим.
- Finkbeiner, Elena M., and others (2017). Reconstructing overfishing: moving beyond malthus for effective and equitable solutions. *Fish and Fisheries*, vol. 18, No. 6, pp. 1180–1191.
- Haas, Bianca, and others (2020). Factors influencing the performance of regional fisheries management organizations. *Marine Policy*, vol. 113.
- Hafliðason, Tómas, and others (2012). Criteria for temperature alerts in cod supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 42, No. 2, pp. 355–371.
- Hillary, Richard M., and others (2016). A scientific alternative to moratoria for rebuilding depleted international tuna stocks. *Fish and Fisheries*, vol. 17, No. 2, pp. 469–482. <https://doi.org/10.1111/faf.12121>.
- Hobday, Alistair J., and Gretta T. Pecl (2014). Identification of global marine hotspots: sentinels for change and vanguards for adaptation action. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol. 24, No. 2, pp. 415–425.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2018). *Global Warming of 1.5° C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5° C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*. eds. Valérie Masson-Delmotte and others. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- _____ (2019). = Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) (2019). *Океан и криосфера в условиях изменяющегося климата: специальный доклад МГЭИК: резюме для политиков*, под ред. Ханса-Отто Пёртнера и др., Межправительственная группа экспертов по изменению климата.
- International Council for Science (2017). *A Guide to SDG Interactions: From Science to Implementation*. eds. D.J. Griggs and others. Paris: International Council for Science, Paris.
- International Energy Agency (IEA) (2019a). *Energy Efficiency 2019*. Paris: International Energy Agency.

- _____ (2019b). *Tracking Power*. Paris: International Energy Agency. www.iea.org/reports/tracking-power-2019.
- International Monetary Fund (IMF) (2019). *World Economic Outlook: Global Manufacturing Downturn, Rising Trade Barriers*. Washington, D.C.: International Monetary Fund.
- Jackson, W.J. (2017). *Australia State of the Environment 2016: Drivers, Independent Report to the Australian Government Minister for the Environment and Energy*. Canberra: Australian Government Department of the Environment and Energy.
- Jones, Bryan, and Brian C. O'Neill (2016). Spatially explicit global population scenarios consistent with the shared socioeconomic pathways. *Environmental Research Letters*, vol. 11, No. 8, p. 084003.
- Karnane, Pooja, and Michael A. Quinn (2019). Political instability, ethnic fractionalization and economic growth. *International Economics and Economic Policy*, vol. 16, No. 2, pp. 435–461. <https://doi.org/10.1007/s10368-017-0393-3>.
- Lewis, Sara G., and Mariah Boyle (2017). The expanding role of traceability in seafood: tools and key initiatives. *Journal of Food Science*, vol. 82, No. S1, pp. A13–21. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13743>.
- Maury, Olivier, and others (2017). From shared socio-economic pathways (SSPs) to oceanic system pathways (OSPs): Building policy-relevant scenarios for global oceanic ecosystems and fisheries. *Global Environmental Change*, vol. 45, pp. 203–216.
- Maxim, Laura, and others (2009). An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. *Ecological Economics*, vol. 69, No. 1, pp. 12–23.
- Merkens, Jan-Ludolf, and others (2016). Gridded population projections for the coastal zone under the shared socioeconomic pathways. *Global and Planetary Change*, vol. 145, pp. 57–66.
- Millennium Ecosystem Assessment (2003) = Оценка экосистем на пороге тысячелетия (2003). *Оценка экосистем на пороге тысячелетия: экосистемы и благосостояние людей: рамки оценки*. Вашингтон О.К.: Island Press.
- Neumann, Barbara, and others (2015). Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding – a global assessment. *PloS One*, vol. 10, No. 3, p. e0118571.
- Organization for Economic Cooperation and Development (2016). *The Ocean Economy in 2030*. <https://doi.org/10.1787/9789264251724-en>.
- Patrício, Joana, and others (2016). DPSIR – two decades of trying to develop a unifying framework for marine environmental management? *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 177. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00177>.
- Rowlands, Gwilym, and others (2019). Satellite surveillance of fishing vessel activity in the Ascension Island Exclusive Economic Zone and Marine Protected Area. *Marine Policy*, vol. 101, pp. 39–50.
- Ruiz, J., and others (2014). Electronic monitoring trials on in the tropical tuna purse-seine fishery. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 72, No. 4, pp. 1201–1213. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu224>.
- Smeets, Edith, and Rob Weterings (1999). *Environmental Indicators: Typology and Overview*. Copenhagen: European Environment Agency.
- Suárez-de Vivero, Juan L., and Juan C. Rodríguez Mateos (2017). Forecasting geopolitical risks: Oceans as source of instability. *Marine Policy*, vol. 75, pp. 19–28.
- Tittensor, Derek P., and others (2018). A protocol for the intercomparison of marine fishery and ecosystem models: Fish-MIP v1. 0. *Geoscientific Model Development*, vol. 11, No. 4, pp. 1421–1442.
- United Nations (2017a). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.

- _____ (2017b). = Организация Объединенных Наций (2017b). *Сохранение и устойчивое использование морского биологического разнообразия в районах за пределами действия национальной юрисдикции: технические тезисы первой глобальной комплексной оценки состояния морской среды*. Нью-Йорк: Организация Объединенных Наций.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (UNDESA) (2019a). *International Migrant Stock 2019*. United Nations. www.un.org/en/development/desa/population/migration/data/estimates2/estimates19.asp.
- _____ (2019b). *Percentage of Total Population Living in Coastal Areas*. New York: United Nations. https://sedac.ciesin.columbia.edu/es/papers/Coastal_Zone_Pop_Method.pdf.
- _____ (2019c). *World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423)*. New York: United Nations.
- United Nations Environment Programme, ed. (2019). *Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108627146>.

Часть четвертая
Нынешнее
состояние
морской среды и
характеризующие
ее тенденции

Глава 5

Тенденции, характеризующие физическое и химическое состояние океана

Координатор: Карлос Гарсия-Сото (координатор и ведущий участник), Ван Цзюйин (со-ведущий участник), Либби Джуэтт, Пол Дурак, Тимон Зелиньский (соведущий участник), Анни Казнав, Ким Сун Ён, Ли Гуаньчэн, Игнейшус Ригор, Дейвид Хэлперн, Левке Цезар, Алиша Черипка, Чэн Лицзин, Зунке Шмидтко и Кэрен Эванс (соведущий участник).

Ключевые тезисы

- Тепловое расширение из-за потепления океана плюс таяние льдов на суше – основные причины ускоряющегося во всем мире подъема среднего уровня моря.
- Глобальное потепление также влияет на многие циркуляционные системы. Атлантическая меридиональная опрокидывающая циркуляция уже ослабла и, скорее всего, продолжит слабеть и далее. Последствия изменений в океанской циркуляции включают региональный подъем уровня моря, перемены в распределении питательных веществ и поглощении углерода океаном, а также обратное воздействие на атмосферу, например в виде изменения распределения осадков.
- Более 90 процентов тепла от глобального потепления оседает в Мировом океане. Океанские акватории демонстрируют с 1950-х годов устойчивое потепление от поверхности до 2000-метровой глубины. По сравнению с долгосрочными тенденциями теплосодержание океана с 1990-х годов повысилось более чем вдвое. Потепление океана можно наблюдать в большей части Мирового океана, но есть несколько акваторий, где проявляется долговременное похолодание.
- За время наблюдений, длящихся уже несколько десятилетий, океан демонстрирует заметную тенденцию к изменениям солености, причем поверхностные и подповерхностные тренды четко свидетельствуют об усилении интенсивности влагооборота над океаном. Это проявляется в повышении солености приповерхностных слоев в сильносоленых субтропических акваториях и в опреснении таких слабосоленых акваторий, как полюса и Западно-Тихоокеанский теплый бассейн.
- Повышение уровней CO_2 в атмосфере и последующее увеличение содержания углерода в океане привели к изменениям в химии океана, в том числе по таким позициям, как рН и насыщение арагонитом. Натурные исследования и эксперименты продемонстрировали, что более богатая углеродом морская среда, особенно в сочетании с другими экологическими стрессорами, отрицательно действует на самые разные организмы (прежде всего такие, которые образуют раковину или панцирь из карбоната кальция) и изменяет биоразнообразие и экосистемную структуру.
- Десятилетия наблюдений за кислородом позволяют надежно анализировать тренды. Долгосрочные измерения указывают на уменьшение концентраций растворенного кислорода в большинстве океанских акваторий и на расширение зон, обедненных кислородом. Снижение растворимости, обусловленное температурой, является главной причиной потери кислорода в приповерхностном слое воды, но уменьшение содержания кислорода не ограничивается этим слоем и во многих акваториях имеет место по всей водной толще.
- Общая протяженность морского льда в Арктике стремительно сокращается, тогда как в Антарктике сократительные тренды незначительны. В Арктике летние тренды наиболее заметны в тихоокеанском секторе Северного Ледовитого океана, а в Антарктике они показывают усиление в море Уэдделла и ослабление в западно-антарктическом секторе Южного океана. Перемены в протяженности морского льда являются результатом изменений в ветровых и океанских течениях.

1. Введение

В настоящей главе анализируются текущее физическое и химическое состояние океана и характеризующие его тенденции по семи ключевым индикаторам изменения климата, которые перечислены ниже:

- **Уровень моря.** Он совокупно отражает изменения, происходящие в климатической системе Земли в порядке реакции на вынужденную изменчивость климата, а также естественные и антропогенные воздействия.

Поэтому это один из ведущих индикаторов глобального изменения и вариабельности климата.

- **Циркуляция океана.** Она играет одну из центральных ролей в регулировании климата Земли и влияет на морскую жизнь, осуществляя перенос тепла, углерода, кислорода и питательных веществ. Основными побудителями циркуляции океана являются поверхностные ветры и градиенты плотности (определяемые температурой и соленостью океана), и любые изменения в этих побудителях могут вызывать изменения в циркуляции океана.
- **Температура моря и теплосодержание океана.** Стремительное потепление Мирового океана за последние несколько десятилетий сказывается на погоде, климате, экосистемах, человеческом обществе и экономике (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019). Повышение тепла в океане имеет множество проявлений, включая рост внутренней температуры океана (Cheng and others, 2019b), подъем уровня моря, вызываемый тепловым расширением, таяние ледяных щитов, интенсификацию гидрологического цикла, изменение атмосферной и океанской циркуляции и усиление тропических циклонов, сопровождающееся более обильными осадками (Trenberth and others, 2018).
- **Соленость.** Поскольку появились более качественные продукты наблюдений за соленостью, соленость океана стала объектом более пристального внимания в четвертом (Bindoff and others, 2007) и пятом (Rhein and others, 2013) оценочных докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата и в первой «Оценке состояния Мирового океана» (United Nations, 2017). Значимость изменений в океанской солености обусловлена тем, что Мировой океан покрывает 71 процент земной поверхности и вмещает в себя 97 процентов свободной воды Земли (Durack, 2015). Любые водные изменения глобального масштаба будут влечь за собой изменение характеристик солености океана, являющейся маркером влагооборота в этом крупнейшем накопителе климатической системы.

- **Закисление океана.** Рост концентраций CO_2 в атмосфере оказывал прямое влияние и на химию океана, поскольку CO_2 поглощается океаном. Океан поглотил примерно 30 процентов всех выбросов CO_2 за 1870–2015 годы (Le Quéré and others, 2016; Gruber and others, 2019), а увеличение содержания CO_2 в воде снижает ее pH из-за образования угольной кислоты.
- **Растворенный кислород.** Колебания содержания кислорода в океане оказывают огромное влияние на морскую жизнь – от круговорота питательных веществ до границ местообитаний пелагических рыб (например, Worm and others, 2005; Diaz and Rosenberg, 2008; Stramma and others, 2012; Levin, 2018) – и могут влиять на изменение климата, вызывая выбросы такого сильнодействующего парникового газа, как закись азота (например, Voss and others, 2013).
- **Морской лед.** Морской лед в полярных областях покрывает около 15 процентов Мирового океана и отражается на глобальной климатической системе, влияя на глобальный тепловой баланс и глобальную термохалинную циркуляцию. Кроме того, морской лед имеет высокое альbedo, отражая больше солнечного света, чем жидкий океан, а его таяние высвобождает пресную воду, которая замедляет «конвейерную ленту» Мирового океана (постоянно движущуюся систему глубоководной циркуляции, параметры которой зависят от температуры и солености).

С привлечением этих индикаторов в настоящей главе детализируются воздействия климатических изменений на физическое и химическое состояние океана, его эволюцию и пространственные закономерности. Эту главу следует воспринимать в купе с главой 9, где анализируются экстремальные климатические явления (морская жара, экстремальные проявления Эль-Ниньо и тропические циклоны) и подробнее описываются нагрузки, создаваемые некоторыми физическими и химическими изменениями для морских экосистем и человеческих популяций. Некоторые дополнительные аспекты рассматриваются в том разделе главы 7 (она посвящена тенденциям, характеризующим состояние биоразнообразия в морских местообитаниях), в котором разбираются высокоширотные льды.

2. Физическое и химическое состояние океана

2.1. Уровень моря

С начала 1990-х годов осуществляется штатный мониторинг уровня моря в глобальном и региональном масштабах с помощью высокоточной спутниковой альтиметрии (спутники TOPEX/Poseidon, Jason-1, Jason-2, Jason-3, Envisat, SARAL/AltiKa, Sentinel-3A и Sentinel-3B).

На рисунке I представлено самое недавнее обновление кривой, показывающей значения среднемирового уровня моря по данным спутниковой альтиметрии (обновленная версия информации от Леже и др. (Legeais and others, 2018)). С 1993 года среднемировой уровень моря поднимается со средней скоростью $3,1 \pm 0,3$ мм в год при отчетливом приложенном ускорении примерно $0,1$ мм в год² (Chen and others, 2017; Dieng and others, 2017; Yi and others, 2017; Nerem and others, 2018; World Climate Research Programme Global Sea Level Budget Group, 2018)¹. Спутниковая альтиметрия также выявила сильную региональную вариабельность в темпах изменения уровня моря, причем в некоторых регионах региональные темпы в два-три раза превышают среднемировые значения, зафиксированные за эру альтиметрии (см. рисунок II).

Сейчас имеются разные наблюдательные системы, которые позволяют количественно определять удельный вес глобальных и региональных факторов в изменении уровня моря. Система автономных профилирующих буев Argo² измеряет температуру и соленость морской воды на глубине до 2000 м, охватывая при этом почти весь земной шар. Программа космической гравиметрии под названием Gravity Recovery and Climate Experiment позволяет отслеживать изменения в массе океана из-за потери массы ледниками и ледяными щитами, а также изменения в запасах воды на суше. Программа также рассчитана на измерение индивидуальных изменений водной массы у ледников, ледяных щитов и сухопутных водоемов. Для оценки запаса массы у ледяных щитов задействуются и другие методы, например радиолокационная и лазерная альтиметрия и

применение интерферометрических радиолокаторов с синтезированной апертурой.

Рисунок I
Эволюция среднемирового уровня моря по альтиметрическим данным с разных спутников



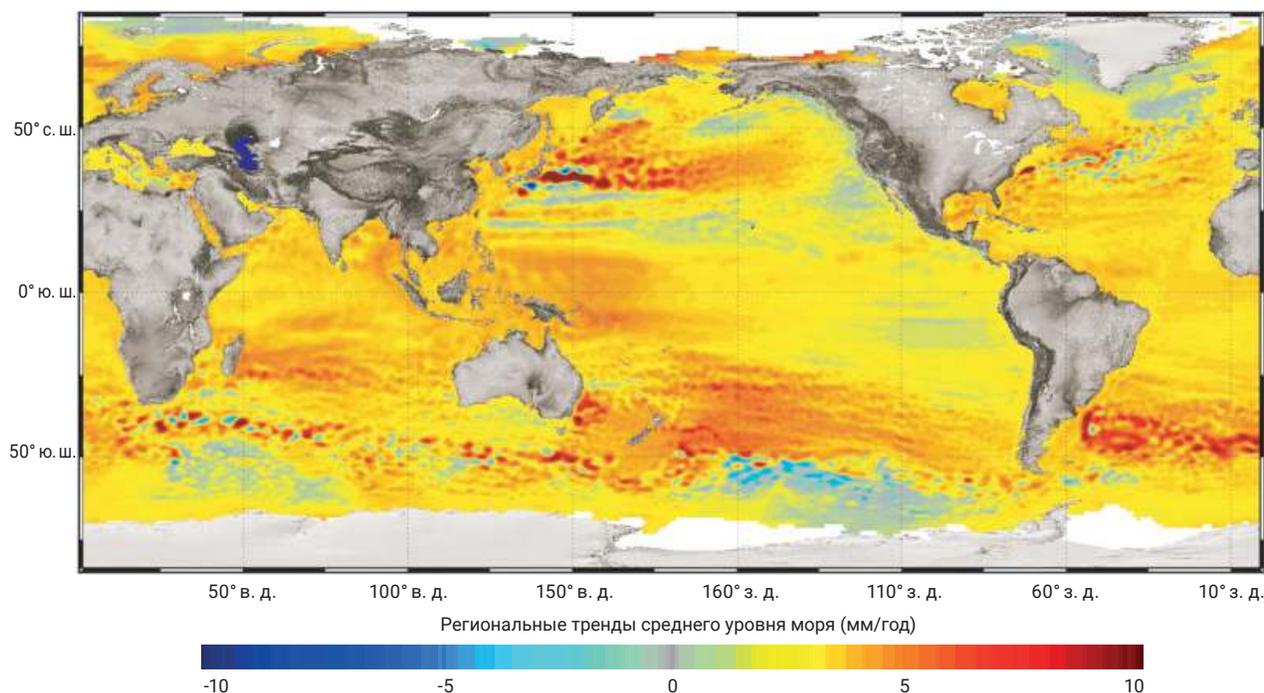
Источник: Legeais and others, 2018 (актуализированные данные).

Важно изучать бюджет уровня моря, поскольку это позволяет делать скидку на неизвестные или малоизвестные факторы (например, действующие в океанском глубоководье), которые нынешними системами наблюдений просчитаны недостаточно. Калькуляция среднемирового уровня моря с поправкой на изменения в массе океана помогает независимо оценить изменения в общем теплосодержании океана за какой-то промежуток времени, из чего можно вывести энергетический дисбаланс Земли. На рисунке III сравниваются за период с 2005 года усредненные за год значения, с одной стороны, среднемирового уровня моря, а с другой — суммы теплового расширения океана и увеличения его массы из-за таяния сухопутных льдов и изменения водных запасов на суше (World Climate Research Pool Global Sea Level Budget Group, 2018). Из рисунка видно, что годовые значения разницы между ними не превышают 2 мм.

¹ См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

² См. www.argo.net.

Рисунок II
Характеры региональных трендов уровня моря по данным спутниковой альтиметрии (с января 1993 года по октябрь 2019 года)



Источник: программа Copernicus, Служба мониторинга морской среды.

Рисунок III
Годовые бюджеты среднемирового уровня моря с 2005 года



Источник: World Climate Research Programme Global Mean Sea Level Budget Group, 2018.

Сокращение: GRACE – Gravity Recovery and Climate Experiment.

Если говорить о тенденциях, то с 2005 года «незакрытая» часть бюджета уровня моря составляет 0,3 мм в год, что соответствует неопределенности в отношении подъема среднего уровня моря. Другие исследования (Dieng and others, 2017; Nerem and others, 2018) тоже указывают на то, что бюджет уровня моря за всю эру альтиметрии (т. е. с 1993 года) можно считать закрытым.

В локальном масштабе, в частности в прибрежных районах, к среднемировому и региональным компонентам, из которых складывается уровень моря, добавляются дополнительные маломасштабные процессы, которые могут приводить к значительному отклонению прибрежного уровня моря от его уровня в открытом океане, где этот уровень поднимается (Woodworth and others, 2019). Например, изменения в поведении ветра, волн и маломасштабных течений вблизи побережья, а также приток пресной воды в устьях рек способны изменять структуру плотности морских вод, а следовательно, и прибрежный уровень моря.

2.2. Циркуляция океана

Наблюдаемые изменения в системе океанской циркуляции происходят повсеместно, и данные этих наблюдений поступают из разнообразных источников. Изменения высоты уровня моря, измеряемые с 1993 года с помощью высокоточной спутниковой альтиметрии, указывают, судя по всему, на расширение и усиление субтропических круговых течений в северной (Qiu and Chen, 2012) и южной (Cai, 2006; Hill and others, 2008) частях Тихого океана. Кроме того, данные показывают, что многие океанские течения, включая Антарктическое циркумполярное течение и субтропические круговые течения в Южном полушарии (Gille, 2008), а также западные пограничные течения во всех океанских бассейнах (Wu and others, 2012), сдвигаются к полюсам.

При этом наиболее серьезные изменения наблюдаются в Атлантическом океане: уже давно прогнозировалось, что из-за глобального потепления одна из основных систем океанских течений, а именно атлантическая меридиональная опрокидывающая циркуляция, замедлится (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013). Эта система течений переносит тепло из Южного полушария и тропиков в Северную Атлантику, и ее эволюцию можно вывести из эволюции температуры морской поверхности. Уже установлена связь между замедлением названной циркуляции и похолоданием в приполярной Северной Атлантике, наблюдаемым с конца XIX века (Dima and Lohmann, 2010; Latif and others, 2006; Rahmstorf and others, 2015). Кроме того, судя по разным и в значительной степени неза-

висимым косвенным показателям эволюции этой циркуляции, которые были опубликованы в последние годы, ее мощность находится на самом низком за несколько веков уровне (см. рисунок IV) и ослабевала на протяжении всего последнего столетия (см. рисунок V; Caesar and others, 2018). Такое ослабевание прослеживается и по прямым измерениям, выполненным за последнее десятилетие в рамках исследовательской программы RAPID³ (Smeed and others, 2018).

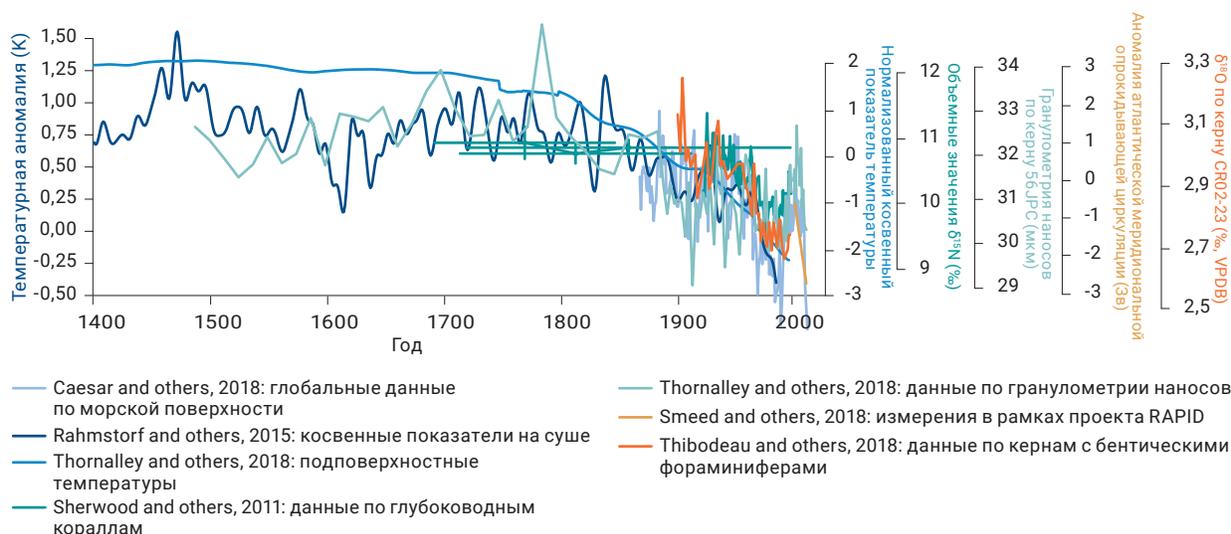
Информация о циркуляциях и их изменениях может быть выведена из непосредственных измерений, по косвенным показателям либо путем моделирования. Основные неопределенности при выяснении трендов в циркуляции океана обуславливаются непродолжительностью прямых, непрерывных измерений, неполнотой картины, когда циркуляция определяется косвенно, и неопределенностью, присущей моделям. Поэтому важно, чтобы существующие исследовательские программы наблюдений, такие как Global Drifter Program (Dohan, 2010) и программа Argo (Freeland and others, 2010), сохранялись. Сюда относятся и основные проекты по наблюдению за атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляцией: группировка датчиков RAPID (Smeed and others, 2014), измеряющая с 2004 года мощность этой циркуляции примерно на 26° с. ш.; программа OSNAP⁴ (Lozier and others, 2017), измеряющая с 2014 года опрокидывающий поток, питающий циркуляцию; линия OVIDE⁵ между Гренландией и Португалией, вдоль которой выполняется измерение океанских параметров (Mercier and others, 2015).

³ Программа RAPID направлена на определение изменчивости атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции и ее связи с климатом. Развернутая в 2004 году группировка датчиков непрерывно наблюдает за мощностью циркуляции примерно на 26° с. ш.

⁴ Overturning in the Subpolar North Atlantic Program — международная программа, призванная непрерывно фиксировать потоки тепла, массы и пресной воды в приполярной Северной Атлантике.

⁵ Observatoire de la variabilité interannuelle et décennale en Atlantique Nord — проект, посвященный документированию изменчивости циркуляции и свойств водных масс на севере Северной Атлантики.

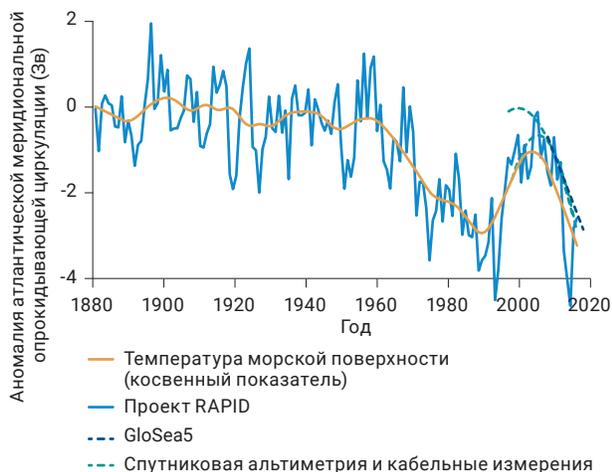
Рисунок IV
Наблюдаемая динамика мощности атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции за период с 1400 года по данным, выводимым из различных косвенных показателей



Наблюдаемая динамика изображена на рисунке следующим образом: долгосрочная эволюция температур на поверхности моря и на суше в Северо-Атлантическом регионе – голубым (Caesar and others 2018), темно-синим (Rahmstorf and others, 2015) и синим (Thornalley and others, 2018); данные по глубоководным ядрам – темно-зеленым (Sherwood and others, 2011), светло-зеленым (Thornalley and others, 2018) и оранжевым (Thibodeau and others, 2018); линейный тренд по результатам натурного мониторинга циркуляции в рамках проекта RAPID – песочным (Smeed and others, 2018).

Сокращение: VPDB – «венский» стандарт изотопного состава по белемнитам формации Pee Dee.

Рисунок V
Наблюдаемая динамика мощности атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции



Песочным цветом на рисунке изображены долгосрочные [20-летняя фильтрация по алгоритму LOWESS (locally weighted scatterplot smoothing)] косвенные показатели температуры морской поверхности; синим, темно-синим и зеленым цветами обозначены годовые значения. На рисунке также изображены квадратичный тренд по данным океанского реанализа (британское Метеорологическое управление, 5-я версия системы Global Seasonal Forecasting System (GloSea5); Jackson and others, 2016), реконструкция по данным спутниковой альтиметрии и кабельных измерений (Frackja-Williams, 2015) и линейный тренд по результатам натурного мониторинга циркуляции в рамках проекта RAPID.

Источник: Caesar and others, 2018.

Воздействие изменений в системе океанской циркуляции не одинаково. Атлантическая меридиональная опрокидывающая циркуляция имеет решающее значение для меридионального переноса тепла и поэтому сильно влияет на климат в Северо-Атлантическом регионе. Ее замедление может снизить поглощение углерода океаном (Zickfeld and others, 2008) и усилит подъем уровня моря вдоль восточного побережья Соединенных Штатов Америки (Goddard and others, 2015). Однако более сильное субтропическое круговое течение в северной части Тихого океана приводит к региональному подъему уровня моря в северо-западной тропической части Тихого океана (Timmermann and others, 2010). Это динамические реакции высоты уровня моря на изменения в циркуляции океана. Смещение западных пограничных течений к полюсам приводит к потеплению в регионах, которые ранее этими теплыми и мощными течениями не затрагивались. Вызываемое этим тепловое расширение повлечет за собой подъем уровня моря в прилегающих прибрежных акваториях, например в Южном и Индийском океанах (Alory and others, 2007; Gille, 2008). В дальнейшем изучении нуждаются и другие возможные воздействия, к числу которых относятся изменения в морских экосистемах и в первичной продукции (поскольку течения переносят питательные вещества) и воздействия на погодные системы, например выражающиеся в засухах, наводнениях или эпизодах жары (поскольку океанская циркуляция оказывает значительное влияние на режим атмосферной циркуляции, а значит, и на режим осадков) (Duchez and others, 2016).

2.3. Температура моря и теплосодержание океана

Температура морской поверхности

Оцениваемые здесь глобальные анализы температуры морской поверхности основываются на четырех опубликованных наборах данных (см. рисунок VI). Все эти наборы обнаруживают повышение среднемировой температуры морской поверхности с начала XX века. Глобально усредненные данные о температуре морской поверхности, рассчитанные по линейному тренду за период 1900–2018 годов, неоспоримо говорят о потеплении: $0,60 \pm 0,07$ °C (набор данных COBE1 (Centennial in situ Observation-based Estimates, version 1), посвященный температуре

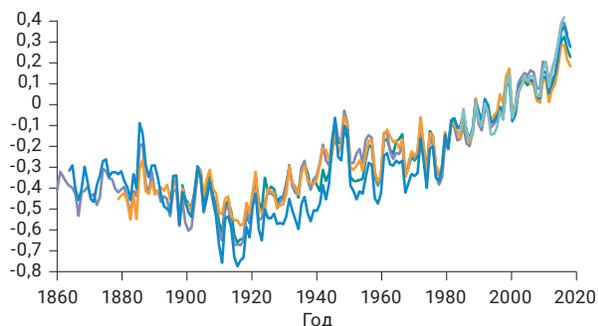
морской поверхности; см. Ishii and others, 2005), $0,62 \pm 0,11$ °C (COBE2 (то же, version 2); см. Hirahara and others, 2014), $0,56 \pm 0,07$ °C (набор данных HadISST (Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature); см. Rayner and others, 2003) или $0,72 \pm 0,10$ °C (ERSST (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature); см. Huang and others, 2017) в пересчете на столетие, — причем доверительный интервал составляет 90 процентов. Если все наборы данных усреднить, то повышение температуры морской поверхности за тот же период составит $0,62 \pm 0,12$ °C в пересчете на столетие. Различия между этими наборами данных вызваны главным образом тем, каков у каждой методологии подход к областям, по которым данных мало или нет совсем, и как при каждом анализе учитываются перемены в методах измерения. Судя по всем наборам данных, 10 самых теплых (за всю историю известных наблюдений) лет пришлось на период с 1997 года, а 5 самых теплых лет — на период с 2014 года. При этом темпы потепления за последнее из охваченных десятилетий (2009–2018 годы): $2,41 \pm 1,79$ (COBE1), $2,97 \pm 1,81$ (COBE2), $2,05 \pm 1,85$ (HadISST) и $2,81 \pm 1,98$ °C (ERSST) в пересчете на столетие — сильно превышают долгосрочный тренд. Усредненный темп потепления за 2009–2018 годы составляет $2,56 \pm 0,68$ °C в пересчете на столетие. Эти результаты натуральных наблюдений дополняются спутниковыми данными, которые говорят о последовательных изменениях температуры морской поверхности за период с 1981 по 2016 год (Good and others, 2020; см. также рисунок VI).

Большая часть океанских акваторий на земном шаре теплеет (см. рисунок VI, сегмент В). Потепление, происходящее в целом над поверхностью Мирового океана, является прямым доказательством антропогенного влияния на климатическую систему (Bindoff and others, 2013). Несколько регионов, например приполярная северная часть Атлантического океана, испытали за последнее столетие похолодание (часто называемое «холодным пузырьем» или «североатлантической дырой в потеплении»). В ряде исследований делается предположение, что этот «холодный пузырь» указывает на ослабление атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции, возможно в порядке реакции на повышение концентраций CO₂ в атмосфере (Caesar and others, 2018). В свою очередь, экваториальная

и восточная тропическая зоны Тихого океана характеризовались более низкими темпами потепления. В юго-восточной части Тихого океана, от центра Перу до севера Чили, до конца 2000-х годов прослеживалась многодесятилетняя тенденция к похолоданию поверхности [Gutiérrez and

others, 2016 (плюс приводимые там источники)], вероятно связанная с усилением прибрежного апвеллинга или изменениями, вызванными в циркуляции действием удаленных факторов (Dewitte and others, 2012).

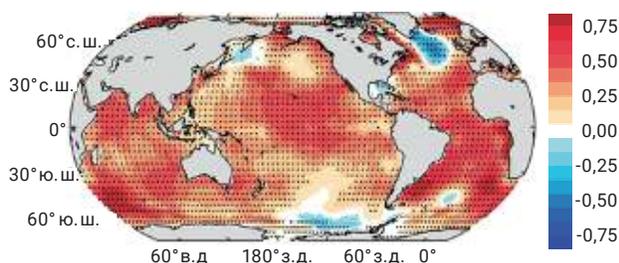
Рисунок VI.A
Аномалии среднемировых поверхностных температур (°C, усредненные годовичные значения)



- Набор данных COBE1 (Centennial in situ Observation-based Estimates version 1), данные о температуре морской поверхности
- Набор данных COBE2 (Centennial in situ Observation-based Estimates, version 2), данные о температуре морской поверхности
- Набор данных ERSST5 (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, version 5)
- Набор данных HadSST (Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature)
- Набор данных GMPE2 (Group for High Resolution Sea Surface Temperature, Multi-Product Ensemble, version 2)

Примечание. Указаны оценки натуральных наблюдений, отраженных в вышеназванных наборах данных.

Рисунок VI.B
Пространственный характер долгосрочного тренда температуры морской поверхности (°C за столетие) с 1854 по 2018 год по данным ERSST



Примечание. Все данные опираются на общий базисный уровень, определенный для 1981–2010 годов. Черными точками обозначены квадраты сетки, где тренды являются значительными (т.е. где нулевой тренд находится вне 90-процентного доверительного интервала).

Теплосодержание океана

Изменение климата из-за человеческой деятельности связано прежде всего с вмешательством в естественное движение потоков энергии через климатическую систему, порождающим энергетический дисбаланс: в атмосфере усиливается присутствие парниковых (улавливающих тепло) газов (Hansen and others, 2011; Trenberth and others, 2018). Более чем на 90 процентов энергетический дисбаланс сосредоточивается в океане (Rhein and others, 2013). Тепловой дисбаланс проявляется в повышении теплосодержания океана. Расчет локального теплосодержания океана (TCO) можно оценить путем интегрирования температуры моря (Т) на океанских глубинах от Z_1 до Z_2 :

$$TCO = c_p \int_{Z_1}^{Z_2} \rho T dz$$

Где ρ — плотность морской воды, а c_p — удельная теплоемкость морской воды.

Энергетический дисбаланс Земли и теплосодержание океана являются фундаментальными показателями глобального потепления (Hansen and others, 2011; Trenberth and others, 2018; Von Schuckmann and others, 2016; Cheng and others, 2018). Внутренняя изменчивость климатической системы влияет на известные данные о теплосодержании океана гораздо меньше, чем на известные данные о температуре морской поверхности (которые используются чаще), поэтому показатели такого теплосодержания лучше других показателей подходят для обнаружения и объяснения антропогенных влияний (Cheng and others, 2018).

После появления пятого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (Rhein and others, 2013) удалось значительно усовершенствовать долгосрочное фиксирование данных о теплосодержании океана, а также выявить и лучше учитывать ряд источников неопределенности, влиявших на предыдущие измерения и анализы (Abraham and others, 2013; Boyer and others, 2016; Cheng and others, 2016, 2017a; Ishii and others, 2017). В то же вре-

мя была проделана работа над улучшением того, как пространственные или временные пробелы учитываются в измерениях океанской температуры за прошлые периоды. Так, был предложен новый метод пространственной интерполяции (Cheng and others, 2017a) и появилась поправка к уже сделанным расчетам (Ishii and others, 2017). Становится понятнее, что многие традиционные стратегии заполнения пробелов в данных привнесли консервативную предвзятость к маломасштабным изменениям. Среди авторов, у которых такого уклона меньше, — Чэн (Cheng and others, 2017a), Домингес (Domingues and others, 2008) и Исии (Ishii and others, 2017).

Тройка недавних оценок теплосодержания океана, основанных на наблюдениях, показывает весьма устойчивое потепление океана с конца 1950-х годов (см. рисунок VII). Его линейная скорость за 1955–2018 годы, усредненная для всей земной поверхности, указывается в этих оценках как составляющая $0,36 \pm 0,06$ Вт·м⁻² (Ishii and others, 2017) или $0,33 \pm 0,10$ Вт·м⁻² (Cheng and others, 2017a), а средний показатель по всем наборам данных составляет $0,34 \pm 0,08$ Вт·м⁻². Каждая из новых оценок выше предыдущих (Rhein and others, 2013), и новые оценки больше согласуются друг с другом (Cheng and others, 2019a). За десятилетия, прошедшие после 1990-х годов, выросла скорость потепления океана в верхнем 2000-метровом слое: линейные тренды с 1999 по 2018 год составляют $0,58 \pm 0,06$ Вт·м⁻² (Cheng and others, 2017a), $0,61 \pm 0,08$ Вт·м⁻² (Ishii and others, 2017) или $0,66 \pm 0,02$ Вт·м⁻² (Domingues and others, 2008; Levitus and others, 2012), при среднем показателе $0,62 \pm 0,05$ Вт·м⁻². За последнее десятилетие (2009–2018 годы) скорость увеличения теплосодержания океана составляет $0,56 \pm 0,06$ Вт·м⁻² (Cheng and others, 2017a), $0,66 \pm 0,09$ Вт·м⁻² (Ishii and others, 2017) или $0,66 \pm 0,03$ Вт·м⁻² (Domingues and others, 2008; Levitus and others, 2012), при среднем показателе $0,65 \pm 0,07$ Вт·м⁻². Все 10 лет последнего десятилетия были по значениям теплосодержания океана самыми теплыми за всю историю зафиксированных наблюдений (Cheng and others, 2019a), притом что естественная изменчивость меньше сказывается на теплосодержании океана.

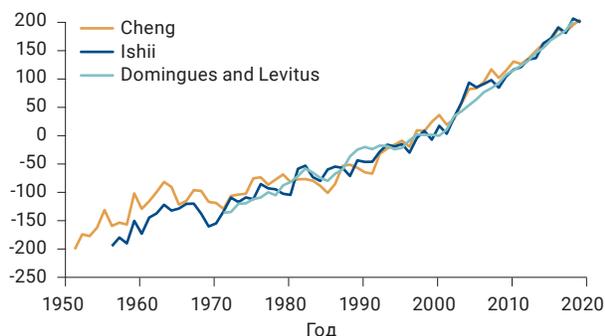
Повышение теплосодержания океана наблюдается на глубине до 2000 м практически во всем

Мировом океане (см. рисунок VII). За период 1960–2018 годов вырисовываются некоторые интригующие закономерности долгосрочного изменения такого теплосодержания: в Южном океане (примерно от 70° ю. ш. до 40° ю. ш.) и Атлантическом океане (примерно от 40° ю. ш. до 50° с. ш.) потепление сильнее, чем в других регионах, а по всем акваториям Тихого и Индийского океанов (примерно от 30° ю. ш. до 60° с. ш.) оно слабее (см. рисунок VII). В Южном океане установлено долгосрочное потепление, которое объясняется в первую очередь действием парниковых газов (Cheng and others, 2017a; Swart and others, 2018) и вызывается преимущественно тем, что во взаимодействиях между атмосферой и морем происходят изменения, затрагивающие опрокидывающую циркуляцию и перемешивание в верхних слоях океана (Swart and others, 2018). Потепление Южного океана имеет значимые последствия из-за его влияния на ледяной резервуар Южного полушария. Теплосодержание приповерхностных слоев Южного океана является ключевым фактором, от которого зависит сезонное образование морского льда, и поэтому потепление может обернуться последствиями для глобального климата, так как снизится альбедо Земли. Кроме того, потепление океана ускоряет таяние шельфовых ледников Антарктики, что угрожает стабильности антарктического ледяного щита и может привести к глобальным последствиям в виде подъема уровня моря (Sallée and others, 2018).

Происходившее в 1998–2013 годах замедление роста температуры морской поверхности и вообще поверхностной температуры породило многочисленные заявления о «климатической паузе» (Hartmann, 2013). Обновленная версия зафиксированных данных до 2018 года (см. рисунок V) показывает, что линейный тренд температуры морской поверхности за 1998–2018 годы составляет $1,25 \pm 0,52$ °C в пересчете на столетие, т. е. превышает линейный тренд за референц-период 1982–1997 годов ($1,00 \pm 0,46$ °C в пересчете на столетие). Это фактически указывает на то, что с экстремальным проявлением Эль-Ниньо в 2015/16 году замедление роста поверхностной температуры прекратилось (Hu and Fedorov, 2017). Кроме того, очевидно, что с конца 1990-х годов скорость повышения теплосодержания океана

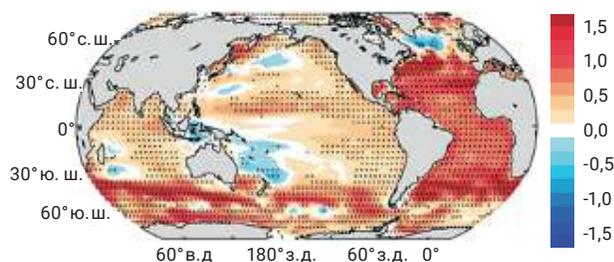
увеличились (см. рисунок VII). Неослабевающий рост темпов, с которыми повышаются температура морской поверхности и теплосодержание океана, опровергает версию о замедлении глобального антропогенного потепления.

Рисунок VII.A
Наблюдаемые изменения в теплосодержании океана



Примечание. Среднегодовые значения для верхнего 2000-метрового слоя в зеттаджоулях (10^{21} Дж) (Cheng and others, 2017a; Domingues and others, 2008; Levitus and others, 2012; Ishii and others, 2017). Сочетание расчетов Домингеса (по слою 0–700 м) с расчетами Левитуса (по слою 700–2000 м) позволяет получить временной ряд по слою 0–2000 м в соответствии с пятым оценочным докладом Межправительственной группы экспертов по изменению климата (Rhein and others, 2013).

Рисунок VII.B
Пространственный характер долгосрочного тренда теплосодержания океана ($\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$) за 1955–2018 годы



Примечание. Все данные опираются на общий базисный уровень, определенный для 1981–2010 годов. Черными точками обозначены квадраты сетки, где тренды являются значительными (т.е. где нулевой тренд находится вне 90-процентного доверительного интервала).

Источник: Cheng and others, 2017a.

2.4. Соленость

Исследования, описанные в четвертом и пятом оценочных докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата, документально подтвердили пространственную картину при- и подповерхностной солености, указывающую на долгосрочные изменения (Bindoff and others, 2007; Rhein and others, 2013). В первой «Оценке состояния Мирового океана» (United Nations, 2017) были зафиксированы долгосрочные (многодесятилетние) изменения солености Мирового океана за прошедший период.

Эти исследования явно свидетельствуют о том, что по сравнению с более ранними данными, относящимися примерно к 1950-м годам, приповерхностные сильносоленые субтропические области океана и вся акватория Атлантики стали сейчас более солеными, а слабосоленые области, такие как Западно-Тихоокеанский теплый бассейн, и высокоширотные области — более пресными (например, Boyer and others, 2005; Hosoda and others, 2009; Durack and Wijffels, 2010; Helm and others, 2010; Skliris and others, 2014). Картина изменений отражает усиление климатологической средней солености, причем имитационное моделирование (например, Durack and others, 2012, 2013; Terray and others, 2012; Vinogradova and Ponte, 2013; Durack, 2015; Levang and Schmitt, 2015; Zika and others, 2015) указывает на одновременное усиление атмосферного влагооборота (например, Held and Soden, 2006).

Если долгосрочные оценки прошлых изменений осложняются скудостью наблюдательной сети вплоть до середины XX века, то оценкам за более недавний период, с 2008 года до почти нынешнего момента, помогает всеобъемлющий охват Мирового океана данными с профилирующих буев Argo. Современные наблюдения покрывают лишь 10-летний отрезок (с 2008 года по настоящее время), и в выводимых из них расчетах изменений сильнее, чем в долгосрочных расчетах, проявляется влияние режимов естественной вариабельности, сказывающихся на солености океана в региональном масштабе. Тем не менее их пространственный и временной охват позволяет рассчитать изменения точнее. Самые свежие анализы, основанные на данных только с Argo, впервые показали, что в 2017 году почти все соленостные аномалии в Атлантике на глубине от

0 до 1500 м имели плюсовое значение ($>0,05$ по шкале практической солености PSS-78), а Тихий океан демонстрировал в целом опреснение. Это сходится с вышеуказанными долгосрочными тенденциями.

После первой «Оценки» большую заметность приобрели данные о солености, получаемые с помощью спутников SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity), Aquarius и SMAP (Soil Moisture Active Passive) (например, Berger and others, 2002; Lagerloef and others, 2008; Tang and others, 2017). Хотя спутниковые данные о солености имеются только за период с 2010 года и хотя всё еще ведется работа над взаимным сопоставлением и гомогенизацией информационной продукции разных спутниковых платформ, они начинают давать ключевые сведения об изменчивости океанской солености из-за динамики осадков (например, Boutin and others, 2013, 2014; Drushka and others, 2016). Кроме того, высокий (по сравнению с привязанными к месту платформами, например Argo) временной и пространственной охват спутниковых данных о солености впервые дает представление о взаимодействиях сухопутного влагооборота с океанским, проявляющихся, например, в шлейфе, образующемся при впадении Амазонки в океан (Grotsky and others, 2014).

Учитывая все имеющиеся аналитические выкладки, можно говорить об очень большой вероятности того, что с 1950-х годов по всей планете происходили изменения в при- и подповерхностной солености. Очевидно усиление такой соленостной модели, когда пресноводные области становятся преснее, а соленые — солнее, что подтверждается всеми доступными исследованиями, в которых изменение солености рассматривается по зафиксированным результатам наблюдений, выполненных за период после появления соответствующих приборов. Например, значительные темпы опреснения отмечены в высокоширотных океанских акваториях. Более современные оценки на настоящий момент слишком непродолжительны, чтобы достоверно говорить о последовательных изменениях за последнее десятилетие. Однако самые свежие анализы позволяют говорить о том, что в атлантическом бассейне и (в меньшей степени) в верхней части тихоокеанского бассейна начинают проявляться последовательные закономерности.

2.5. Закисление океана

После промышленной революции pH поверхностных слоев Мирового океана снизился в среднем на примерно 0,1 (Caldeira and others, 2003), т. е. произошло примерно 30-процентное повышение кислотности. Прогнозируется, что если глобальные выбросы углерода не будут значительно сокращены, то в течение следующего столетия pH океана снизится еще на примерно 0,2–0,3 (Caldeira and others, 2003; Feely and others, 2009). Эти изменения прослеживаются по расширенным временным рядам океанских данных (см. рисунок VIII), и, судя по всему, их темпы не имеют себе равных по крайней мере за последние 66 млн лет (Hönisch and others, 2012; Zeebe and others, 2016). В зависимости от крупномасштабных океанских параметров, включая глубину, расстояние от континента (т. е. интенсивность влияния с суши), режим апвеллинга, поступление пресной воды и нутриентов и географическую широту, варьируется карбонатная химия (Jewett and Romanou, 2017). Вследствие этой вариабельности, определяемой теми или иными из перечисленных характеристик, только временные ряды, формируемые путем более долгосрочных наблюдений, позволяют обнаруживать прогнозируемое долгосрочное повышение кислотности на отдельных участках из-за повышения уровней атмосферного CO_2 . Время появления сигнала колеблется от 8 до 15 лет для участков в открытом океане и от 16 лет до 41 года для прибрежных участков (Sutton and others, 2019), вызывая необходимость настроиться на записывание результатов долгосрочных наблюдений, особенно в прибрежной зоне, где располагаются морские ресурсы, наиболее важные с коммерческой и культурной точек зрения.

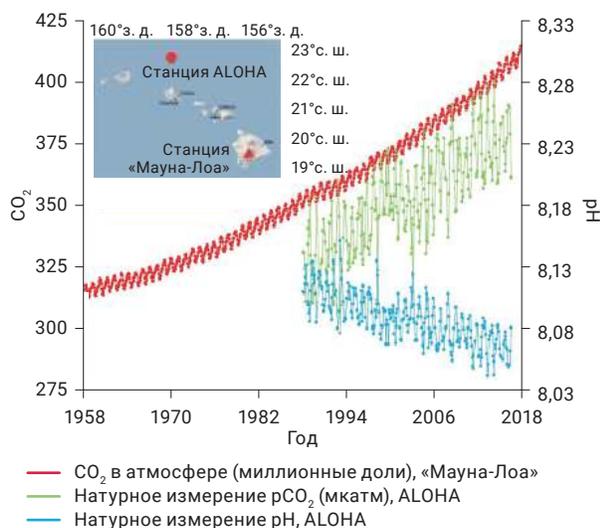
К настоящему времени документально установлено, что закисление океана затрудняет для некоторых морских организмов, таких как кораллы, устрицы и крылоногие (Hoegh-Guldberg and others, 2017; Lemasson and others, 2017; Bednarsek and others, 2016; Feely and others, 2004; Orr and others, 2005), формирование раковин и скелетов из карбоната кальция. Замечено также, что в некоторых случаях закисление океана снижает приспособленность некоторых видов, таких как кокколи-тофорицы, крабы и морские ежи (Campbell and others, 2016; Dodd and others, 2015; Riebesell and

others, 2017; Munday and others, 2009). Опыты в лабораторных условиях обнаруживают у отдельных биологических видов уязвимость к закислению океана, однако остается неясным и в основном незадокументированным, какими именно будут изменения в реальных экосистемах и видовых популяциях (McElhany, 2017). Благодаря исследовательским усилиям, прилагавшимся в течение последнего десятилетия, начало формироваться понимание того, какое влияние на морские виды, экосистемы и биогеохимические циклы может оказывать закисление океана — само по себе или в сочетании с другими стрессорами, включая эвтрофикацию, потепление и гипоксию (Baumann, 2019; Murray, 2019). Высокоприоритетным направлением исследований стало выяснение того, как закисление океана в прибрежных зонах взаимодействует с прибрежными процессами, например апвеллингом недонасыщенных

вод и притоком нутриентов с суши (Borges and Gypensb, 2010; Feely and others, 2008). Естественная изменчивость карбонатной химии, например проявляющаяся в прибрежном апвеллинге и сезонных колебаниях первичной продуктивности, усугубляется антропогенными изменениями, в результате чего в некоторых акваториях Мирового океана создается особенно экстремальная ситуация с закислением океана (Feely and others, 2008; Cross and others, 2014). Осуществлявшиеся за последнее десятилетие энергичные национальные и международные усилия, посвященные мониторингу карбонатной химии, биологическим наблюдениям и прогнозируемому моделированию биогеохимических или экологических показателей, пролили свет на ситуацию с закислением океана и на его последствия в масштабе от локального до глобального. На устранение пробелов в нынешнем понимании химии океана направлены усилия по наращиванию возможностей для глобального мониторинга, как то: функционирование Глобальной системы наблюдений за закислением океана, активизация изучения биологических воздействий и биогеохимическое экосистемное моделирование.

Рисунок VIII

Тренды карбонатной химии поверхностных (<50 м) слоев океана, рассчитанные на основе наблюдений, выполненных в северной части Тихого океана за 1988–2018 годы в рамках программы Hawaii Ocean Time-series



Из рисунка видно, что спаренное повышение концентраций CO₂ в атмосфере (красные точки) и уровней pCO₂ в морской воде (зеленые точки) сопровождается снижением pH морской воды (синие точки, вторичная ось Y). Источник данных по химии океана — Hawaii Ocean Time-series Data Organization and Graphical System.

Источник: National Oceanic and Atmospheric Administration Pacific Marine Environmental Laboratory Carbon Program.

2.6. Растворенный кислород

Поскольку методы химического анализа по существу не изменились (Carpenter, 1965; Wilcock and others, 1981; Knapp and others, 1991), долгосрочные тенденции, характеризующие содержание кислорода в океане, при наличии данных с достаточным охватом могут быть оценены довольно надежно. Пробы растворенного кислорода подвергаются титриметрическому анализу по методу Винклера, который появился в 1903 году и с тех пор используется для калибровки всех способов измерения растворенного кислорода в океане. Это позволяет проводить надежный анализ долгосрочных тенденций во всех областях с достаточным охватом данных. Современное титрование по Винклеру осуществляется с помощью компьютеров, что обеспечивает более точный анализ, однако погрешность прошлых измерений выяснить не удалось (Schmidtko and others, 2017). Постулируемая возможная погрешность в 0,5 процента, объясняемая изменениями в реагентах (Knapp and others, 1991), была сверена с глобальным набором данных по кислороду и сочтена весьма маловероятной, поскольку

картина кислородных изменений, получаемая при сознательном привнесении погрешности, не соответствует какой-либо наблюдаемой модели (Schmidtko and others, 2017).

Что касается открытого океана, то большинство данных из региональных долгосрочных рядов указывает на небольшое долгосрочное уменьшение, несмотря на временные вариации разной продолжительности (например, Keeling and others, 2010). Повышение уровней кислорода прослеживается лишь в очень немногих временных рядах (Keeling and others, 2010). Прибрежные изменения вызваны в основном речным стоком удобрений, но в некоторых случаях на них могли повлиять более масштабные кислородные изменения. Они могут привести к учащению появления «мертвых зон», с соответствующими последствиями для региональной экологии и экономики (Diaz and Rosenberg, 2008).

В мировом масштабе океан за последние десятилетия терял кислород. Как сопоставление зафиксированных данных о кислороде за разные десятилетия, так и локальный регрессионный анализ (Schmidtko and others, 2017; Ito and others, 2017) свидетельствуют о крупномасштабном снижении содержания кислорода (см. рисунки IX.A и IX.B. Независимо от используемой методики, для одних и тех же слоев воды и при учете одних и тех же факторов неопределенности выводятся согласующиеся между собой значения. Темпы дезоксигенации для разных глубин и областей различаются (отражая многообразие процессов, из-за которых кислородное содержание меняется), причем есть отдельные области, где проявляется увеличение кислорода. За последние пять десятилетий совокупный кислородный бюджет сократился на 2 процента, и с 1960 года потери составляют $4,8 \pm 2,1$ петамоля (Schmidtko and others, 2017). В верхней толще воды преобладает снижение растворимости, обусловленное температурой (см. рисунок IX.C). С 1970 по 2010 год концентрация кислорода в верхнем 1000-метровом слое воды снижалась на $0,046 \pm 0,047$ мкмоль·л⁻¹·год⁻¹, а растворимость — на $0,025$ мкмоль·л⁻¹·год⁻¹ (Schmidtko and others, 2017). Анализ более мелководных слоев показывает, что там изменения по части растворимости более значительны (см. рисунок IX.C); это согласуется с потеплением в верхней части водной

толщи (см. рисунок IX.C, верхняя часть). Однако в пересчете на всю толщу океанской воды изменения в растворимости с 1970 по 2010 год незначительны: они составляют $-0,006$ мкмоль·л⁻¹·год⁻¹, притом что общая потеря кислорода составляет $0,063 \pm 0,031$ мкмоль·л⁻¹·год⁻¹. Тем не менее исключать, что ключевым источником этих изменений является температура, нельзя, так как ее воздействие может проявляться не в изменении растворимости, а через другие механизмы. Эти механизмы включают усиление стратификации, изменения в циркуляции и тепловые воздействия на биогеохимические циклы (например, Keeling and others, 2002; Bianchi and others, 2013; Stando and Gruber, 2012).

Рисунок IX.A
Средняя концентрация растворенного кислорода в водной толще

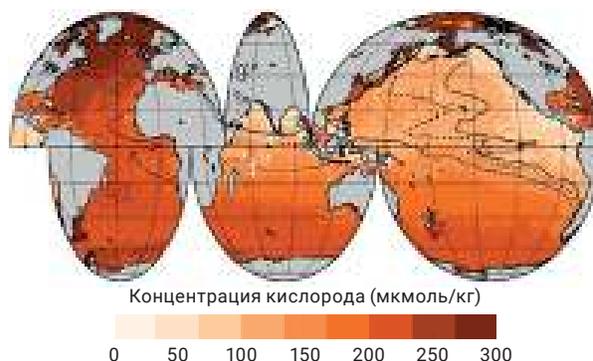


Рисунок IX.B
Изменение содержания растворенного кислорода в процентах за десятилетие



Примечание. Сплошные, точечные и пунктирные линии указывают на низкое (40, 80 и 120 мкмоль·л⁻¹) содержание кислорода на определенной глубине в водной толще.

Рисунок IX.C

Вертикальное распределение потерь кислорода за десятилетие

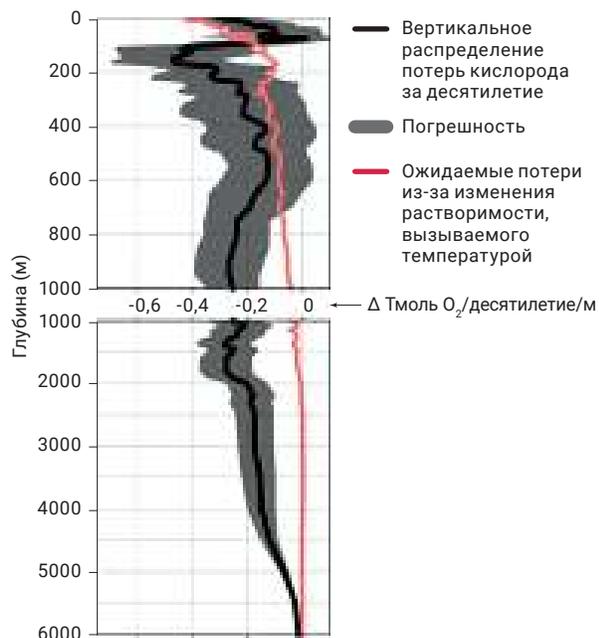
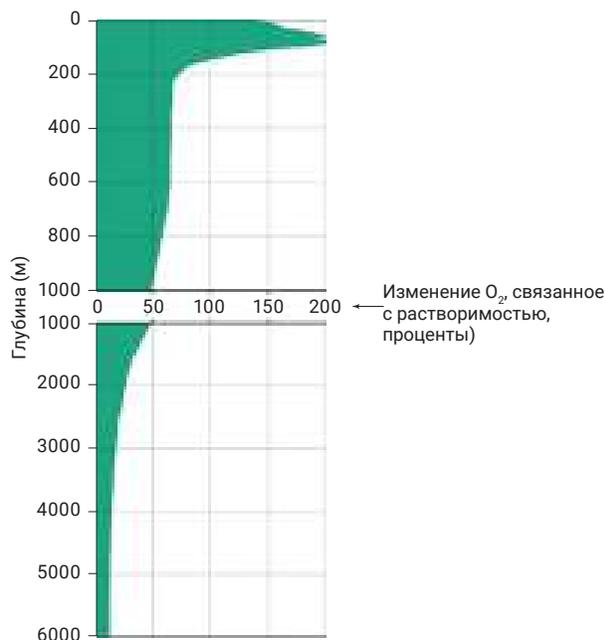


Рисунок IX.D

Суммарная потеря кислорода в водной толще из-за изменения растворимости в процентах от наблюдаемой дезоксигенации



Примечание. Заход за 100-процентную линию указывает на процессы, увеличивающие содержание кислорода в верхних слоях океана и противодействующих потеплению.

Источник: Schmidtko and others, 2017.

Площадь зон кислородного минимума в последние десятилетия, как правило, увеличивалась, хотя отмечаются значительные межрегиональные различия (Diaz and Rosenberg, 2008). Зоны кислородного минимума могут потенциально способствовать изменению климата, поскольку из-за процессов денитрификации в условиях аноксии оттуда выделяются большие объемы закиси азота — мощного парникового газа (например, Codispoti, 2010; Santoro and others, 2011). В частности, зоны кислородного минимума выросли в Тихом и Индийском океанах.

2.7. Морской лед

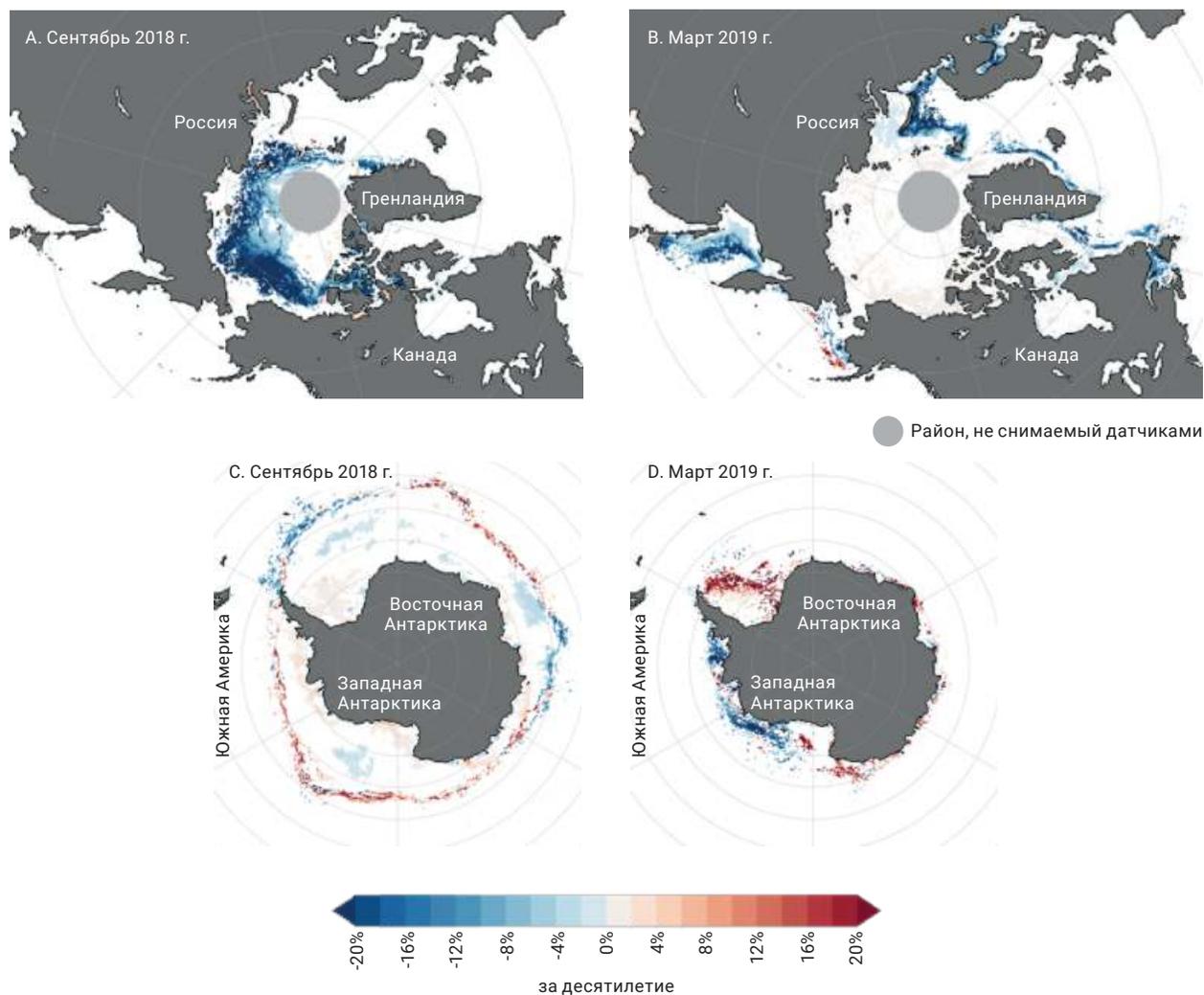
Морской лед в Арктике служил одним из самых зримых индикаторов изменения климата. В марте (северная зима) площадь арктического морского льда достигает максимальной площади $15,4 \times 10^6$ км², а в сентябре (северное лето) она уменьшается до $6,4 \times 10^6$ км². Каждое десятилетие площадь арктического морского льда сокращается на $-2,7 \pm 0,4$ процента зимой (март 1979–2019 годов) и на $-12,8 \pm 2,3$ процента летом (сентябрь 1979–2018 годов) (см. рисунок X; Feterrer and others, 2017). При этом если зимой тенденции к снижению равномернее распределены вокруг полюса, то летом эти тенденции почти в два раза интенсивнее проявляются в тихоокеанском секторе Северного Ледовитого океана (см. рисунок X, верхняя карта справа). В этом районе изменения в ветровых потоках, связанные с Арктическим колебанием, всё чаще выдувают лед из прибрежных районов в Северную Атлантику (Rigor and others, 2002), оставляя после себя гораздо более молодой и тонкий ледяной пак (Rigor and Wallace, 2004). Ротрок и др. (Rothrock and others, 1999; у этих авторов сравниваются результаты наблюдений, выполненных подводными лодками в 1958–1976 и в 1993–1997 годах) сообщают, что толщина арктического морского льда уменьшилась как минимум на 40 процентов, а Квок (Kwok, 2018) указывает, что эти изменения сохраняются и сегодня. Наблюдаемая динамика протяженности (площади) и толщины морского льда вместе говорит о том, что с 1979 года объем арктического морского льда уменьшился на более чем 75 процентов. Эта оценка совпадает с результатами многих моделирующих исследований, например выполненных с помощью системы PIOMAS (Pan-Arctic Ice

Ocean Modeling and Assimilation System) (Zhang and Rothrock, 2003; Schweiger and others, 2011). В этих исследованиях подсчитано, что объем арктического морского льда, усредненное значение которого за 1979–2017 годы составляло в сентябре $11,5 \times 10^3 \text{ км}^3$, уменьшался в пересчете на десятилетие на $-2,8 \times 10^3 \text{ км}^3$, а в 2010 году был зафиксирован его рекордный минимум.

В Антарктике морской лед достигает максимальной протяженности $19\text{--}20 \times 10^6 \text{ км}^2$ в сентябре (южная зима) и уменьшается до минимума $3 \times 10^6 \text{ км}^2$ в феврале (южное лето). Динамика протяженности антарктического морского льда

составляет $0,6 \pm 0,6$ процента за десятилетие летом (февраль 1979–2019 годов) и $1,1 \pm 3,7$ зимой (сентябрь 1979–2018 годов). С 1979 по 2015 год нетто-протяженность морского льда в Антарктике показала статистически значимое увеличение, а начиная с 2016 года она была последовательно ниже средней и стала показывать новые рекордно низкие значения. Поскольку эта внезапная перемена в поведении ледяного покрова Антарктики во многом вызвана изменениями в смешанном слое океана, весьма актуально расширить это объяснение. Общие нетто-изменения в морском ледяном покрове

Рисунок X
Тренды концентрации морского льда в Арктике и Антарктике (в процентах за десятилетие)



В верхнем ряду показана динамика для Арктики, в нижнем — для Антарктики; в левом столбце показана динамика за сентябрь 1979–2018 годов, в правом — за март 1979–2019 годов.

Источник: Национальный центр данных по снегу и льду, Колорадский университет в Боулдере; Fetterer and others, 2017.

отмечались сильными региональными различиями. Несовпадения в поведении морского льда между Арктикой и Антарктикой объясняются ограничивающими факторами географического происхождения. Зимой максимальная протяженность морского льда лимитируется Антарктическим циркумполярным течением и глубинной батиметрией Южного океана (Nghiem and others, 2016), а летом морской лед может отступать только до кромки Антарктического континента. Однако рисунок X (нижний ряд) указывает на ярче выраженные региональные тенденции. В море Уэдделла протяженность морского льда летом увеличивается, а в морях Беллинсгаузена и Амундсена (Западная Антарктика), где ледяной щит более уязвим для океанических процессов, — сокращается. Эти региональные тенденции в протяженности морского льда связаны с изменениями в ветровых потоках (и океанских течениях), связанными с Южным кольцевым режимом и «Эль-Ниньо —

Южным колебанием» (Parkinson, 2019 (плюс приводимые там источники)). Зафиксированные за 40 лет данные говорят о том, что в Антарктике происходило постепенное увеличение морского льда, за которым последовало его сокращение, причем темпы этого сокращения намного превышают темпы, наблюдаемые в Арктике.

Поскольку морской лед уже находится в океане, удельный вклад его таяния в подъем уровня моря незначителен. Однако морской лед действует как экран, предотвращающий нагревание океана в результате инсоляции, и как подпора для сухопутного льда, которая, заканчиваясь над океаном, не дает теплым водам и волнам с океана размывать ледяной щит суши (Masson and others, 2018). Утрата морского льда сделало многие такие щиты более уязвимыми и увеличила скорость подъема уровня моря из-за их таяния (например, Stewart and others, 2019).

3. Пробелы в знаниях

3.1. Уровень моря

В отличие от среднемирового и региональных уровней моря, измеряемых с помощью спутниковой альтиметрии, изменения прибрежного уровня моря остаются слабоизученными. Так, прибрежные зоны сильно недоохвачены мареографами и на настоящий момент обычно не становятся (в 10-километровой полосе от побережья) объектом альтиметрической съемки со спутников из-за того, что на радиолокационном сигнале сказывается близость земли (Cipollini and others, 2018). Однако специальная дообработка данных такой съемки позволяет сейчас оценивать изменение уровня моря очень близко к побережью (Martí and others, 2019). В скором будущем систематическое применение технологически новых радиолокаторов с синтезированной апертурой, которые внедрены на спутниках, запущенных недавно Европейским космическим агентством (например, CryoSat-2 и Sentinel-3), тоже позволит оценивать изменения в уровне моря совсем близко к побережью.

3.2. Циркуляция океана

Сохраняются определенные факторы, лимитирующие нынешнюю сеть наблюдений за океа-

ном, особенно за прибрежными областями, окраинными морями и глубоководными (глубже 2000 м) океанскими акваториями. В будущем важно создать глубоководную систему для мониторинга изменений в океане на глубинах ниже 2000 м, что позволило бы целиком оценить энергетический дисбаланс Земли (Johnson and others, 2015). В настоящее время пограничные течения не полностью обследуются системой Argo, поскольку буи могут быстро проходить через энергетические области, например области западных пограничных течений и Антарктического циркумполярного течения, способные вызвать обратный каскад кинетической энергии и влиять на крупномасштабную низкочастотную изменчивость (Wang and others, 2017). Получение достаточно репрезентативных результатов потребует настроить наблюдательные системы на смесь из разных способов наблюдений, адаптируемых к различным условиям эксплуатации. Необходимо налаживать и поддерживать наблюдения, опирающиеся сразу на несколько платформ, что позволяет выполнять перекрестную проверку и калибровку (Meysignac and others, 2019), включая валидацию климатических моделей.

3.3. Температура морской поверхности и теплосодержание океана

Фиксируемые температуры регулируются режимами естественной климатической изменчивости, такими как Тихоокеанское десятилетнее колебание (England and others, 2014; Kosaka and Xie, 2013), «Эль-Ниньо — Южное колебание» (Cheng and others, 2018) и Атлантическое многодесятилетнее колебание (Garcia-Soto and Pingree, 2012). Анализы, выполняемые на основе результатов наблюдений, нужно сопровождать оговоркой о том, что фиксирование данных началось всё-таки недавно: типичная продолжительность Атлантического многодесятилетнего колебания и Тихоокеанского десятилетнего колебания составляет примерно 30–70 лет, что сопоставимо с периодом, охватываемым достоверно записанными данными о теплосодержании океана (с конца 1950-х годов, т. е. примерно 60 лет). Чтобы лучше разобраться в изменениях и изменчивости температуры морской поверхности и теплосодержания океана в разных временных масштабах, в будущем анализ результатов наблюдения предлагается комбинировать с анализом моделей (Cheng and others, 2018; Liu and others, 2016). Еще одной сложностью, мешающей полностью разобраться в изменениях температуры морской поверхности и теплосодержания океана, является нехватка глобальных долгосрочных наблюдений за потоками поверхностной энергии. Недостаёт знаний о механизмах и обратных связях «Эль-Ниньо — Южного колебания», а также о разнообразных проявлениях этого феномена применительно к глобальному потеплению.

3.4. Солёность

Наблюдаемые изменения солёности надёжно учитываются к настоящему моменту во всех анализах, основанных на наблюдениях, однако существуют пробелы в знаниях о точном источнике этих изменений, особенно в прибрежных регионах, которые связаны с наземными и криосферными хранилищами воды. Во многих исследованиях, построенных на наблюдениях и моделировании, изменения в открытом океане убедительно увязываются с изменением влагооборота, вызванным поверхностным воздейст-

вием, причем главным побудителем изменений признается одновременное усиление режимов испарения и осадков. Продолжающиеся изменения будут существенно сказываться на морских экосистемах, в том числе на приспособленности экологически и экономически значимых биологических видов, на их выживаемости и на сроках наступления событий их жизненного цикла.

3.5. Закисление океана

Необходимы дополнительные исследования, дающие больше информации для построения моделей и позволяющие улучшить прогнозирование реакции земной системы на закисление океана, его воздействия на морские популяции и сообщества, а также способность организмов акклиматизироваться или адаптироваться к изменениям в химии океана, вызванным закислением последнего. Сохраняется острая потребность в более обширном мониторинге прибрежных областей, в получении высококачественных и недорогих датчиков для этого мониторинга, в расширении доступа к спутниковым данным и в исследовании долгосрочных тенденций, происходивших в химии океана до того, как начались фиксируемые наблюдения (выяснение закисления методами палеоокеанологии). Хорошим примером является расширение программы Argo в виде охвата ею биогеохимических параметров, включая pH⁶.

3.6. Морской лёд

Поддержание сетей натуральных наблюдений в полярных областях является непростой задачей в силу суровости внешних условий, а также того, что доступ обычно ограничивается весенним и летним сезонами. Выяснение геофизических параметров с помощью спутников улучшается, но для подтверждения результатов спутниковой съёмки всё же требуются натурные наблюдения. В частности, натурные измерения характеристик снега на морском льду и толщины морского льда неопределимы для того, чтобы полнее разобраться в физических процессах, происходящих в полярных областях. В Арктике, а тем более в Антарктике такие измерения редки.

⁶ См. <https://biogeochemical-argo.org>.

4. Резюме

Главными причинами ускоряющегося сейчас подъема среднемирового уровня моря являются потепление океана и таяние льда на суше. С 1993 года (начало эры альтиметрии) среднемировой уровень моря поднимался в среднем со скоростью $3,1 \pm 0,3$ мм в год при отчетливом приложенном ускорении примерно $0,1$ мм в год⁷. Спутниковая альтиметрия также выявила сильную региональную вариабельность темпов изменения уровня моря: в некоторых регионах региональные его темпы в два-три раза превышают среднемировые значения. Из-за глобального потепления многие системы циркуляции также претерпевают изменения.

Изменения высоты уровня моря, измеренные с помощью высокоточной спутниковой альтиметрии, подсказывают, что в северной и южной частях Тихого океана происходит расширение и усиление субтропических круговых течений. Кроме того, исследования показывают, что многие океанские течения, включая Антарктическое циркумполярное течение и субтропические круговые течения в Южном полушарии, а также западные пограничные течения во всех океанских бассейнах, сдвигаются к полюсам. Атлантическая меридиональная опрокидывающая циркуляция (одна из основных систем океанических течений) уже ослабла и, скорее всего, продолжит слабеть и далее. Последствия этих изменений включают региональный подъем уровня моря, перемены в распределении питательных веществ и поглощении углерода океаном, а также обратное воздействие на атмосферу.

Среднемировые данные о температуре океанской поверхности указывают на то, что с 1900 по 2018 год происходило потепление, составляющее в пересчете на столетие $0,62 \pm 0,12$ °C. За последнее десятилетие (2009–2018 годы) скорость потепления океанской поверхности океана составляет в пересчете на столетие $2,56 \pm 0,68$ °C. Потепление происходит в большей части Мирового океана, но есть несколько акваторий (например, в Северной Атлантике), где проявляется долговременное похолодание. С 1955 года верхний 2000-метровый слой океа-

нской воды также демонстрирует признаки устойчивого потепления, о чем свидетельствует рост теплосодержания в океане.

Пространственная картина многодесятилетних изменений в солёности служит убедительным доказательством того, что происходившее за этот период потепление сопровождалось изменениями глобальных масштабов во влагообороте над Мировым океаном. Установленные изменения воспроизводятся во всех анализах наблюдений за долгосрочными изменениями солёности, а недавно они были воспроизведены и в имитационном моделировании изменения климата под действием побудителей. Эти изменения проявляются в повышении солёности приповерхностных слоев в сильносоленых субтропических акваториях и соответствующем опреснении таких слабосоленых акваторий, как полюса и Западно-Тихоокеанский теплый бассейн. Сходные изменения наблюдаются и в подповерхностных слоях океана: аналогичные процессы опреснения слабосоленых вод и повышения солёности сильносоленых вод представлены и в Атлантическом, и в Тихом, и в Индийском океанах, равно как и во всех акваториях Южного океана.

После промышленной революции pH поверхностных слоев Мирового океана снизился в среднем примерно на $0,1$, т. е. произошло примерно 30-процентное повышение кислотности. Прогнозируется, что если глобальные выбросы углерода не будут значительно сокращены, то в течение следующего столетия pH океана снизится еще на $0,3$. Эти изменения прослеживаются по расширенным временным рядам океанских данных, и, судя по всему, их темпы не имеют себе равных по крайней мере за последние 66 млн лет. Время появления сигнала колеблется от 8 до 15 лет для участков в открытом океане и от 16 лет до 41 года для прибрежных участков, вызывая необходимость настроиться на записывание результатов долгосрочных наблюдений, особенно в прибрежной зоне, где располагаются морские ресурсы, наиболее важные с коммерческой и культурной точек зрения.

⁷ См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

Уровни кислорода в океане за последние десятилетия снизились, демонстрируя сильные региональные вариации. При этом что совокупное содержание кислорода сократилось за пять десятилетий на примерно 2 процента, его содержание в прибрежных районах или вблизи зон кислородного минимума отмечается более значительными вариациями. Прибрежные изменения вызваны в основном речным стоком, а изменения в открытом океане порождаются, скорее всего, сочетанием изменений в океанской циркуляции и в биогеохимических циклах. В приповерхностном слое главной причиной потери кислорода является снижение растворимости, обусловленное температурой, однако потеря кислорода в океанском глубоководье должна объясняться действием других процессов. Дальнейшее снижение содержания кислорода в зонах кислородного минимума и вблизи них может привести к обратному воздействию на климат в виде последующего выброса парниковых газов.

Морской лед покрывает около 15 процентов Мирового океана и влияет на глобальный тепловой

баланс и глобальную термохалинную циркуляцию. Общая протяженность морского льда в Арктике стремительно сокращается, тогда как в Антарктике сократительные тренды незначительны. Каждое десятилетие площадь арктического морского льда сокращается на $-2,7 \pm 0,4$ процента зимой и на $-2,8 \pm 2,3$ процента летом. Тренды же, характеризующие общую протяженность антарктического морского льда, незначительны: $0,6 \pm 0,6$ процента за десятилетие летом и $1,1 \pm 3,7$ зимой. Впечатляет пространственное распределение этих тенденций в региональном масштабе. В Арктике летние тренды наиболее заметны в тихоокеанском секторе Северного Ледовитого океана, а в Антарктике они показывают усиление в море Уэдделла и ослабление в западно-антарктическом секторе Южного океана. Пространственное распределение перемен в протяженности морского льда объясняется изменениями в ветровых и океанских течениях, связанными с Арктическим колебанием в Северном полушарии и с Южным кольцевым режимом и Эль-Ниньо в Южном полушарии.

Справочная литература

Уровень моря

- Chen, Xianyao, and others (2017). The increasing rate of global mean sea-level rise during 1993–2014. *Nature Climate Change*, vol. 7, No. 7, p. 492.
- Cipollini, Paolo, and others (2018). Satellite altimetry in coastal regions. In *Satellite Altimetry over Oceans and Land Surfaces*, eds. Detlef Stammer and Anny Cazenave, pp. 343–373. CRC Press.
- Dieng, H.B., and others (2017). New estimate of the current rate of sea level rise from a sea level budget approach. *Geophysical Research Letters*, vol. 44, No. 8, pp. 3744–3751.
- Legeais, Jean-François, and others (2018). An improved and homogeneous altimeter sea level record from the ESA Climate Change Initiative. *Earth System Science Data*, vol. 10, pp. 281–301.
- Marti, Florence, and others (2019). Altimetry-based sea level trends along the coasts of Western Africa. *Advances in Space Research*.
- Nerem, Robert S., and others (2018). Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 9, pp. 2022–2025.
- Woodworth, Philip L., and others (2019). Forcing factors affecting sea level changes at the coast. *Surveys in Geophysics*, pp. 1–47.
- World Climate Research Programme Global Sea Level Budget Group (2018). Global sea-level budget 1993–present. *Earth System Science Data*, vol. 10, No. 3, pp. 1551–1590. <https://doi.org/10.5194/essd-10-1551-2018>.
- Yi, Shuang, and others (2017). Acceleration in the global mean sea level rise: 2005–2015. *Geophysical Research Letters*, vol. 44, No. 23, p. 11905.

Циркуляция океана

- Alory, Gaël, and others (2007). Observed temperature trends in the Indian Ocean over 1960–1999 and associated mechanisms. *Geophysical Research Letters*, vol. 34, No. 2.
- Caesar, Levke, and others (2018). Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature*, vol. 556, No. 7700, p. 191.
- Cai, Wenju (2006). Antarctic ozone depletion causes an intensification of the Southern Ocean super-gyre circulation. *Geophysical Research Letters*, vol. 33, No. 3.
- Dima, Mihai, and Gerrit Lohmann (2010). Evidence for two distinct modes of large-scale ocean circulation changes over the last century. *Journal of Climate*, vol. 23, No. 1, pp. 5–16.
- Dohan, Kathleen, and others (2010). Measuring the global ocean surface circulation with satellite and in situ observations. *Proceedings of OceanObs*, vol. 9.
- Duchez, Aurélie, and others (2016). Drivers of exceptionally cold North Atlantic Ocean temperatures and their link to the 2015 European heat wave. *Environmental Research Letters*, vol. 11, No. 7, p. 074004.
- Frackja-Williams, Eleanor (2015). Estimating the Atlantic overturning at 26 N using satellite altimetry and cable measurements. *Geophysical Research Letters*, vol. 42, No. 9, pp. 3458–3464.
- Freeland, Howard, and others (2010). Argo – a decade of progress. *Proceedings of OceanObs*, vol. 9, pp. 357–370.
- Gille, Sarah T. (2008). Decadal-scale temperature trends in the Southern Hemisphere ocean. *Journal of Climate*, vol. 21, No. 18, pp. 4749–4765.
- Goddard, Paul B., and others (2015). An extreme event of sea-level rise along the Northeast coast of North America in 2009–2010. *Nature Communications*, vol. 6, No. 6346.
- Hill, K.L., and others (2008). Wind forced low frequency variability of the East Australia Current. *Geophysical Research Letters*, vol. 35, No. 8.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of IPCC the Intergovernmental Panel on Climate Change*. eds. Thomas F. Stocker and others Cambridge: Cambridge University Press.
- Jackson, Laura C., and others (2016). Recent slowing of Atlantic overturning circulation as a recovery from earlier strengthening. *Nature Geoscience*, vol. 9, No. 7, p. 518.
- Latif, Mojib, and others (2006). Is the thermohaline circulation changing? *Journal of Climate*, vol. 19, No. 18, pp. 4631–4637.
- Lozier, M.S., and others (2017). Overturning in the Subpolar North Atlantic Program: A new international ocean observing system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 98, No. 4, pp. 737–752.
- Mercier, H., and others (2015). Variability of the meridional overturning circulation at the Greenland–Portugal OVIDE section from 1993 to 2010. *Progress in Oceanography*, vol. 132, pp. 250–261.
- Qiu, Bo, and Shuiming Chen (2012). Multidecadal sea level and gyre circulation variability in the northwestern tropical Pacific Ocean. *Journal of Physical Oceanography*, vol. 42, No. 1, pp. 193–206.
- Rahmstorf, Stefan, and others (2015). Exceptional twentieth-century slowdown in Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature Climate Change*, vol. 5, No. 5, p. 475.
- Sherwood, Owen, and others (2011). Nutrient regime shift in the western North Atlantic indicated by compound-specific $\delta^{15}\text{N}$ of deep-sea gorgonian corals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 108, pp. 1011–1015. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004904108>.
- Smeed, D.A., and others (2014). Observed decline of the Atlantic meridional overturning circulation 2004–2012. *Ocean Science*, vol. 10, No. 1, pp. 29–38.

- Smeed, D.A., and others (2018). The North Atlantic Ocean is in a state of reduced overturning. *Geophysical Research Letters*, vol. 45, No. 3, pp. 1527–1533.
- Thibodeau, B., and others (2018). Last Century Warming Over the Canadian Atlantic Shelves Linked to Weak Atlantic Meridional Overturning Circulation. *Geophysical Research Letters*, vol. 45, pp. 12376–12385. <https://doi.org/10.1029/2018gl080083>.
- Thornalley, David J.R., and others (2018). Anomalously weak Labrador Sea convection and Atlantic overturning during the past 150 years. *Nature*, vol. 556, No. 7700, p. 227.
- Timmermann, Axel, and others (2010). Wind effects on past and future regional sea level trends in the southern Indo-Pacific. *Journal of Climate*, vol. 23, No. 16, pp. 4429–4437.
- Wu, Lixin, and others (2012). Enhanced warming over the global subtropical western boundary currents. *Nature Climate Change*, vol. 2, No. 3, p. 161.
- Zanna, L., and others (2019). Global reconstruction of historical ocean heat storage and transport. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 116, p. 1126. <https://doi.org/10.1073/pnas.1808838115>.
- Zickfeld, Kirsten, and others (2008). Carbon-cycle feedbacks of changes in the Atlantic meridional overturning circulation under future atmospheric CO₂. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 22, No. 3.

Температура моря и теплосодержание океана

- Abraham, John P., and others (2013). A review of global ocean temperature observations: Implications for ocean heat content estimates and climate change. *Reviews of Geophysics*, vol. 51, No. 3, pp. 450–483.
- Bindoff, Nathaniel L., and others (2013). Detection and attribution of climate change: from global to regional.
- Boyer, Tim, and others (2016). Sensitivity of global upper-ocean heat content estimates to mapping methods, XBT bias corrections, and baseline climatologies. *Journal of Climate*, vol. 29, No. 13, pp. 4817–4842.
- Caesar, Levke, and others (2018). Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature*, vol. 556, No. 7700, p. 191.
- Cheng, Lijing, and others (2016). XBT Science: Assessment of instrumental biases and errors. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 97, No. 6, pp. 924–933.
- Cheng, Lijing, and others (2017a). Improved estimates of ocean heat content from 1960 to 2015. *Science Advances*, vol. 3, No. 3, p. e1601545.
- Cheng, Lijing, and others (2017b). Taking the pulse of the planet. *Earth and Space Science News, Eos*, vol. 99, pp. 14–16.
- Cheng, Lijing, and others (2018). Decadal Ocean Heat Redistribution Since the Late 1990s and Its Association with Key Climate Modes. *Climate*, vol. 6, No. 4, p. 91.
- Cheng, Lijing, and others (2019a). 2018 Continues Record Global Ocean Warming. *Advances in Atmospheric Sciences*, vol. 36, No. 3, pp. 249–252.
- Cheng, Lijing, and others (2019b). How fast are the oceans warming? *Science*, vol. 363, No. 6423, pp. 128–129.
- Dewitte, B., and others. 2012. Change in El Niño flavours over 1958–2008: Implications for the long-term trend of the upwelling off Peru. *Deep-Sea Research II*, 77–80 (2012), pp. 143–156.
- Domingues, Catia M., and others (2008). Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise. *Nature*, vol. 453, No. 7198, p. 1090.
- Durack, Paul J. (2015). Ocean salinity and the global water cycle. *Oceanography*, vol. 28, No. 1, pp. 20–31.
- England, Matthew H., and others (2014). Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus. *Nature Climate Change*, vol. 4, No. 3, p. 222.

- Garcia-Soto, Carlos, and Robin D. Pingree (2012). Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) and sea surface temperature in the Bay of Biscay and adjacent regions. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol. 92, No. 2, pp. 213–234.
- Good, S.A. (2020): ESA Sea Surface Temperature Climate Change Initiative (SST_cci): GHRSSST Multi-Product ensemble (GMPE), v2.0. Centre for Environmental Data Analysis.
- Gutiérrez, D., and others. 2016. Productivity and Sustainable Management of the Humboldt Current Large Marine Ecosystem under Climate Change.
- Hansen, James, and others (2011). Earth's energy imbalance and implications. *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 11, No. 24, pp. 13421–13449.
- Hartmann, Dennis L., and others (2013). Observations: atmosphere and surface. In *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 159–254. Cambridge University Press.
- Hirahara, Shoji, and others (2014). Centennial-scale sea surface temperature analysis and its uncertainty. *Journal of Climate*, vol. 27, pp. 57–75.
- Hu, Shineng, and Alexey V. Fedorov (2017). The extreme El Niño of 2015–2016 and the end of global warming hiatus. *Geophysical Research Letters*, vol. 44, No. 8, pp. 3816–3824.
- Huang, Boyin, and others (2017). Extended reconstructed sea surface temperature, version 5 (ERSSTv5): upgrades, validations, and intercomparisons. *Journal of Climate*, vol. 30, No. 20, pp. 8179–8205.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2019) = Межправительственная группа экспертов по изменению климата (2019). *Океан и криосфера в условиях изменяющегося климата: специальный доклад МГЭИК: резюме для политиков*, под ред. Ханса-Отто Пёртнера и др., Межправительственная группа экспертов по изменению климата.
- Ishii, Masayoshi, and others (2005). Objective analyses of sea-surface temperature and marine meteorological variables for the 20th century using ICOADS and the Kobe collection. *International Journal of Climatology*, vol. 25, No. 7, pp. 865–879.
- Ishii, Masayoshi, and others (2017). Accuracy of global upper ocean heat content estimation expected from present observational data sets. *Sola*, vol. 13, pp. 163–167.
- Johnson, Gregory C., and others (2015). Informing deep Argo array design using Argo and full-depth hydrographic section data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 32, No. 11, pp. 2187–2198.
- Kosaka, Yu, and Shang-Ping Xie (2013). Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling. *Nature*, vol. 501, No. 7467, pp. 403.
- Levitus, Sydney, and others (2012). World ocean heat content and thermosteric sea level change (0–2000 m), 1955–2010. *Geophysical Research Letters*, vol. 39, No. 10.
- Liu, Wei, and others (2016). Tracking ocean heat uptake during the surface warming hiatus. *Nature Communications*, vol. 7, p. 10926.
- Meysignac, Benoit, and others (2019). Measuring global ocean heat content to estimate the earth energy imbalance. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 432
- Rayner, N.A.A., and others (2003). Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 108, No. D14.
- Rhein, M., and others (2013). Observations: ocean. In *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 159–254. Cambridge University Press.
- Sallée, Jean-Baptiste (2018). Southern Ocean warming. *Oceanography*, vol. 31, No. 2, pp. 52–62.
- Swart, Neil C., and others (2018). Recent Southern Ocean warming and freshening driven by greenhouse gas emissions and ozone depletion. *Nature Geoscience*, vol. 11, No. 11, p. 836.

- Trenberth, Kevin E., and others (2018). Hurricane Harvey links to ocean heat content and climate change adaptation. *Earth's Future*, vol. 6, No. 5, pp. 730–744.
- Von Schuckmann, K., and others (2016). An imperative to monitor Earth's energy imbalance. *Nature Climate Change*, vol. 6, No. 2, p. 138.
- Wang, Gongjie, and others (2017). Consensuses and discrepancies of basin-scale ocean heat content changes in different ocean analyses. *Climate Dynamics*, vol. 50, Nos. 7–8, pp. 2471–2487.

Соленость

- Berger, Michael, and others (2002). Measuring ocean salinity with ESA's SMOS Mission—advancing the science.
- Bindoff, Nathaniel L., and others (2007). Observations: oceanic climate change and sea level.
- Boutin, Jacqueline, and others (2013). Sea surface freshening inferred from SMOS and ARGO salinity: impact of rain. *Ocean Science*, vol. 9, No. 1.
- Boutin, Jacqueline, and others (2014). Sea surface salinity under rain cells: SMOS satellite and in situ drifters observations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 119, No. 8, pp. 5533–5545.
- Boyer, Timothy P., and others (2005). Linear trends in salinity for the World Ocean, 1955–1998. *Geophysical Research Letters*, vol. 32, No. 1.
- Drushka, Kyla, and others (2016). Understanding the formation and evolution of rain-formed fresh lenses at the ocean surface. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 121, No. 4, pp. 2673–2689.
- Durack, Paul J. (2015). Ocean salinity and the global water cycle. *Oceanography*, vol. 28, No. 1, pp. 20–31.
- Durack, Paul J., and Susan E. Wijffels (2010). Fifty-year trends in global ocean salinities and their relationship to broad-scale warming. *Journal of Climate*, vol. 23, No. 16, pp. 4342–4362.
- Durack, Paul J., and others (2013). Chapter 28: Long-term Salinity Changes and Implications for the Global Water Cycle. In *Ocean Circulation and Climate*, eds. Gerold Siedler and others, vol. 103, pp. 727–57. International Geophysics. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391851-2.00028-3>.
- Durack, Paul J., and others (2012). Ocean salinities reveal strong global water cycle intensification during 1950 to 2000. *Science*, vol. 336, No. 6080, pp. 455–458.
- Grodsky, Semyon A., and others (2014). Year-to-year salinity changes in the Amazon plume: Contrasting 2011 and 2012 Aquarius/SACD and SMOS satellite data. *Remote Sensing of Environment*, vol. 140, pp. 14–22.
- Held, Isaac M., and Brian J. Soden (2006). Robust responses of the hydrological cycle to global warming. *Journal of Climate*, vol. 19, No. 21, pp. 5686–5699.
- Helm, Kieran P., and others (2010). Changes in the global hydrological-cycle inferred from ocean salinity. *Geophysical Research Letters*, vol. 37, No. 18.
- Hosoda, Shigeki, and others (2009). Global surface layer salinity change detected by Argo and its implication for hydrological cycle intensification. *Journal of Oceanography*, vol. 65, No. 4, pp. 579–596.
- Lagerloef, Gary, and others (2008). The Aquarius/SAC-D mission: Designed to meet the salinity remote-sensing challenge. *Oceanography*, vol. 21, No. 1, pp. 68–81.
- Levang, Samuel J., and Raymond W. Schmitt (2015). Centennial changes of the global water cycle in CMIP5 models. *Journal of Climate*, vol. 28, No. 16, pp. 6489–6502.
- Rhein, M., and others (2013). Observations: ocean. In *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 159–254. Cambridge University Press.
- Skirris, Nikolaos, and others (2014). Salinity changes in the World Ocean since 1950 in relation to changing surface freshwater fluxes. *Climate Dynamics*, vol. 43, Nos. 3–4, pp. 709–736.

- Tang, Wenqing, and others (2017). Validating SMAP SSS with in situ measurements. *Remote Sensing of Environment*, vol. 200, pp. 326–340.
- Terray, Laurent, and others (2012). Near-surface salinity as nature's rain gauge to detect human influence on the tropical water cycle. *Journal of Climate*, vol. 25, No. 3, pp. 958–977.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vinogradova, Nadya T., and Rui M. Ponte (2013). Clarifying the link between surface salinity and freshwater fluxes on monthly to interannual time scales. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 118, No. 6, pp. 3190–3201.
- Zika, Jan D., and others (2015). Maintenance and broadening of the ocean's salinity distribution by the water cycle. *Journal of Climate*, vol. 28, No. 24, pp. 9550–9560.

Закисление океана

- Baumann, Hannes (2019). Experimental assessments of marine species sensitivities to ocean acidification and co-stressors: how far have we come? *Canadian Journal of Zoology*, vol. 97, No. 5, pp. 399–408.
- Bednaršek, Nina, and others (2016). Pteropods on the edge: Cumulative effects of ocean acidification, warming, and deoxygenation. *Progress in Oceanography*, vol. 145, pp. 1–24.
- Borges, Alberto V., and Nathalie Gypensb (2010). Carbonate chemistry in the coastal zone responds more strongly to eutrophication than ocean acidification. *Limnology and Oceanography*, vol. 55, No. 1, pp. 346–353.
- Breitburg, Denise L., and others (2015). And on top of all that... Coping with ocean acidification in the midst of many stressors. *Oceanography*, vol. 28, No. 2, pp. 48–61.
- Caldeira, Ken, and Michael E. Wickett (2003). Oceanography: anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, vol. 425, No. 6956, p. 365.
- Campbell, Anna L., and others (2016). Ocean acidification changes the male fitness landscape. *Scientific Reports*, vol. 6, p. 31250.
- Cross, Jessica N., and others (2014). Annual sea-air CO₂ fluxes in the Bering Sea: Insights from new autumn and winter observations of a seasonally ice-covered continental shelf. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 119, No. 10, pp. 6693–6708.
- Dodd, Luke F., and others (2015). Ocean acidification impairs crab foraging behaviour. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 282, No. 1810, p. 20150333.
- Feely, Richard A., and others (2004). Impact of anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ system in the oceans. *Science*, vol. 305, No. 5682, pp. 362–366.
- Feely, Richard A., and others (2008). Evidence for upwelling of corrosive “acidified” water onto the continental shelf. *Science*, vol. 320, No. 5882, pp. 1490–1492.
- Feely, Richard A., and others (2009). Ocean acidification: Present conditions and future changes in a high-CO₂ world. *Oceanography*, vol. 22, No. 4, pp. 36–47.
- Gruber, Nicolas, and others (2019). The oceanic sink for anthropogenic CO₂ from 1994 to 2007. *Science*, vol. 363, No. 6432, pp. 1193–1199.
- Hoegh-Guldberg, Ove, and others (2017). Coral reef ecosystems under climate change and ocean acidification. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 158.
- Hönisch, Bärbel, and others (2012). The geological record of ocean acidification. *Science*, vol. 335, No. 6072, pp. 1058–1063.
- Jewett, L., and A. Romanou (2017). Ocean acidification and other ocean changes. *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment*, vol. 1, pp. 364–392.

- Le Quéré, Corinne, and others (2016). Global carbon budget 2016.
- Lemasson, Anaëlle J., and others (2017). Linking the biological impacts of ocean acidification on oysters to changes in ecosystem services: a review. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 492, pp. 49–62.
- McElhany, Paul (2017). CO₂ sensitivity experiments are not sufficient to show an effect of ocean acidification. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 74, No. 4, pp. 926–928.
- Munday, Philip L., and others (2009). Ocean acidification impairs olfactory discrimination and homing ability of a marine fish. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, No. 6, pp. 1848–1852.
- Murray, Christopher S. (2019). An Experimental Evaluation of the Sensitivity of Coastal Marine Fishes to Acidification, Hypoxia, and Warming.
- Orr, James C., and others (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, vol. 437, No. 7059, pp. 681–686.
- Riebesell, Ulf, and others (2017). Competitive fitness of a predominant pelagic calcifier impaired by ocean acidification. *Nature Geoscience*, vol. 10, No. 1, p. 19.
- Sutton, Adrienne J., and others (2019). Autonomous seawater pCO₂ and pH time series from 40 surface buoys and the emergence of anthropogenic trends. *Earth System Science Data*, p. 421.
- Zeebe, Richard E., and others (2016). Anthropogenic carbon release rate unprecedented during the past 66 million years. *Nature Geoscience*, vol. 9, No. 4, pp. 325–329.

Растворенный кислород

- Bianchi, Daniele, and others (2013). Intensification of open-ocean oxygen depletion by vertically migrating animals. *Nature Geoscience*, vol. 6, No. 7, pp. 545–548.
- Carpenter, James H. (1965). The accuracy of the Winkler method for dissolved oxygen analysis. *Limnology and Oceanography*, vol. 10, No. 1, pp. 135–140.
- Codispoti, Louis A. (2010). Interesting times for marine N₂O. *Science*, vol. 327, No. 5971, pp. 1339–1340.
- Diaz, Robert J., and Rutger Rosenberg (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, vol. 321, No. 5891, pp. 926–929.
- Ito, Takamitsu, and others (2017). Upper ocean O₂ trends: 1958–2015. *Geophysical Research Letters*, vol. 44, No. 9, pp. 4214–4223.
- Keeling, Ralph F., and Hernan E. Garcia (2002). The change in oceanic O₂ inventory associated with recent global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 99, No. 12, pp. 7848–7853.
- Keeling, Ralph F., and others (2010). Ocean deoxygenation in a warming world. *Annual Review of Marine Science*, vol. 2, pp. 199–229.
- Knapp, George P., and others (1991). Iodine losses during Winkler titrations. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, vol. 38, No. 1, pp. 121–128.
- Levin, L.A. (2018). Manifestation, Drivers, and Emergence of Open Ocean Deoxygenation. *Annual Review of Marine Science*, vol. 10, pp. 229–260, <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-121916-063359>.
- Santoro, Alyson E., and others (2011). Isotopic signature of N₂O produced by marine ammonia-oxidizing archaea. *Science*, vol. 333, No. 6047, pp. 1282–1285.
- Schmidtko, Sunke, and others (2017). Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature*, vol. 542, No. 7641, pp. 335–339. <https://doi.org/10.1038/nature21399>.
- Stendardo, I., and N. Gruber (2012). Oxygen trends over five decades in the North Atlantic. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 117, No. C11.
- Stramma, Lothar, and others (2012). Expansion of oxygen minimum zones may reduce available habitat for tropical pelagic fishes. *Nature Climate Change*, vol. 2, No. 1, pp. 33–37.

- Voss, Maren, and others (2013). The marine nitrogen cycle: Recent discoveries, uncertainties. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 368.
- Wilcock, R.J., and others (1981). An interlaboratory study of dissolved oxygen in water. *Water Research*, vol. 15, No. 3, pp. 321–325.
- Worm, Boris, and others (2005). Global patterns of predator diversity in the open oceans. *Science*, vol. 309, No. 5739, pp. 1365–1369.

Морской лед

- Fetterer, F., and others (2017). *Sea Ice Index, Version 3*. Boulder, Colorado, United States of America: NSIDC: National Snow and Ice Data Center. <https://doi.org/10.7265/N5K072F8>.
- Kwok, Ron (2018). Arctic sea ice thickness, volume, and multiyear ice coverage: losses and coupled variability (1958–2018). *Environmental Research Letters*, vol. 13, No. 10, p. 105005.
- Massom, R.A., and others (2018). Antarctic Ice shelf disintegration triggered by sea ice loss and ocean swell. *Nature*, vol. 558, pp. 383–389, <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0212-1>.
- Meehl, G.A., and others (2019). Sustained ocean changes contributed to sudden Antarctic sea ice retreat in late 2016. *Nature Communications*, vol. 10(1), p. 14. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07865-9>.
- Nghiem, S.V., and others (2016). Geophysical constraints on the Antarctic sea ice cover. *Remote Sensing of Environment*, vol. 181, pp. 281–292.
- Parkinson, Claire L. (2019). A 40-y record reveals gradual Antarctic sea ice increases followed by decreases at rates far exceeding the rates seen in the Arctic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, No. 29, pp. 14414–14423.
- Reid, P., and others (2019): Sea ice extent, concentration, and seasonality. In *State of the Climate in 2018. Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 100 (9), pp. S178–S181.
- Rigor, Ignatius G., and John M. Wallace (2004). Variations in the age of Arctic sea-ice and summer sea-ice extent. *Geophysical Research Letters*, vol. 31, No. 9.
- Rigor, Ignatius G., and others (2002). Response of sea ice to the Arctic Oscillation. *Journal of Climate*, vol. 15, No. 18, pp. 2648–2668.
- Rothrock, Drew A., and others (1999). Thinning of the Arctic sea-ice cover. *Geophysical Research Letters*, vol. 26, No. 23, pp. 3469–3472.
- Schweiger, Axel, and others (2011). Uncertainty in modeled Arctic sea ice volume. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 116, No. C8.
- Stewart, Craig L., and others (2019). Basal melting of Ross Ice Shelf from solar heat absorption in an ice-front polynya. *Nature Geoscience*, vol. 12, No. 6, pp. 435–440.
- Zhang, Jinlun, and D.A. Rothrock (2003). Modeling global sea ice with a thickness and enthalpy distribution model in generalized curvilinear coordinates. *Monthly Weather Review*, vol. 131, No. 5, pp. 845–861.

Глава 6

Тенденции, характеризующие биоразнообразие ОСНОВНЫХ таксонов морской биоты

Ведущий участник, ответственный за главу: Пак Чхуль.

Введение

В первой «Оценке состояния Мирового океана», опубликованной в 2017 году, биологическое разнообразие рассматривалось в трех ракурсах: по географическим регионам, по таксономическим группам и по местообитаниям, которые были отнесены к вызывающим озабоченность. Во второй «Оценке состояния Мирового океана» биологическое разнообразие рассматривается по таксономическим группам (гл. 6) и местообитаниям (гл. 7) для всех регионов, по которым имеются данные. Применительно к таксономическим группам, которые были включены в первую «Оценку», основное внимание уделяется изменениям, происшедшим после ее опубликования, включая новую информацию. Применительно к таксономическим группам, которые в первую «Оценку» включены не были, основное внимание уделяется общей информации, чтобы установить исходные данные об их текущем состоянии.

В подглаве 6А дается более широкая, чем в первой «Оценке», информация по планктону: описывается биоразнообразие этой группы, в частности приводятся сведения об одноклеточном фитопланктоне, бактериях, вирусах и метазойном зоопланктоне. В подглаве 6В

описываются бентические беспозвоночные, которые в первой «Оценке» отдельно не обсуждались. Что касается пелагических беспозвоночных, то планктонные формы включены в подглаву 6А. При этом в данных о таких пелагических беспозвоночных, как головоногие, сохраняется пробел, который необходимо будет восполнить при будущей оценке. Определенная информация об этих беспозвоночных представлена Группой экспертов Регулярного процесса глобального освещения и оценки состояния морской среды, включая социально-экономические аспекты, в виде добавления к подглаве 6В. В подглаву 6С включена новая и расширенная информация о разнообразии рыб, особенно по тем рыбным видам, которые не рассматривались в первой «Оценке». Глава 6 содержит также информацию о последних изменениях в биоразнообразии морских млекопитающих (подгл. 6D), морских пресмыкающихся (подгл. 6E), морских птиц (подгл. 6F) и морских растений и макроводорослей (подгл. 6G), причем в последнем случае описываются также тенденции, характеризующие состояние ламинариевых лесов и водорослевых зарослей. Морские растения описываются еще и в подглавах 7G–7I.

Глава 6А

ПЛАНКТОН

(ФИТОПЛАНКТОН,

ЗООПЛАНКТОН,

МИКРОБЫ И

ВИРУСЫ)

Участники: Томас Малоун (координатор), Маурицио Аццаро, Пак Чхуль (ведущий участник, ответственный за главу), Кадзуаки Тадокоро, Майкл Торндайк, Расселл Хопкрофт и Ю Син Джэ.

Ключевые тезисы

- Одноклеточные микробы – самая многочисленная и разнообразная форма морской жизни. Базирующиеся на них пищевые сети питают бóльшую часть океанского биоразнообразия.
- На морской фитопланктон приходится примерно 50 процентов активности в снабжении Земли первичной продукцией и кислородом и в фиксации для нее N_2 . Источником большей часть морской первичной продукции являются диатомеи и пикопланктон (<2 мкм).
- Происходящие из-за потепления в верхних слоях океана усиление стратификации, т. е. вертикального расслоения воды, и ослабление поступления неорганических питательных веществ в ту часть океана, где возможен фотосинтез (эвфотическая зона), будут, вероятно, влечь за собой:
 - снижение продуктивности фитопланктона и размера его клеток;
 - увеличение потока энергии через микробные пищевые сети по сравнению с потоком энергии через метазойные пищевые сети (планктон >20 мкм);
- сокращение биологической продукции, экспортируемой в океанское глубоководье. Такое сокращение чревато снижением способности океана поглощать CO_2 , которое ускорит глобальное потепление атмосферы;
- снижение биологической продукции более высокого трофического уровня.
- Обусловленное климатом закисление океана может привести к сокращению численности и распространения известкового планктона.
- Текущие глобальные наблюдения за океаном не предусматривают специальный мониторинг планктонного разнообразия. Одним из компонентов Глобальной системы систем наблюдения за планетой Земля необходимо сделать международную интегрированную систему наблюдения за океанской жизнью.

1. Введение

Сообщества морского планктона состоят из вирусов, прокариотов (архей и бактерий) и эукариотов (протистов и метазоа). Прокариоты и эукариоты включают как первичных продуцентов, так и гетеротрофных консументов; морской планктон представляет собой самую филогенетически разнообразную группу организмов на Земле (Colomban and others, 2015; United Nations, 2017a). Настоящая подглава фокусируется на планктонных скоплениях в верхнем слое океана (0–1000 м) и на обуславливаемых климатом изменениях в планктоне, которые будут, скорее всего, сказываться на экосистемных услугах.

На одноклеточных микробов приходится бóльшая часть биомассы, биоразнообразия и метаболической активности в океанах (Gasol and others, 1997; Azam and Malfatti 2007; Salazar and Sunagawa, 2017; Bar-On and others, 2018), и они

играют критически значимые роли в предоставлении морских экосистемных услуг (Palumbi and others, 2009; Liqueste and others, 2013). В частности, фитопланктон на примерно 50 процентов снабжает Землю чистой первичной продукцией (ЧПП), которая питает морские пищевые сети, и кислородом (Field and others, 1998; Westberry and others, 2008), а планктонные пищевые сети поддерживают большинство рыбных промыслов (Blanchard and others, 2012; Boyce and others, 2015), насыщают биологическую помпу¹ (Honjo and others, 2014) и питают биоразнообразие (Beaugrand and others, 2013; Vallina and others, 2014). ЧПП фитопланктона и прохождение нутриентов через планктонные пищевые сети вносят значительный вклад в достижение как минимум 14 целей в области устойчивого развития (Wood and others, 2018), и в первую очередь цели 14 (сохранение и рациональное использование

¹ Биологически опосредованный экспорт твердых частиц органического вещества и карбоната кальция в океанское глубоководье (глубина – более 1000 м).

океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития)².

Цели настоящей подглавы состоят в следующем: а) описать нынешний состав планктонных скоплений и предыдущую динамику их разнообразия и продуктивности в глобальном и региональном масштабах; б) обобщить прогнозируемую динамику планктонных скоплений, обусловливаемую климатом; с) выявить пробелы в нынешних знаниях. Из экологических изменений, вызываемых климатом в верхнем слое океана, в настоящем разделе прицельно

разбираются потепление океана и закисление океана³. Эта информация особенно значима для глав 5 (тенденции, характеризующие физическое и химическое состояние океана) и 10 (изменения в поступлении питательных веществ в морскую среду). К числу тем, которые разбираются в настоящей подглаве, а в главе 6 первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017b) конкретно не рассматривались, относится предыдущая и прогнозируемая динамика планктонного разнообразия.

2. Резюме главы 6 первой «Оценки состояния Мирового океана»

Были изучены региональные и глобальные закономерности ЧПП у фитопланктона и бентических макрофитов, круговорот питательных веществ в верхних слоях океана и антропогенное воздействие на эти процессы и сделаны следующие выводы:

- Если не считать прибрежных вод, подверженных привнесению нутриентов из рек, и зон с высоким содержанием нутриентов и низким содержанием хлорофилла, то глобальная картина с ЧПП фитопланктона указывает на такую закономерность, как поступление глубоководных нутриентов (азота и фосфора) в эвфотическую зону⁴.
- С 1998 по 2006 год ЧПП фитопланктона в субтропических круговых течениях снизилась из-за потепления верхних слоев океана под воздействием климата и из-за связанного с этим сокращения поступающих питательных веществ, а в прибрежных экосистемах ЧПП увеличилась из-за увеличения питательных веществ, поступающих с суши. Это привело к повсеместному распространению гипоксии в океане, уменьшению пространственной протяженности зарослей морских трав и учащению эпизодов связанной с фитопланктоном токсичности.
- Видовое разнообразие фитопланктона является, как правило, наименьшим в полярных и субполярных водах, где большая часть ЧПП производится быстрорастущими видами, и наибольшим в тропических и субтропических водах, где большая часть ЧПП производится мелким (<10 мкм) фитопланктоном.
- По мере того как верхние слои океана теплеют и становятся более стратифицированными, всё большая доля ЧПП станет, видимо, производиться мелкоразмерными видами фитопланктона, что будет приводить к сокращению рыбных запасов и экспорту органического углерода в морское глубоководье.
- В условиях, когда температура верхних слоев океана в высоких широтах растёт, относящиеся к веслоногим ракообразным виды в Северной Атлантике распространили свои пространственные ареалы на более высокие широты, а у видов, приуроченных к умеренному климату, сезонные пики численности популяций стали наступать раньше в году.

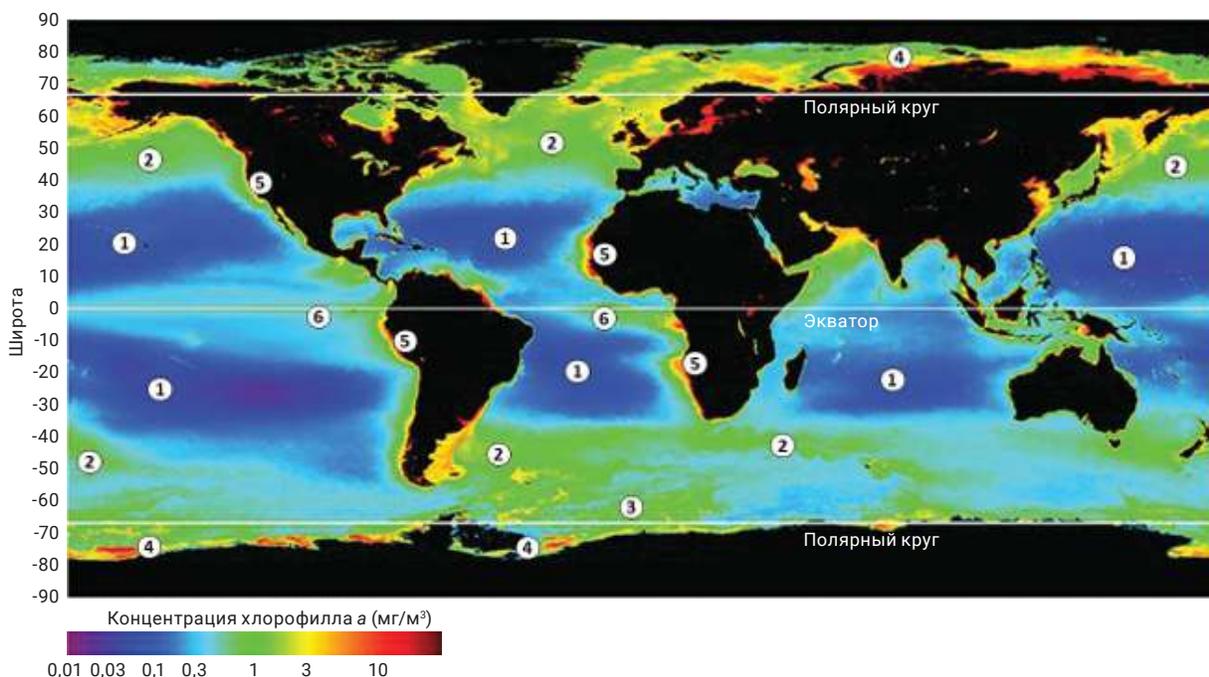
² См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

³ Под закислением океана понимается снижение pH океана на протяжении длительного времени, вызванное в первую очередь поглощением CO₂ из атмосферы.

⁴ Эвфотическая зона — это верхний слой океана, куда попадает достаточно света, чтобы происходил фотосинтез.

3. Регионы, выбранные для настоящей «Оценки»

Средняя концентрация хлорофилла а у поверхности моря в 1997–2010 годах и шесть регионов, рассматриваемых в настоящем докладе



Источник: Sundby and others, 2016 (адаптировано).

Примечание: 1 – центральные круговые течения; 2 – высокоширотные регионы весеннего цветения; 3 – антарктический приполярный регион; 4 – регионы полярных морских льдов; 5 – регионы прибрежного апвеллинга; 6 – регионы экваториального апвеллинга (обозначенные концентрации: <0,1 мг/м³ (синий цвет), 0,1–1,0 мг/м³ (зеленый), 1–3 мг/м³ (желтый) и >3 мг/м³ (красный)).

ЧПП фитопланктона отмечается региональными вариациями (Behrenfeld and others, 2006; Uitz and others, 2010; United Nations, 2017c), и Межправительственная группа экспертов по изменению климата разбила Мировой океан на соответствующие регионы (Hoegh-Guldberg and Poloczanska, 2017). Из семи регионов, определенных Группой, в настоящем разделе прицельно разбираются те, в которых представлены системы высоких и низких широт, системы, где питательные вещества поступают в основном из глубоководных слоев воды в результате вертикального перемешивания или апвеллинга, и системы, демонстрирующие широкий диапазон трофических состояний⁵ (не отражающих поступление питательных веществ с суши). Речь идет о следующих шести регионах (их нумерация совпадает с нумерацией на рисунке выше):

1. пять субтропических центральных круговых течений – крупнейших биомов верхнего слоя океана (около 40 процентов поверхности океана, 22 процента годовой ЧПП океана);
2. высокоширотные регионы весеннего цветения (около 25 процентов поверхности океана, 43 процента годовой ЧПП океана);
3. антарктический приполярный регион Южного океана (около 12 процентов поверхности океана, около 9 процентов годовой ЧПП океана);
4. регионы полярных морских льдов в Северном Ледовитом и Южном океанах (около 4 процентов поверхности океана, 1–2 процента годовой ЧПП океана);

⁵ От олиготрофных регионов с низкими среднегодовыми концентрациями хлорофилла а (<0,1 мг/м³) до эвтрофических регионов с относительно высокими средними концентрациями (1–30 мг/м³).

5. регионы прибрежного апвеллинга (около 2 процентов поверхности океана, 7 процентов годовой ЧПП океана);
6. регионы экваториального апвеллинга (около 8 процентов поверхности океана, 9 процентов годовой ЧПП океана).

На эти шесть регионов приходится в совокупности 90 процентов поверхности океана и 90 процентов ЧПП океана.

4. Подсчеты разнообразия планктона

4.1. Видовое разнообразие

Точные подсчеты видового разнообразия планктона на региональном и глобальном уровнях, основанные на микроскопном исследовании океанских проб, в настоящее время невозможны в силу следующих факторов: серьезная недостаточность пробоотбора⁶ (Appeltans and others, 2012); быстрый рост количества криптических видов⁷, выявленных метагеномикой (DeLong, 2009; Goetze, 2010; Lindeque and others, 2013; Harvey and others, 2017); наличие у зоопланктона личиночных стадий, у которых нет четких диагностических характеристик (Bucklin and others, 2016); отсутствие среди микробиологов консенсуса по части определения видов (Amaral-Zettler and others, 2010). Проблему недостаточности пробоотбора можно решать только путем увеличения его пространственно-временного охвата. Поэтому необходимо подчеркнуть важность сохранения и расширения поддержки, направляемой Глобальному альянсу съемок с помощью непрерывных регистраторов планктона (Batten and others, 2019) и на нужды разработки интегрированной системы наблюдения за океанской жизнью (Canonic and others, 2019).

4.2. Функциональное разнообразие

С экологической точки зрения может оказаться полезнее разносить организмы не по таксономическим, а по функциональным группам, которые имеют общие характеристики (размер и экологические роли) (Litchman and others, 2010;

Mitra and others, 2016). Размерный спектр у планктона охватывает более семи порядков величины (Boyce and others, 2015; Sommer and others, 2017) и находит отражение в тех траекториях, по которым ЧПП фитопланктона рециркулируется в верхних слоях океана, попадает на рыбные промыслы или экспортируется в глубь океана через биологическую помпу (Ward and others, 2012; Acevedo-Trejos and others, 2018). По своим размерам планктон подразделяется на пикопланктон (0,2–2 мкм), нанопланктон (2–20 мкм), микропланктон (20–200 мкм), мезопланктон (200 мкм – 20 мм), макропланктон (20–200 мм) и мегапланктон (>200 мм) (Sieburth and others, 1978; Sommer and others, 2017). На уровне основных океанических бассейнов биомасса фитопланктона и доля крупного фитопланктона обычно возрастают по мере увеличения доступности растворенных неорганических питательных веществ, и эта закономерность отражает значимость снабженности нутриентами как параметра ЧПП фитопланктона и состава сообщества (Mousing and others, 2018).

В функциональном отношении морские пищевые сети можно разнести на две размерные категории (Fenchel, 1988; Pomeroy and others, 2007):

- a) микробные пищевые сети, населенные пико- и нанопланктоном, гетеротрофными бактериями и протозойными консументами, которые подпитываются в основном пикофитопланктонным ЧПП (включая выброс растворенного органического вещества первичными продуцентами и консументами);

⁶ Измерения слишком разрежены во времени и пространстве, чтобы точно подсчитать планктонное биоразнообразие на региональном и глобальном уровнях.

⁷ Генетически самостоятельные виды, которые не выказывают четких морфологических различий и сводятся в оперативные таксономические единицы. Такие единицы применяются для оценки видового богатства на основе генетических различий (Caron and others, 2009).

- b) метазойные пищевые сети, населенные микрофитопланктоном и метазойным планктоном, которые подпитываются в основном микрофитопланктонной продуктивностью, а также микробными пищевыми сетями.

На микробные пищевые сети приходится бóльшая часть живой биомассы и рециркуляции питательных веществ в океане (Del Giorgio and

Duarte 2002; Sunagawa and others, 2015), тогда как метазойные пищевые сети питают большинство промысловых рыб и биологическую помпу (Legendre and Michaud, 1998; Sommer and others, 2002). Таким образом, изменения в балансе между этими двумя пищевыми сетями будут, вероятно, серьезно сказываться на предоставлении экосистемных услуг (Müren and others, 2005; Worm and others, 2006; Sommer and others, 2016).

5. Микробный планктон

5.1. Фитопланктон

К основным (с точки зрения их вклада в глобальную ЧПП) таксонам относятся прокариотные цианобактерии и эукариотные диатомеи, кокколитофориды и хлорофиты (Not and others, 2007; Simon and others, 2009; Uitz and others, 2010; Flombaum and others, 2013).

5.1.1. Разнообразие и функциональные группы фитопланктона

В зависимости от размера и роли в пелагических пищевых сетях и питательных циклах выделено пять функциональных групп фитопланктона (Chisholm, 1992; Le Quéré and others, 2005; Marañón and others, 2012): фотосинтезирующий пикопланктон; силицирующий микропланктон; кальцифицирующий нанопланктон; азотфиксирующий мезопланктон; нанопланктон — производитель диметилсульфида. Для целей настоящей подглавы к этому списку добавлен токсичный микропланктон. Изменения в относительной численности, продуктивности и токсичности этих функциональных групп серьезно сказываются на их способности поддерживать экосистемные услуги.

5.1.1.1. Пикопланктон

Пикопланктон включает два рода цианобактерий (*Prochlorococcus* и *Synechococcus*) и разнообразный коллектив пикозукариотов, насчитывающих несколько типов (Not and others, 2007; Kirkham and others, 2013). Они имеют всесветную распространенность, производят около 50 процентов ЧПП океана (Agusti and others, 2019) и подпитывают микробные пищевые сети (Marañón and others, 2001, 2015). Подсчитано,

что 17–39 процентов биомассы пикопланктона во всем мире приходится на *Prochlorococcus*, 12–15 процентов — на *Synechococcus* и 49–62 процента — на пикозукариотов (Buitenhuis and others, 2012). *Prochlorococcus* доминирует в фитопланктоне теплых (>15 °C) вод, бедных питательными веществами (Chisholm, 2017). *Synechococcus* имеет более широкое и равномерное распространение и более многочислен, чем *Prochlorococcus*, в более прохладных средах, богатых питательными веществами (Follows and others, 2007; Flombaum and others, 2013). Пикозукариотам свойственно увеличивать численность с повышением уровня питательных веществ, и в высоких широтах они часто доминируют в фитопланктоне (Li, 1994; Worden and Not, 2008; Kirkham and others, 2013). Широкой географической распространенности этих организмов сопутствует невероятная степень их геномного разнообразия (Vaulot, 2008; Kent and others, 2016).

5.1.1.2. Силицирующий микропланктон: диатомеи

Диатомеи доминируют в микрофитопланктоне холодных, турбулентных и богатых питательными веществами вод (Malone, 1980; Rousseaux and Gregg, 2015). Они производят 40–50 процентов морской ЧПП в мире, подпитывают метазойные пищевые сети и экспортируют примерно 40 процентов углерода через биологическую помпу (Honjo and others, 2014; Tréguer and others, 2018). Таким образом, диатомеи являются важными участниками глобального углеродного цикла.

5.1.1.3. Кальцифицирующий нанопланктон⁸

Кокколитофориды (среди которых доминирует *Emiliania huxleyi*) имеют всесветную распространенность, функционируют и как поглотитель CO₂ (фотосинтез), и как его источник (кальцификация), а значит, являются важными участниками глобального углеродного цикла (Sarmiento and others, 2002; Balch and others, 2016). *E. huxleyi* образует «большой кальцитовый пояс», который окружает Антарктику между субантарктическим и полярным фронтами (Balch and others, 2016; Nissen and others, 2018). Есть признаки, свидетельствующие о том, что *E. huxleyi* производит больше биогенного CaCO₃, чем любой другой организм на Земле (Iglesias-Rodríguez and others, 2002). Цветение обычно происходит после сезонного цветения диатомей (Brown and Yoder, 1994; Smith and others, 2017). *E. huxleyi* несет в себе пангеном обширной генетической изменчивости, который лежит в основе его космополитного распространения и его способности цвести в самой разной окружающей обстановке (Read and others, 2013).

5.1.1.4. Азотфиксирующий мезопланктон⁹

Планктонные цианобактерии осуществляют около половины азотфиксации на Земле (Karl and others, 2002; Landolfi and others, 2018) и являются крупнейшим источником фиксированного азота в Мировом океане (Galloway and others, 2004; Gruber, 2004). В эту группу входят одноклеточные симбионты (диатомово-диазотрофные ассоциации) и колониальные роды (например, *Trichodesmium*) (Delmont and others, 2018; White and others, 2018). Морская азотфиксация происходит в основном в субтропических круговых течениях (Gruber, 2019), где численность *Trichodesmium* достигает максимума при темпе-

ратурах выше 20 °C (Breitbarth and others, 2007; Monteiro and others, 2010).

5.1.1.5. Диметилсульфониопропионат¹⁰, производящий нанопланктон

Источником более чем 90 процентов выбросов диметилсульфида в атмосферу является диметилсульфониопропионат, который производится в океане и основными производителями которого являются Prymnesiophyceae (например, *Phaeocystis* spp. и *Emiliania huxleyi*) и Dinophyceae (например, *Prorocentrum minimum*) во время их цветения (Keller and others, 1989; Bullock and others, 2017). *Phaeocystis* — это космополитный род, жизненный цикл которого чередуется между свободноживущим нанопланктоном (3–9 мкм) и крупными (>2 мм) студенистыми колониями (Schoemann and others, 2005). Последние развиваются во время массового летнего цветения в высокоширотных регионах, где цветение происходит весной, и во время летнего цветения в регионах полярных морских льдов и в антарктическом приполярном регионе (Schoemann and others, 2005; Vogt and others, 2012). Цветение *Prorocentrum minimum* происходит в регионах с относительно высоким антропогенным притоком нутриентов, и ожидается расширение его глобального распространения, поскольку к 2050 году прогнозируется увеличение такого притока (если он не станет действеннее контролироваться в глобальном масштабе) более чем вдвое (Glibert and others, 2008).

5.1.1.6. Микропланктон, вырабатывающий токсины

Из 5000 ныне живущих видов морского фитопланктона (Sournia and others, 1991) около 80 обладают способностью вырабатывать сильнейшие токсины, которые через рыб, ракообразных и моллюсков попадают в ор-

⁸ Кальцифицирующий планктон включает таксоны, которые формируют раковины, скелеты или другие структуры из карбоната кальция. Эта таксономически разнообразная группа включает фитопланктон (например, кокколитофорид), зоопланктон (например, крылоногих) и личиночные стадии бентических двусторчатых моллюсков и иглокожих.

⁹ Азотфиксацию осуществляет не только мезозоопланктон. Имеются признаки того, что в океанах есть диазотрофы (бактерии и археи), не относящиеся к цианобактериям (Benavides and others, 2018).

¹⁰ Диметилсульфониопропионат — это биогенный прекурсор диметилсульфида, который представляет собой крупнейший источник серы, попадающий в атмосферу Земли, где она помогает стимулировать образование облаков, не дающих солнечному излучению достигать земной поверхности и отражающих его обратно в космос.

ганизм людей (Hallegraeff and others, 2004). Наиболее токсичными видами являются динофлагелляты, вызывающие паралитическое (например, *Alexandrium* spp.), диарейное (например, *Dinophysis* spp.), нейротоксическое (например, *Karenia* spp.), азаспирацидное (например, *Protoperidinium crassipes*) отравление моллюсками и сигуатеру (отравление рыбой; например, *Gambierdiscus toxicus*). Один род диатомей (*Pseudo-nitzschia* spp.) вызывает амнестическое отравление моллюсками (Lelong and others, 2012). Вырабатывающий токсины микропланктон имеет космополитное распространение (Hallegraeff and others, 2004).

5.2. Протозойные консументы

Большинство гетеротрофных простейших относятся по своим размерам к нано- или микрозоопланктону и являются основными консументами в микробных пищевых сетях и важными звеньями, связывающими их с метазойными пищевыми сетями (Landry and Calbet, 2004; Mitra and others, 2016). Что касается строения тела, то среди них можно выделить три основные формы, которые в целом определяют их экологические роли: амeboидная, жгутиковая и реснитчатая (Fuhrman and Caron, 2016).

Численность амeboидных фораминифер является наибольшей в высокоширотных регионах весеннего цветения и наименьшей в субтропических круговых течениях (Berger, 1969). Они являются основными продуцентами морских известковых раковин, откладывающихся на дне океана (Schiebel and Hemleben, 2005). Радиолярии всесветно встречаются в эвфотической зоне тропических и субтропических океанских акваторий, но гораздо менее распространены в регионах прибрежного апвеллинга, высокоширотных регионах весеннего цветения и полярных регионах (Caron and Swanberg, 1990).

Гетеротрофные нанофлагелляты являются наиболее многочисленными консументами простейших и контролируют численность бактериопланктона (Fenchel, 1982; Massana and Jürgens, 2003). Если нанофлагелляты являются важными по-

едателями пикофитопланктона в олиготрофных местообитаниях, то гетеротрофные микрофлагелляты (например, динофлагелляты) могут быть важными консументами микрофитопланктона, в том числе цветущих диатомей (Sherr and Sherr, 2007; Calbet, 2008).

Подсчитано, что микрозоопланктон (динофлагелляты и инфузории) поедает более половины ежедневной ЧПП фитопланктона во всем мире, служа существенным средством нисходящего контроля при цветении фитопланктона в экосистемах столь разных акваторий, как Южный океан (Swailethorp and others, 2019), западная часть Северного Ледовитого океана (Sherr and others, 2009) и прибрежные зоны умеренного пояса (Pierce and Turner, 1992).

5.3. Гетеротрофные бактерии и археи

В бактериальных скоплениях обычно доминирует небольшое количество филоципов¹¹ (Yooseph and others, 2010), среди которых наиболее распространены 20, относящиеся к одной из следующих четырех групп (Amaral-Zettler and others, 2010; Luo and Moran, 2014): α -протеобактерии (SAR 11, Rhodobacteraceae), γ -протеобактерии (SAR 86), бактериоидеты (Flavobacteriaceae) и актинобактерии. Из них наибольшую численность имеют α -протеобактерии (Lefort and Gasol, 2013; Giovannoni, 2017). Их видовое богатство имеет ту же тенденцию уменьшаться к полюсам, которая наблюдается как для царства животных, так и для царства растений (Wietz and others, 2010).

Археи в океане представлены в основном четырьмя группами (морские группы I–IV) (Church and others, 2003; Danovaro and others, 2017). Археи морской группы I занимают одно из первых мест по численности и по распространению, встречаясь в полосе от полярных до тропических вод (Karner and others, 2001; Santoro and others, 2019). Хотя бактерии по численности превосходят архей, последние вносят важный вклад в микробную биомассу глубоководья (Danovaro and others, 2015).

¹¹ Группа генетически сходных организмов, которые могут быть сведены в разные таксономические единицы, например виды, семейства, классы или отделы.

5.4. Вирусы

Вирусы играют важные роли в морских пищевых сетях и в рециркуляции нутриентов, контролируя численность микробных популяций и высвобождение растворенных органических веществ в результате клеточного лизиса (Rohwer and Thurber, 2009; Sieradzki and others, 2019). Вирусы, в том числе свободноживущие вирионы, являются наиболее многочисленными биологическими существами в Мировом океане и крупным резервуаром генетического разнообразия (Suttle, 2007; Simmonds and others, 2017). Большинство вирусов – это бактериофаги (Coutinho and others, 2017), и их численность коррелирует

с численностью бактерий в масштабах от регионального до глобального (Fuhrman and Caron, 2016). Метагеномные анализы показывают, что в нескольких литрах содержится тысячи различных вирионов, причем наиболее распространенные генотипы представлены относительно небольшой частью всего скопления (Breitbart and others, 2004; Angly and others, 2006). Признавая это и другие недавние достижения в метагеномике, приходится, однако, констатировать, что в деле выяснения вирусного биоразнообразия приоткрыта лишь «верхушка айсберга» (Paez-Espino and others, 2019).

6. Метазойный зоопланктон

6.1. Голопланктон¹²

Метазойный голопланктон описан по 15 типам (Bucklin and others, 2010; Wiebe and others, 2010). В этой группе представлены различные типы питания (Kjørboe, 2011): фильтраторы (например, веслоногие ракообразные, эуфаузиевые и оболочники), пассивные хищники-засадники (например, гребневики и некоторые крылоногие) и активные хищники-засадники (например, щетинкочелюстные и некоторые бокоплавы). Разнообразие у голозоопланктона, как и у других групп животных, имеет тенденцию уменьшаться к полюсам (Lindley and Batten, 2002; Burridge and others, 2017). Кроме того, при низкой биомассе наблюдается обычно более высокое разнообразие (например, в регионах субтропических круговых течений), а при высокой биомассе – наоборот (например, в регионах прибрежного апвеллинга и высокоширотных регионах весеннего цветения) (United Nations, 2017a).

6.1.1. Ракообразные

Около половины известных видов голопланктона приходится на ракообразных (Verity and Smetacek, 1996; United Nations, 2017a). Наибольшими по численности являются веслоногие ракообразные, которые служат ключевым тро-

фическим звеном между фитопланктоном и промысловыми рыбами (например, Möllmann and others, 2003; Beaugrand, 2005). Если численность веслоногих обычно наиболее высока в регионах, отмечаемых сезонно высоким объемом ЧПП, то биоразнообразие обычно наиболее высоко в тепловодных регионах, где значение ЧПП относительно низкое (Rombouts and others, 2009; Valdés and others, 2017).

Эуфаузиевые (криль), насчитывающие почти 100 документально зафиксированных видов (Baker and others, 1990), встречаются по всему Мировому океану и, как и веслоногие ракообразные, достигают максимальной численности в периоды высокой продуктивности фитопланктона (Baker and others, 1990). Их особенно много в Южном океане, где они играют значимую роль в пищевой сети и являются объектом промысла (Mangel and Nicol, 2000; Voopendranath, 2013).

Описано приблизительно 200 видов планктонных ракушковых (Angel and others, 2007) и приблизительно 300 видов бокоплавов-гипериид (Vinogradov, 1996; Boltovskoy and others, 2003)¹³. Видовое богатство ракушковых обычно наиболее велико в мезопелагиали низких широт (<50° с. ш.) и в эпипелагиали более высоких ши-

¹² Организмы, которые проводят в качестве планктона весь свой жизненный цикл.

¹³ Группа генетически сходных организмов, которые могут быть сведены в разные таксономические единицы, например виды, семейства, классы или отделы.

рот. Большинство гиперидов проводят как минимум часть своего жизненного цикла в качестве комменсалов сальп, медуз, гребневиков или сифонофор (Madin and Harbison, 1977; Gasca and Haddock, 2004), и их видовое богатство наиболее велико в регионах, где в изобилии встречается студенистый зоопланктон.

6.1.2. Студенистый зоопланктон

В эту разнообразную группу входят квидарии (стрекающие)¹⁴, гребневики (нестрекающие), щетинкочелюстные (морские стрелки), оболочники (сальпы, бочоночники и аппендикулярии) и моллюски (крылоногие и гетероподы) (Alldredge, 1984; Jennings and others, 2010). В целом оболочники хорошо приспособлены к жизни в олиготрофных океанах, где их разнообразие и численность часто выше, чем у планктонных ракообразных (Alldredge and Madin, 1982; Madin and Harbison, 2001). Наибольшее видовое богатство наблюдается у медуз (более 1000 видов) (Purcell and others, 2007; Pitt and others, 2018); за ними следуют моллюски (250 видов) (Jennings and others, 2010), гребневики (200 видов) (Harbison, 1985;

Madin and Harbison, 2001), оболочники (145 видов) (Deibel and Lowen, 2012) и щетинкочелюстные (100 видов) (Daponte and others, 2004).

6.2. Меропланктон

Меропланктон — это личиночная стадия организмов, которые во взрослом состоянии становятся бентическими и пелагическими (это, например, моллюски и рыбы), т. е. относятся к планктону временно. Их вклад в планктонное разнообразие происходит эпизодически или сезонно, а их численность по отношению к голопланктону уменьшается с увеличением глубины и широты (Silberberger and others, 2016; Costello and Chaudhary, 2017). Распространение, разнообразие и плодовитость взрослых особей, проходящих личиночную стадию в виде планктона, неразрывно связаны с численностью и разнообразием их меропланктонных личинок, которые, в свою очередь, влияют на распространение и разнообразие их взрослых стадий (Miron and others, 1995; Hughes and others, 2000).

7. Зафиксированные тенденции

7.1. Глобальный уровень

Изучение временных рядов (1998–2015 годы), построенных по спутниковым измерениям хлорофилла *a* у поверхности моря, пока не выявило долгосрочного тренда ЧПП в глобальном масштабе (Gregg and others, 2017). Однако за рассматриваемый период в большинстве регионов произошло снижение биомассы микропланктонных диатомей по сравнению с пикофитопланктоном (Rousseaux and Gregg, 2015; Gregg and others, 2017). Эта тенденция представляется связанной с потеплением верхних слоев океана, усилением вертикальной стратификации¹⁵, и уменьшением

поступления питательных веществ из морского глубоководья (Daufresne and others, 2009; Basu and Mackey, 2018).

Сравнение известных эпизодов токсичности, происшедших до 1970 года, с эпизодами, замеченными в 2017 году¹⁶ позволяет говорить об учащении таких эпизодов и о глобальном распространении последствий, которыми они оборачиваются для здоровья людей и экономики стран (Hallegraeff and others, 2004):

- количество прибрежных участков, где *Alexandrium tamarense* и *A. catenella* привели к

¹⁴ В жизненном цикле квидарий есть бентическая стадия (полип) и планктонная стадия (медуза), однако они считаются голопланктоном, поскольку половое размножение происходит на медузоидной (т. е. планктонной) стадии.

¹⁵ Водная толща становится вертикально стратифицированной, когда над более глубокой и более плотной массой воды формируется (из-за повышения температуры, уменьшения солености или и того и другого) менее плотная ее масса. Этот процесс ограничивает перемешивание между поверхностным перемешанным слоем и океанским глубоководьем.

¹⁶ United States National Office for Harmful Algal Blooms, "Distribution of HABs throughout the World". URL: www.whoi.edu/website/redtide/regions/world-distribution.

токсичности у моллюсков, вызывающей паралитическое отравление у людей, выросло с 19 (в том числе 12 в Северной Америке и 4 в Западной Европе) до 118 (в том числе 26 в Северной Америке, 25 в Западной Европе, 36 в западной части Тихого океана, 9 в Австралии и Новой Зеландии, 7 в Южной Америке, 7 в Африке и 4 в Индии);

- количество прибрежных участков, где *Dinophysis* spp. привел к токсичности у моллюсков, вызывающей диарейное отравление у людей, выросло с 15 (в том числе 13 в Западной Европе) до 71 (8 в Северной Америке, 37 в Западной Европе, 9 в Южной Америке, 7 в Австралии и Новой Зеландии, 6 в Японии и 4 в Индии);
- количество прибрежных участков, где *Pseudo-nitzschia* spp. привел к токсичности у моллюсков, вызывающей амнестическое отравление у людей, выросло с 1 (в Северной Америке) до 31 (в том числе 12 в Северной Америке, 9 в Западной Европе и 9 в Австралии и Новой Зеландии).

Хотя есть основания подозревать, что росту динофлагеллят может способствовать совокупный эффект, создаваемый усилением прибрежной эвтрофикации, повышением температуры морской поверхности и усилением вертикальной стратификации, первопричины этих тенденций остаются предметом догадок (Wells and others, 2015).

Потепление верхнего слоя океана влияет на биогеографию и фенологию планктонных организмов (Hays and others, 2005; Thackeray and others, 2010; Mackas and others, 2012). С 1920 по 2010 год сезонные весенние пики биомассы стали наступать раньше, сдвигаясь в среднем на 4,4 дня за десятилетие (при стандартной ошибке 0,7 дня), а передние границы распространения видов смещались к полюсам на 72 км за десятилетие (при стандартной ошибке 0,35 км) (Hoegh-Guldberg and others, 2014). Если голопланктон реагирует на потепление верхних слоев океана крупными сдвигами и в биогеографии, и в фенологии, то меропланктон демонстрирует относительно небольшие сдвиги в распространении, но более

значительные изменения в фенологии (Edwards and Richardson, 2004). Эти изменения будут, вероятно, проявляться в численности взрослых популяций.

7.2. Регионы полярных морских льдов

7.2.1. Южный океан

Какого-то существенного межгодового тренда по ЧПП в Южном океане в целом документально не зафиксировано (Arrigo and others, 2008). Однако противоположные тренды по ЧПП в море Росса (повышение) и в акватории к западу от Антарктического полуострова (снижение) совпадали с увеличением (море Росса) и уменьшением (акватория к западу от Антарктического полуострова) площади морского льда¹⁷ (Montes-Hugo and others, 2009; Ducklow and others, 2013). Прослежена связь снижения ЧПП со сдвигом в размерных спектрах фитопланктона, вызванным повышением температуры морской поверхности: от скоплений с преобладанием микропланктона (диатомеи) — к нанопланктону и пикозукариотам (Moline and others, 2004; Montes-Hugo and others, 2009). Прослежена также на связь между, с одной стороны, потеплением воды и измельчением фитопланктона, а с другой — расширением ареала *Emiliana huxleyi* с приполярного региона Антарктики на регион полярных морских льдов (Cubillos and others, 2007).

Межгодовые колебания в протяженности морского льда у Антарктического полуострова отражаются также, судя по всему, на относительной численности двух доминирующих поедателей планктона: криля (*Euphausia superba*) и салпа (*Salpa thompsoni*). Пополнение крилевых популяций, зависящее от выживания личинок криля зимой, является популяционным параметром, на который с большой долей вероятности повлияет изменение климата (Flores and others, 2012). Было обнаружено, что численность у *E. superba* увеличивается после таких зим, когда обширные морские пространства покрываются льдом, а у салпы — после таких зим, когда пространственная распространенность обледенения относительно невелика (Loeb and others, 1997). Таким образом, если крилевые популяции, видимо, пострадали

¹⁷ См. Michon Scott and Kathryn Hansen, "Sea ice", Earth Observatory, 16 September 2016.

от сокращения морского льда, то сальпы, похоже, выиграли от потепления поверхностных вод за последнее столетие (Loeb and Santora 2012). Наблюдаемое уменьшение площади морского льда предвещает долгосрочный сдвиг в пищевой сети, при котором вместо *E. superba* станут доминировать сальпы, что повлечет за собой неизвестные каскадные последствия для численности позвоночных хищников (Henschke and others, 2016).

7.2.2. Северный Ледовитый океан

Северный Ледовитый океан находится в процессе перехода к более теплomu состоянию (см. Buchholz and others, 2010). В отличие от Антарктики протяженность морского льда сократилась (1998–2015 годы) во всех секторах Арктики из-за повышения температуры морской поверхности (Kahru and others, 2016). Указывалось на связь этой тенденции с увеличением ЧПП (Arrigo and van Dijken, 2011; Hill and others, 2017) и увеличением биомассы пикозукариот за счет микропланктонных диатомей при усилении вертикальной стратификации водной толщи (Li and others, 2009).

Как и в прибрежных водах западной части Арктического полуострова, криль является важной добычей для ряда организмов, включая корюшек. Между 1984–1992 и 2007–2015 годами численность криля увеличилась в юго-западной и центральной частях Баренцева моря, несмотря на высокий уровень хищничества со стороны корюшек, вероятными причинами чего являются повышение температуры, усиление адвекции криля в Баренцево море (Slagstad and others, 2011) и увеличение ЧПП фитопланктона (Dalpadado and others, 2014). Потепление также повлияло на относительную численность видов криля, причем у бореального вида *Meganucliptanes norvegica* численность увеличилась, а у холодноводного вида *Thysanoessa raschii* — уменьшилась (Rasmussen, 2018).

7.3. Североатлантический высокоширотный регион весеннего цветения

В водах североатлантического высокоширотного региона весеннего цветения, сезонно богатых питательными веществами, сочетание таких двух факторов, как потепление верхнего слоя океана и более раннее наступление сезонного пикноклина¹⁸, ведет к увеличению доступности солнечного света и продолжительности периода роста. В результате в последние десятилетия (1979–2010 годы) происходило увеличение ЧПП (Dalpadado and others, 2014; Raitsoos and others, 2014), что сопровождалось ростом численности пикозукариот и кокколитофорид по сравнению с диатомеями (Li and others, 2009), уменьшением среднего размера фитопланктона и зоопланктона и усилением биоразнообразия планктонных скоплений (Hoegh-Guldberg and Bruno, 2010; Edwards and others, 2013).

Хорошо задокументирована экспансия ареала планктонных организмов к полюсу, происходящее в ответ на потепление верхних слоев океана (Poloczanska and others, 2013), особенно в Северной Атлантике: в Баренцево море появился *Emiliana huxleyi* (Smyth and others, 2004), в Северном море *Calanus helgolandicus* вытесняет *C. finmarchicus* (Edwards and others, 2013), и происходит экспансия к полюсу у ареалов кальцифицирующих видов планктона (фораминифер, кокколитофорид и крылоногих) (Beaugrand and others, 2013; Winter and others, 2014).

В ответ на потепление верхних слоев океана меняется также фенология¹⁹ видов фитопланктона и зоопланктона (1958–2002 годы). Так, между 1958 и 2002 годом сезонный пик численности *Calanus finmarchicus* в Северной Атлантике стал наступать раньше, и к концу столетия этот сдвиг в более раннюю сторону составил примерно 10 дней по сравнению с предыдущим периодом, а у микропланктонных диатомей и динофлагеллят,

¹⁸ Пикноклин — это вертикальная зона, в которой происходит скачок плотности от поверхностного слоя (где плотность относительно низка) к более глубокому (где плотность относительно высока). В североатлантическом высокоширотном регионе весеннего цветения начинает формироваться сезонный пикноклин: в конце зимы — начале весны поверхностный слой начинает нагреваться солнцем, что повышает доступность солнечной энергии для фотосинтеза.

¹⁹ Под фенологией понимаются сроки наступления биологических событий (например, размножения и миграции) у растений и животных в зависимости от сезона и климата.

поедаемых этим веслоногим ракообразным, такой пик стал наступать на примерно 30 дней раньше (Edwards and Richardson, 2004). Точно так же цветение диатомей в Северном море происходит в году раньше, чем наступает пик численности у поедающего их макрозоопланктона (Hays and others, 2005). Такая расстыковка трофических уровней зафиксирована также в Балтийском море, где продолжительность периода роста увеличивалась в 1988–2017 годах на 4,5 дня в год, что приводило к более раннему весеннему цветению, более длительному периоду летнего минимума биомассы и более позднему и более продолжительному осеннему цветению (Wasmund and others, 2019).

7.4. Регионы апвеллинга

В восточных пограничных системах апвеллинга увеличивалась (1996–2011 годы) диатомовая продукция (Kahru and others, 2012), а в тихоокеанском регионе экваториального апвеллинга увеличивалась ЧПП (Chavez and others, 2011), по-видимому из-за усиления апвеллинга (Tim and others, 2016). Однако закисление океана в системах прибрежного апвеллинга оказывает коррозионное воздействие на раковины крылоногих (*Limacina helicina*) (Bednaršek and others, 2014). Ухудшение пригодности среды обитания для крылоногих будет, вероятно, постепенно сказываться на метазойных пищевых сетях (Bednaršek and others, 2012; Lischka and others, 2011). Аналогичные последствия закисления океана могут также наступить в Южном

и Северном Ледовитом океанах (Comeau and others, 2009; Negrete-García and others, 2019).

7.5. Субтропические круговые течения

Во многом из-за сокращения численности диатомей и хлорофитов (Gregg and others, 2017) во всех круговых течениях, кроме как в южной части Тихого океана, зафиксирована значительная тенденция к сокращению хлорофилла *a* (1998–2013 годы) (Signorini and others, 2015). Темпы сокращения были самыми высокими в Северном полушарии и самыми низкими в Южной Атлантике и Индийском океане, и эти тенденции согласуются с расширением круговых течений в Атлантическом океане и в северной части Тихого океана (Polovina and others, 2008).

Во всех пяти круговых течениях наблюдались тенденции к снижению ЧПП, которые совпадали с потеплением верхних слоев океана и уменьшением клеточного размера у фитопланктона (Polovina and Woodworth, 2012). Последнее согласуется с наблюдаемым увеличением относительной численности *Prochlorococcus* и *Synechococcus* (Flombaum and others, 2013; Agustí and others, 2019). Скорее всего, эти тенденции отражают как повышение температур (Daufresne and others, 2009; Morán and others, 2010), так и сокращение запасов питательных веществ по мере того, как эвфотическая зона становится всё более изолированной от глубоких вод, богатых нутриентами (Marañón and others, 2015; Sommer and others, 2016).

8. Перспективы

Ожидается, что изменение климата в течение XXI века продолжит приводить в верхних слоях океана к изменениям, которые будут влиять на разнообразие и продуктивность планктонных скоплений в региональном и глобальном масштабах. К числу этих изменений относятся расширение субтропических круговых течений (Polovina and others, 2011), потепление и закисление океана, снижение солёности, усиление вертикальной стратификации и уменьшение поступления неорганических питательных веществ в эвфотическую зону открытого океана (Bopp and others, 2013). Прогнозируемые биологические

реакции на эти изменения в глобальном масштабе включают следующее:

- a) вероятны уменьшение ЧПП и увеличение относительной численности пикофитопланктона (Daufresne and others, 2009; Morán and others, 2010) за счет микропланктонных диатомей (Bopp and others, 2005; Moore and others, 2018);
- b) эти тенденции будут, вероятно, распространяться через пищевые сети, приводя к снижению у океана способности обеспечивать добычей промысловое рыболовство (Worm and others, 2006; Chust and others, 2014) и

секвестрировать углерод с помощью биологической помпы (Boyd, 2015);

- c) расширение субтропических круговых течений может способствовать увеличению фиксации N_2 (Boatman and others, 2017; Follet and others, 2018), и эта тенденция может еще больше нарушить глобальный азотный цикл (Jiang and others, 2018);
- d) из-за высокой растворимости CO_2 в холодных водах сильнее всего от закисления океана пострадают планктонные пищевые сети в полярных океанских акваториях и регионах прибрежного апвеллинга (Bednaršek and others, 2014; Gardner and others, 2018).

Прогнозируется, что на протяжении XXI столетия из-за экологических изменений в эвфотической зоне будут отмечаться региональные исключения в направлении от субтропических круговых течений к полюсам, включая увеличение доступности солнечного света при уменьшении в богатых нутриентами средах той глубины, на которой находится поверхностный перемешанный слой (способствующее увеличению ЧПП), повышение температуры и снижение солёности (способствующее росту мелкого фитопланктона) (Tréguer and others, 2018). Стоит упомянуть следующие примеры:

- a) увеличение ЧПП и уменьшение размера фитопланктона в Северном Ледовитом океане (Mueter and others, 2009; Kahru and others, 2011; Dalpadado and others, 2014);
- b) увеличение ЧПП, экспортной продукции и численности диатомей в первой половине

столетия в антарктическом регионе полярных морских льдов (Bopp and others, 2001; Kaufman and others, 2017; Moore and others, 2018);

- c) расширение ареала *Emiliania huxleyi* в полярные океаны (Winter and others, 2014) и учащение цветения кокколитофорид в высокоширотных регионах весеннего цветения (Bopp and others, 2013; Rivero-Calle and others, 2015);
- d) увеличение ЧПП и снижение относительной численности диатомей в североатлантическом высокоширотном регионе цветения (Bopp and others, 2005, 2013; Sundby and others, 2016).

Прогнозы будущих тенденций, характеризующих ЧПП в регионах прибрежного апвеллинга, менее точны из-за неопределенности в отношении того, к чему приведут взаимодействия между усилением ветров, благоприятствующих апвеллингу (усиление апвеллинга, увеличение ЧПП и рост относительной численности диатомей), и потеплением верхнего слоя океана (ослабление апвеллинга, уменьшение ЧПП и сокращение относительной численности диатомей) (Chavez and others, 2011; García-Reyes and others, 2015).

В этом контексте необходимо подчеркнуть, что в настоящем анализе воздействий изменения климата на планктонные сообщества не рассматривается транспоколенческая адаптация к вызываемым климатом изменениям в среде верхних слоев океана (например, Schlüter and others, 2014; Thor and Dupont, 2015).

Справочная литература

- Acevedo-Trejos, Esteban, and others (2018). Phytoplankton size diversity and ecosystem function relationships across oceanic regions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 285, No. 1879, pp. 20180621.
- Agusti, Susana, and others (2019). Projected changes in photosynthetic picoplankton in a warmer subtropical ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 506.
- Allredge, A.L., and L.P. Madin (1982). Pelagic tunicates: unique herbivores in the marine plankton. *Bioscience*, vol. 32, No. 8, pp. 655–663.
- Allredge, Alice L. (1984). The quantitative significance of gelatinous zooplankton as pelagic consumers. In *Flows of Energy and Materials in Marine Ecosystems*, pp. 407–433. Boston, MA: Springer.
- Amaral-Zettler, Linda, and others (2010). A global census of marine microbes. *Life in the World's Oceans: Diversity, Distribution and Abundance*, pp. 223–245.

- Angel, Martin V., and others (2007). Changes in the composition of planktonic ostracod populations across a range of latitudes in the North-east Atlantic. *Progress in Oceanography*, vol. 73, No. 1, pp. 60–78.
- Angly, Florent E., and others (2006). The marine viromes of four oceanic regions. *PLoS Biology*, vol. 4, No. 11, e368.
- Appeltans, Ward, and others (2012). The magnitude of global marine species diversity. *Current Biology*, vol. 22, No. 23, pp. 2189–2202.
- Arrigo, Kevin R., and Gert L. van Dijken (2011). Secular trends in Arctic Ocean net primary production. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 116, No.C 9.
- Arrigo, Kevin R., and others (2008). Primary production in the Southern Ocean, 1997–2006. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 113, No.C 8.
- Azam, Farooq, and Francesca Malfatti (2007). Microbial structuring of marine ecosystems. *Nature Reviews Microbiology*, vol. 5, pp. 782–791.
- Baker, A. de C., and others (1990). A practical guide to the euphausiids of the world. *British Museum (Natural History)*, vol. 96.
- Balch, William M., and others (2016). Factors regulating the Great Calcite Belt in the Southern Ocean and its biogeochemical significance. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 30, No. 8, pp. 1124–1144.
- Bar-On, Yinon M., and others (2018). The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 25, pp. 6506–6511.
- Basu, Samarpita, and Katherine R. M. Mackey (2018). Phytoplankton as key mediators of the biological carbon pump: Their responses to a changing climate. *Sustainability*, vol. 10, No. 3.
- Batten, Sonia D., and others (2019). A global plankton diversity monitoring program. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 321.
- Beaugrand, Grégory (2005). Monitoring pelagic ecosystems using plankton indicators. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 62, No. 3, pp. 333–338.
- Beaugrand, Gregory, and others (2013). Long-term responses of North Atlantic calcifying plankton to climate change. *Nature Climate Change*, vol. 3, pp. 263–267.
- Bednaršek, N., and others (2012). Extensive dissolution of live pteropods in the Southern Ocean. *Nature Geoscience*, vol. 5, No. 12, pp. 881–885.
- Bednaršek, N., and others (2014). *Limacina helicina* shell dissolution as an indicator of declining habitat suitability owing to ocean acidification in the California Current Ecosystem. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 281, No. 1785, 20140123.
- Behrenfeld, M.J., and others. 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature*, vol. 444, pp. 752–755. <https://doi.org/10.1038/nature05317>.
- Benavides M., and others (2018). Deep into oceanic N₂ fixation. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 108. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00108>.
- Berger, Wolfgang H. (1969). Ecologic patterns of living planktonic foraminifera. In *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, vol. 16: pp. 1–24. Elsevier.
- Blanchard, Julia L., and others (2012). Potential consequences of climate change for primary production and fish production in large marine ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 367, No. 1605, pp. 2979–2989.
- Boatman, Tobias G., and others (2017). A key marine diazotroph in a changing ocean: the interacting effects of temperature, CO₂ and light on the growth of *Trichodesmium erythraeum* IMS101. *PLoS One*, vol. 12, No. 1, e0168796.
- Boltovskoy, Demetrio, and others (2003). Marine zooplanktonic diversity: a view from the South Atlantic. *Oceanologica Acta*, vol. 25, No. 5, pp. 271–278.

- Boopendranath, M.R. (2013). Antarctic krill—A keystone species of Antarctica. *Science India*, vol. 16, pp. 4–10.
- Bopp, Laurent, and others (2001). Potential impact of climate change on marine export production. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 15, No. 1, pp. 81–99.
- Bopp, Laurent, and others (2005). Response of diatoms distribution to global warming and potential implications: A global model study. *Geophysical Research Letters*, vol. 32, No. 19.
- Bopp, Laurent, and others (2013). Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models. *Biogeosciences*, vol. 10, pp. 6225–6245.
- Boyce, Daniel G., and others (2015). Spatial patterns and predictors of trophic control in marine ecosystems. *Ecology Letters*, vol. 18, No. 10, pp. 1001–1011.
- Boyd, Philip W. (2015). Toward quantifying the response of the oceans' biological pump to climate change. *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, art. 77.
- Breitbart, Mya, and others (2004). Diversity and population structure of a near-shore marine-sediment viral community. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, vol. 271, No. 1539, pp. 565–574.
- Breitbarth, Eike, and others (2007). Physiological constraints on the global distribution of *Trichodesmium*? Effect of temperature on diazotrophy. *Biogeosciences*, vol. 4, No. 1, pp. 53–61.
- Brown, Christopher W., and James A. Yoder (1994). Coccolithophorid blooms in the global ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 99, No. C 4, pp. 7467–7482.
- Buchholz, Friedrich, and others (2010). Ten years after: krill as indicator of changes in the macro-zooplankton communities of two Arctic fjords. *Polar Biology*, vol. 33, No. 1, pp. 101–113.
- Bucklin, Ann, and others (2010). A census of zooplankton of the global ocean. *Life in the World's Oceans: Diversity, Distribution, and Abundance*, Edited by: McIntyre, A247–265.
- Bucklin, Ann, and others (2016). Metabarcoding of marine zooplankton: prospects, progress and pitfalls. *Journal of Plankton Research*, vol. 38, No. 3, pp. 393–400.
- Buitenhuis, Erik Theodoor, and others (2012). Picophytoplankton biomass distribution in the global ocean. *Earth System Science Data*, vol. 4, No. 1, pp. 37–46.
- Bullock, Hannah A., and others (2017). Evolution of dimethylsulfoniopropionate metabolism in marine phytoplankton and bacteria. *Frontiers in Microbiology*, vol. 8, art. 637.
- Burrige, Alice K., and others (2017). Diversity and distribution of hyperiid amphipods along a latitudinal transect in the Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, vol. 158, pp. 224–235.
- Calbet, Albert (2008). The trophic roles of microzooplankton in marine systems. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 65, No3, pp. 325–331.
- Canonico, Gabrielle, and others (2019). Global observational needs and resources for marine biodiversity. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 367.
- Caron, David A. (2016). Mixotrophy stirs up our understanding of marine food webs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, No. 11, pp. 2806–2808.
- Caron, David A., and N. R. Swanberg (1990). The ecology of planktonic sarcodines. *Reviews in Aquatic Sciences*, vol. 3, pp. 147–80.
- Chavez, Francisco P., and others (2011). Marine primary production in relation to climate variability and change. *Annual Review of Marine Science*, vol. 3, pp. 227–260.
- Chisholm, Sallie W. (1992). Phytoplankton Size. In *Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea*, eds. Paul G. Falkowski, Avril D. Woodhead, and Katherine Vivirito, pp. 213–237. Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0762-2_12.
- Chisholm, Sallie W. (2017). *Prochlorococcus*. *Current Biology*, vol. 27, No. 11, pp. R447–R448.

- Church, Matthew J., and others (2003). Abundance and distribution of planktonic Archaea and Bacteria in the waters west of the Antarctic Peninsula. *Limnology and Oceanography*, vol. 48, No. 5, pp. 1893–1902.
- Chust, Guillem, and others (2014). Biomass changes and trophic amplification of plankton in a warmer ocean. *Global Change Biology*, vol. 20, No. 7, pp. 2124–2139.
- Comeau, S., and others (2009). Impact of ocean acidification on a key Arctic pelagic mollusc (*Limacina helicina*). *Biogeosciences*, vol. 6, No. 9, pp. 1877–1882.
- Costello, Mark J., and Chhaya Chaudhary (2017). Marine biodiversity, biogeography, deep-sea gradients, and conservation. *Current Biology*, vol. 27, No. 11, pp. R511–R527.
- Coutinho, Felipe H., and others (2017). Marine viruses discovered via metagenomics shed light on viral strategies throughout the oceans. *Nature Communications*, vol. 8, art. 15955.
- Cubillos, J.C., and others (2007). Calcification morphotypes of the coccolithophorid *Emiliana huxleyi* in the Southern Ocean: changes in 2001 to 2006 compared to historical data. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 348, pp. 47–54.
- Dalpadado, Padmini, and others (2014). Productivity in the Barents Sea-response to recent climate variability. *PloS One*, vol. 9, No. 5, e95273.
- Danovaro, R., and others (2015). Towards a better quantitative assessment of the relevance of deep-sea viruses, Bacteria and Archaea in the functioning of the ocean seafloor. *Aquatic Microbial Ecology*, vol. 75, No. 1, pp. 81–90.
- Danovaro, Roberto, and others (2017). Marine archaea and archaeal viruses under global change. *F1000Research*, vol. 6.
- Daponte, M.C., and others (2004). *Sagitta friderici* Ritter-Záhony (Chaetognatha) from South Atlantic waters: abundance, population structure, and life cycle. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 61, No. 4, pp. 680–686.
- Daufresne, Martin, and others (2009). Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, No. 31, pp. 12788–12793.
- Delong, E.F. (2009) The microbial ocean from genomes to biomes. *Nature*, vol. 459, pp. 200–206.
- Deibel, Don, and Ben Lowen (2012). A review of the life cycles and life-history adaptations of pelagic tunicates to environmental conditions. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 69, No. 3, pp. 358–369.
- Del Giorgio, Paul A., and Carlos M. Duarte (2002). Respiration in the open ocean. *Nature*, vol. 420, pp. 379–384.
- Delmont, Tom O., and others (2018). Nitrogen-fixing populations of Planctomycetes and Proteobacteria are abundant in surface ocean metagenomes. *Nature Microbiology*, vol. 3, No. 7, pp. 804–813.
- De Vargas, Colomban, and others (2015). Eukaryotic plankton diversity in the sunlit ocean. *Science*, vol. 348, No. 6237.
- Ducklow, Hugh W., and others (2013). West Antarctic Peninsula: an ice-dependent coastal marine ecosystem in transition. *Oceanography*, vol. 26, No. 3, pp. 190–203.
- Edwards, Martin, and others (2013). Impacts of climate change on plankton. *MCCIP Science Review*, vol. 2013, pp. 98–112.
- Edwards, Martin, and Anthony J. Richardson (2004). Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature*, vol. 430, pp. 881–884.
- Fenchel, T. (1982). Ecology of heterotrophic microflagellates. IV. Quantitative occurrence and importance as bacterial consumers. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 9, pp. 35–42.
- Fenchel, Tom (1988). Marine plankton food chains. *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 19, No. 1, pp. 19–38.

- Field, Christopher B., and others (1998). Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, vol. 281, No. 5374, pp. 237–240.
- Flombaum, Pedro, and others (2013). Present and future global distributions of the marine Cyanobacteria *Prochlorococcus* and *Synechococcus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, No. 24, pp. 9824–9829.
- Flores, Hauke, and others (2012). Impact of climate change on Antarctic krill. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 458, pp. 1–19.
- Follett, Christopher L., and others (2018). Seasonal resource conditions favor a summertime increase in North Pacific diatom–diazotroph associations. *The ISME Journal*, vol. 12, pp. 1543–1557.
- Follows, Michael J., and others (2007). Emergent biogeography of microbial communities in a model ocean. *Science*, vol. 315, No. 5820, pp. 1843–1846.
- Fuhrman, Jed A., and David A. Caron (2016). Heterotrophic planktonic microbes: virus, bacteria, archaea, and protozoa. In *Manual of Environmental Microbiology, Fourth Edition*, pp. 4–2. American Society of Microbiology.
- Galloway, James N., and others (2004). Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry*, vol. 70, No. 2, pp. 153–226.
- García-Reyes, Marisol, and others (2015). Under pressure: climate change, upwelling, and eastern boundary upwelling ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, art. 109.
- Gardner, Jessie, and others (2018). Southern Ocean pteropods at risk from ocean warming and acidification. *Marine Biology*, vol. 165, art. 8.
- Gasca, Rebeca, and Steven H.D. Haddock (2004). Associations between gelatinous zooplankton and hyperiid amphipods (Crustacea: Peracarida) in the Gulf of California. *Hydrobiologia*, vol. 530, Nos. 1–3, pp. 529–535.
- Gasol, Josep M., and others (1997). Biomass distribution in marine planktonic communities. *Limnology and Oceanography*, vol. 42, No. 6, pp. 1353–1363.
- Giovannoni, Stephen J. (2017). SAR11 bacteria: the most abundant plankton in the oceans. *Annual Review of Marine Science*, vol. 9, pp. 231–255.
- Glibert, Patricia M., and others (2008). *Prorocentrum* minimum tracks anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs on a global basis: application of spatially explicit nutrient export models. *Harmful Algae*, vol. 8, No. 1, pp. 33–38.
- Goetze, Erica (2010). Species discovery in marine planktonic invertebrates through global molecular screening. *Molecular Ecology*, vol. 19, No. 5, pp. 952–967.
- Gregg, Watson W., and others (2017). Global trends in ocean phytoplankton: a new assessment using revised ocean colour data. *Remote Sensing Letters*, vol. 8, pp. 1102–1111.
- Gruber, Nicolas (2004). The dynamics of the marine nitrogen cycle and its influence on atmospheric CO₂ variations. In *The Ocean Carbon Cycle and Climate*, pp. 97–148. Springer.
- _____ (2019). A diagnosis for marine nitrogen fixation. *Nature*, vol. 566, pp. 191–193.
- Hallegraeff, Gustaaf M., and others (2004). *Manual on Harmful Marine Microalgae*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Harbison, G.R. (1985). On the classification and evolution of the Ctenophora. In *The Origins and Relationships of Lower Invertebrates*, pp. 78–100.
- Harvey, Julio B.J., and others (2017). Comparison of morphological and next generation DNA sequencing methods for assessing zooplankton assemblages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 487, pp. 113–126.
- Hays, Graeme C., and others (2005). Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 20, No. 6, pp. 337–344.

- Henschke, Natasha, and others (2016). Rethinking the role of salps in the ocean. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 31, No. 9, pp. 720–733.
- Hill, Victoria, and others (2017). Decadal trends in phytoplankton production in the Pacific Arctic Region from 1950 to 2012. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 152, pp. 82–94.
- Hoegh-Guldberg, Ove, and John F. Bruno (2010). The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science*, vol. 328, No. 5985, pp. 1523–1528.
- Hoegh-Guldberg, Ove, and others (2014): The Ocean. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Barros, V.R., and others (eds.) (Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, United States), pp. 1655–1731.
- Hoegh-Guldberg, Ove, and Elvira S. Poloczanska (2017). The Effect of Climate Change across Ocean Regions. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 361.
- Honjo, Susumu, and others (2014). Understanding the role of the biological pump in the global carbon cycle: an imperative for ocean science. *Oceanography*, vol. 27, No. 3, pp. 10–16.
- Hughes, T.P., and others (2000). Supply-side ecology works both ways: the link between benthic adults, fecundity, and larval recruits. *Ecology*, vol. 81, No. 8, pp. 2241–2249.
- Iglesias-Rodríguez, M. Débora, and others (2002). Representing key phytoplankton functional groups in ocean carbon cycle models: Coccolithophorids. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 16, No. 4, pp. 47–1.
- Jennings, Robert M., and others (2010). Species diversity of planktonic gastropods (Pteropoda and Heteropoda) from six ocean regions based on DNA barcode analysis. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 57, Nos. 24–26, pp. 2199–2210.
- Jiang, Hai-Bo, and others (2018). Ocean warming alleviates iron limitation of marine nitrogen fixation. *Nature Climate Change*, vol. 8, pp. 709–712.
- Kahru, M., and others (2011). Are phytoplankton blooms occurring earlier in the Arctic? *Global Change Biology*, vol. 17, No. 4, pp. 1733–1739.
- Kahru, M., and others (2012). Trends in the surface chlorophyll of the California Current: Merging data from multiple ocean color satellites. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 77, pp. 89–98.
- Kahru, M., and others (2016). Effects of sea ice cover on satellite-detected primary production in the Arctic Ocean. *Biology Letters*, vol. 12, No. 11, 20160223.
- Karl, D.M., and others (2002). Dinitrogen fixation in the World's oceans. *Biogeochemistry*, vols.57–58, pp. 47–98. <https://doi.org/10.1023/A:1015798105851>.
- Karner, Markus B., and others (2001). Archaeal dominance in the mesopelagic zone of the Pacific Ocean. *Nature*, vol. 409, pp. 507–510.
- Kaufman, Daniel E., and others (2017). Climate change impacts on southern Ross Sea phytoplankton composition, productivity, and export. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 122, No. 3, pp. 2339–2359.
- Keller, Maureen D., and others (1989). Dimethyl sulfide production in marine phytoplankton: The Importance of Species Composition and Cell Size. *Biological Oceanography*, vol. 6, Nos. 5–6, pp. 75–382.
- Kent, Alyssa G., and others (2016). Global biogeography of *Prochlorococcus* genome diversity in the surface ocean. *The ISME Journal*, vol. 10, pp. 1856–1865.
- Kjørboe, Thomas (2011). How zooplankton feed: mechanisms, traits and trade-offs. *Biological Reviews*, vol. 86, No. 2, pp. 311–339.

- Kirkham, Amy R., and others (2013). A global perspective on marine photosynthetic picoeukaryote community structure. *The ISME Journal*, vol. 7, pp. 922–936.
- Landolfi, Angela, and others (2018). Global marine N₂ fixation estimates: From observations to models. *Frontiers in Microbiology*, vol. 9, art. 2112.
- Landry, Michael R., and Albert Calbet (2004). Microzooplankton production in the oceans. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 61, No. 4, pp. 501–507.
- Le Quéré, Corinne, and others (2005). Ecosystem dynamics based on plankton functional types for global ocean biogeochemistry models. *Global Change Biology*, vol. 11, No. 11, pp. 2016–2040.
- Lefort, Thomas, and Josep M. Gasol (2013). Short-time scale coupling of picoplankton community structure and single-cell heterotrophic activity in winter in coastal NW Mediterranean Sea waters. *Journal of Plankton Research*, vol. 36, No. 1, pp. 243–258.
- Legendre, Louis, and Josée Michaud (1998). Flux of biogenic carbon in oceans: size-dependent regulation by pelagic food webs. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 164, pp. 1–11.
- Lelong, A. (2012). *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) species, domoic acid and amnesic shellfish poisoning: revisiting previous paradigms. *Phycologia*, vol. 51 (2), pp. 168–216.
- Li, William K.W. (1994). Primary production of prochlorophytes, cyanobacteria, and eucaryotic ultraphytoplankton: measurements from flow cytometric sorting. *Limnology and Oceanography*, vol. 39, No. 1, pp. 169–175.
- Li, William K.W., and others (2009). Smallest algae thrive as the Arctic Ocean freshens. *Science*, vol. 326, No. 5952, pp. 539–539.
- Lindeque, Penelope K., and others (2013). Next generation sequencing reveals the hidden diversity of zooplankton assemblages. *PloS One*, vol. 8, No. 11, e81327.
- Lindley, J.A., and S. D. Batten (2002). Long-term variability in the diversity of North Sea zooplankton. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol. 82, No. 1, pp. 31–40.
- Liquete, Camino, and others (2013). Current status and future prospects for the assessment of marine and coastal ecosystem services: a systematic review. *PloS One*, vol. 8, No. 7, e67737.
- Lischka, Silke, and others (2011). Impact of ocean acidification and elevated temperatures on early juveniles of the polar shelled pteropod *Limacina helicina*: mortality, shell degradation, and shell growth. *Biogeosciences (BG)*, vol. 8, pp. 919–932.
- Litchman, Elena, and others (2010). Linking traits to species diversity and community structure in phytoplankton. In *Fifty Years after the "Homage to Santa Rosalia": Old and New Paradigms on Biodiversity in Aquatic Ecosystems*, pp. 15–28. Springer.
- Loeb, Valerie, and others (1997). Effects of sea-ice extent and krill or salp dominance on the Antarctic food web. *Nature*, vol. 387, pp. 897–900.
- Loeb, V.J., and J.A. Santora (2012). Population dynamics of *Salpa thompsoni* near the Antarctic Peninsula: growth rates and interannual variations in reproductive activity (1993–2009). *Progress in Oceanography*, vol. 96, No. 1, pp. 93–107.
- Luo, Haiwei, and Mary Ann Moran (2014). Evolutionary ecology of the marine Roseobacter clade. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, vol. 78, No. 4, pp. 573–587.
- Mackas, D.L., and others (2012). Changing zooplankton seasonality in a changing ocean: Comparing time series of zooplankton phenology. *Progress in Oceanography*, vol. 97, pp. 31–62.
- Madin, L.P., and G.R. Harbison (1977). The associations of Amphipoda Hyperiidea with gelatinous zooplankton—I. Associations with Salpidae. *Deep Sea Research*, vol. 24, No. 5, pp. 449–463.
- _____ (2001). Gelatinous zooplankton. *1st Edition of Encyclopedia of Ocean Sciences*, vol. 2, pp. 1120–1130.

- Malone, T. C. (1980). Algal size. *The Physiological Ecology of Phytoplankton*.
- Mangel, Marc, and Stephen Nicol (2000). Krill and the unity of biology. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 57, (S3), pp. 1–5.
- Marañón, Emilio, and others (2001). Patterns of phytoplankton size structure and productivity in contrasting open-ocean environments. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 216, pp. 43–56.
- Marañón, Emilio, and others (2012). Temperature, resources, and phytoplankton size structure in the ocean. *Limnology and Oceanography*, vol. 57, No. 5, pp. 1266–1278.
- Marañón, Emilio, and others (2015). Resource supply alone explains the variability of marine phytoplankton size structure. *Limnology and Oceanography*, vol. 60, No. 5, pp. 1848–1854.
- Massana, Ramon, and Klaus Jürgens (2003). Composition and population dynamics of planktonic bacteria and bacterivorous flagellates in seawater chemostat cultures. *Aquatic Microbial Ecology*, vol. 32, No. 1, pp. 11–22.
- Miron, Gilles, and others (1995). Use of larval supply in benthic ecology: testing correlations between larval supply and larval settlement. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 124, pp. 301–305.
- Mitra, Aditee, and others (2016). Defining planktonic protist functional groups on mechanisms for energy and nutrient acquisition: incorporation of diverse mixotrophic strategies. *Protist*, vol. 167, No. 2, pp. 106–120.
- Moline, Mark A., and others (2004). Alteration of the food web along the Antarctic Peninsula in response to a regional warming trend. *Global Change Biology*, vol. 10, No. 12, pp. 1973–1980.
- Möllmann, Christian, and others (2003). The marine copepod, *Pseudocalanus elongatus*, as a mediator between climate variability and fisheries in the Central Baltic Sea. *Fisheries Oceanography*, vol. 12, Nos. 4–5, pp. 360–368.
- Monteiro, Fanny Meline, and others (2010). Distribution of diverse nitrogen fixers in the global ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 24, No. 3.
- Montes-Hugo, Martin, and others (2009). Recent changes in phytoplankton communities associated with rapid regional climate change along the western Antarctic Peninsula. *Science*, vol. 323, No. 5920, pp. 1470–1473.
- Moore, J. Keith, and others (2018). Sustained climate warming drives declining marine biological productivity. *Science*, vol. 359, No. 6380, pp. 1139–1143.
- Morán, Xosé Anxelu, and others (2010). Increasing importance of small phytoplankton in a Warmer Ocean. *Global Change Biology*, vol. 16, No. 3, pp. 1137–1144. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01960.x>.
- Mousing, Erik Askov, Katherine Richardson, and Marianne Ellegaard (2018). Global patterns in phytoplankton biomass and community size structure in relation to macronutrients in the open ocean. *Limnology and Oceanography*, vol. 63, No. 3, pp. 1298–1312.
- Mueter, Franz J., and others (2009). Ecosystem responses to recent oceanographic variability in high-latitude Northern Hemisphere ecosystems. *Progress in Oceanography*, vol. 81, Nos. 1–4, pp. 93–110.
- Müren, U., and others (2005). Potential effects of elevated sea-water temperature on pelagic food webs. *Hydrobiologia*, vol. 545, No. 1, pp. 153–166.
- Negrete-García, Gabriela, and others (2019). Sudden emergence of a shallow aragonite saturation horizon in the Southern Ocean. *Nature Climate Change*, vol. 9, pp. 313–317.
- Nissen, Cara, and others (2018). Factors controlling coccolithophore biogeography in the Southern Ocean. *Biogeosciences*, vol. 15, No. 22, pp. 6997–7024.
- Not, Fabrice, and others (2007). Diversity and ecology of eukaryotic marine phytoplankton. In *Advances in Botanical Research*, vol. 64: pp. 1–53. Elsevier.

- Paez-Espino, David, and others (2019). IMG/VR v. 2.0: an integrated data management and analysis system for cultivated and environmental viral genomes. *Nucleic Acids Research*, vol. 47, No. D 1, pp. D678–D686.
- Palumbi, Stephen R., and others (2009). Managing for ocean biodiversity to sustain marine ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 7, No. 4, pp. 204–211.
- Pierce, Richard W., and Jefferson T. Turner (1992). Ecology of planktonic ciliates in marine food webs. *Reviews in Aquatic Sciences*, vol. 6, No. 2, pp. 139–181.
- Pineda, Jesús, and others (2010). Causes of decoupling between larval supply and settlement and consequences for understanding recruitment and population connectivity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 392, Nos. 1–2, pp. 9–21.
- Pitt, Kylie Anne, and others (2018). Claims that anthropogenic stressors facilitate jellyfish blooms have been amplified beyond the available evidence: a systematic review. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 451.
- Poloczanska, Elvira S., and others (2013). Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*, vol. 3, pp. 919–925.
- Polovina, Jeffrey J., and others (2011). Projected expansion of the subtropical biome and contraction of the temperate and equatorial upwelling biomes in the North Pacific under global warming. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 68, No. 6, pp. 986–995.
- Polovina, Jeffrey J., and others (2008). Ocean's least productive waters are expanding. *Geophysical Research Letters*, vol. 35, No. 3.
- Polovina, Jeffrey J., and Phoebe A. Woodworth (2012). Declines in phytoplankton cell size in the subtropical oceans estimated from satellite remotely-sensed temperature and chlorophyll, 1998–2007. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 77, pp. 82–88.
- Pomeroy, Lawrence R., and others (2007). The microbial loop. *Oceanography*, vol. 20, No. 2, pp. 28–33.
- Purcell, Jennifer E., and others (2007). Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 350, pp. 153–174.
- Raitsos, Dionysios E., and others (2014). From silk to satellite: half a century of ocean colour anomalies in the Northeast Atlantic. *Global Change Biology*, vol. 20, No. 7, pp. 2117–2123.
- Rasmussen, Astrid Fuglseth (2018). Changes in the abundance, species composition and distribution of the Barents Sea euphausiids (krill): with focus on the expansion and reproduction of *Meganyctiphanes norvegica*. Master's Thesis, Norwegian University of Life Sciences, Aas.
- Read, Betsy A., and others (2013). Pan genome of the phytoplankton *Emiliana* underpins its global distribution. *Nature*, vol. 499, pp. 209–213.
- Rivero-Calle, Sara, and others (2015). Multidecadal increase in North Atlantic coccolithophores and the potential role of rising CO₂. *Science*, vol. 350, No. 6267, pp. 1533–1537.
- Rohwer, Forest, and Rebecca Vega Thurber (2009). Viruses manipulate the marine environment. *Nature*, vol. 459, pp. 207–212.
- Rombouts, Isabelle, and others (2009). Global latitudinal variations in marine copepod diversity and environmental factors. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 276, No. 1670, pp. 3053–3062.
- Rousseaux, Cecile S., and Watson W. Gregg (2015). Recent decadal trends in global phytoplankton composition. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 29, No. 10, pp. 1674–1688.
- Salazar, Guillem, and Shinichi Sunagawa (2017). Marine microbial diversity. *Current Biology*, vol. 27, No. 11, pp. R489–R494.
- Santoro, Alyson E., and others (2019). Planktonic marine archaea. *Annual Review of Marine Science*, vol. 11, pp. 131–158.

- Sarmiento, Jorge Louis, and others (2002). A new estimate of the CaCO₃ to organic carbon export ratio. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 16, No. 4, pp. 54-1–54-12.
- Schiebel, Ralf, and Christoph Hemleben (2005). Modern planktic foraminifera. *Paläontologische Zeitschrift*, vol. 79, No. 1, pp. 135–148.
- Schlüter, Lothar, and others (2014). Adaptation of a globally important coccolithophore to ocean warming and acidification. *Nature Climate Change*, vol. 4, pp. 1024–1030.
- Schoemann, Véronique, and others (2005). *Phaeocystis* blooms in the global ocean and their controlling mechanisms: a review. *Journal of Sea Research*, vol. 53, Nos. 1–2, pp. 43–66.
- Sherr, Evelyn B., and Barry F. Sherr (2007). Heterotrophic dinoflagellates: a significant component of microzooplankton biomass and major grazers of diatoms in the sea. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 352, pp. 187–197.
- Sherr, Evelyn B., and others (2009). Microzooplankton grazing impact in the Western Arctic Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 56, No. 17, pp. 1264–1273.
- Sieburth, John McN., and others (1978). Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography*, vol. 23, No. 6, pp. 1256–1263.
- Sieradzki, Ella T., and others (2019). Dynamic marine viral infections and major contribution to photosynthetic processes shown by spatiotemporal picoplankton metatranscriptomes. *Nature Communications*, vol. 10, art. 1169.
- Signorini, Sergio R., and others (2015). Chlorophyll variability in the oligotrophic gyres: mechanisms, seasonality and trends. *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, art. 1.
- Silberberger, Marc J., and others (2016). Spatial and temporal structure of the meroplankton community in a sub-Arctic shelf system. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 555, pp. 79–93.
- Simmonds, Peter, and others (2017). Consensus statement: virus taxonomy in the age of metagenomics. *Nature Reviews Microbiology*, vol. 15, pp. 161–168.
- Simon, Nathalie, and others (2009). Diversity and evolution of marine phytoplankton. *Comptes Rendus Biologies*, vol. 332, Nos. 2–3, pp. 159–170.
- Slagstad, D., and others (2011). Evaluating primary and secondary production in an Arctic Ocean void of summer sea ice: an experimental simulation approach. *Progress in Oceanography*, vol. 90, Nos. 1–4, pp. 117–131.
- Smith, Helen E.K., and others (2017). The influence of environmental variability on the biogeography of coccolithophores and diatoms in the Great Calcite Belt. *Biogeosciences*, vol. 14, pp. 4905–4925.
- Smyth, T.J., and others (2004). Time series of coccolithophore activity in the Barents Sea, from twenty years of satellite imagery. *Geophysical Research Letters*, vol. 31, No. 11.
- Sommer, Ulrich, and others (2002). Pelagic food web configurations at different levels of nutrient richness and their implications for the ratio fish production: primary production. In *Sustainable Increase of Marine Harvesting: Fundamental Mechanisms and New Concepts*, pp. 11–20. Springer.
- Sommer, Ulrich, and others (2016). Benefits, costs and taxonomic distribution of marine phytoplankton body size. *Journal of Plankton Research*, vol. 39, No. 3, pp. 494–508.
- Sommer, Ulrich, and others (2017). Do marine phytoplankton follow Bergmann's rule sensu lato? *Biological Reviews*, vol. 92, No. 2, pp. 1011–1026.
- Sournia, Alain, and others (1991). Marine phytoplankton: how many species in the world ocean? *Journal of Plankton Research*, vol. 13, No. 5, pp. 1093–1099.
- Sunagawa, Shinichi, and others (2015). Structure and function of the global ocean microbiome. *Science*, vol. 348, No. 6237, 1261359.

- Sundby, Svein, and others (2016). The North Atlantic spring-bloom system—Where the changing climate meets the winter dark. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 28.
- Suttle, Curtis A. (2007). Marine viruses—major players in the global ecosystem. *Nature Reviews Microbiology*, vol. 5, pp. 801–812.
- Swalethorp, Rasmus, and others (2019). Microzooplankton distribution in the Amundsen Sea Polynya (Antarctica) during an extensive *Phaeocystis antarctica* bloom. *Progress in Oceanography*, vol. 170, pp. 1–10.
- Thackeray, Stephen J., and others (2010). Trophic level asynchrony in rates of phenological change for marine, freshwater and terrestrial environments. *Global Change Biology*, vol. 16, No. 12, pp. 3304–3313.
- Thor, Peter, and Sam Dupont (2015). Transgenerational effects alleviate severe fecundity loss during ocean acidification in a ubiquitous planktonic copepod. *Global Change Biology*, vol. 21, No. 6, pp. 2261–2271.
- Tim, N., and others. (2016). The importance of external climate forcing for the variability and trends of coastal upwelling in past and future climate. *Ocean Science*, vol. 12, pp. 807–823.
- Tréguer, Paul, and others (2018). Influence of diatom diversity on the ocean biological carbon pump. *Nature Geoscience*, vol. 11, pp. 27–37.
- Uitz, Julia, and others (2010). Phytoplankton class-specific primary production in the world's oceans: Seasonal and interannual variability from satellite observations. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 24, No. 3.
- _____ (2017a). Chapter 34: Global patterns in marine biodiversity. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 501–524. <https://doi.org/10.1017/9781108186148.037>.
- United Nations (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017c). Chapter 6: Primary production, cycling of nutrients, surface layer and plankton. In United Nations (ed.), *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 119–148. <https://doi.org/10.1017/9781108186148.009>.
- Valdés, Valentina, and others (2017). Scaling copepod grazing in a coastal upwelling system: the importance of community size structure for phytoplankton C flux. *Latin American Journal of Aquatic Research*, vol. 45, No. 1, pp. 41–54.
- Vallina, Sergio M., and others (2014). Global relationship between phytoplankton diversity and productivity in the ocean. *Nature Communications*, vol. 5, art. 4299.
- Vaulot, Daniel, and others (2008). The diversity of small eukaryotic phytoplankton ($\leq 3 \mu\text{m}$) in marine ecosystems. *FEMS Microbiology Reviews*, vol. 32, No. 5, pp. 795–820.
- Verity, Peter G., and Victor Smetacek (1996). Organism life cycles, predation, and the structure of marine pelagic ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 130, pp. 277–293.
- Vinogradov, Mikhail Evgen'evich, and others (1996). *Hyperiid amphipods (Amphipoda, Hyperiidea) of the world oceans*. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Libraries [перевод (с исправлениями) публикации: Виноградов Михаил Евгеньевич и др. (1982). Амфиподы-гиперииды Мирового океана (Amphipoda, Hyperiidea). *Определители по фауне СССР, издаваемые Зоологическим институтом Академии наук СССР*, № 132].
- Vogt, Meike, and others (2012). Global marine plankton functional type biomass distributions: *Phaeocystis* spp. *Earth System Science Data*, vol. 4, No. 1, pp. 107–120.
- Ward, Ben A., and others (2012). A size-structured food-web model for the global ocean. *Limnology and Oceanography*, vol. 57, No. 6, pp. 1877–1891.

- Wasmund, Norbert, and others (2019). Extension of the growing season of phytoplankton in the western Baltic Sea in response to climate change. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 622, pp. 1–16.
- Wells, Mark L., and others (2015). Harmful algal blooms and climate change: Learning from the past and present to forecast the future. *Harmful Algae*, vol. 49, pp. 68–93.
- Westberry, T., and others (2008). Carbon-based primary productivity modeling with vertically resolved photoacclimation. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 22, No. 2.
- White, Angelicque E., and others (2018). Temporal Variability of *Trichodesmium* spp. and Diatom-Diazotroph Assemblages in the North Pacific Subtropical Gyre. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 27.
- Wiebe, Peter H., and others (2010). Deep-sea sampling on CMarZ cruises in the Atlantic Ocean—An introduction. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 57, Nos. 24–26, pp. 2157–2166.
- Wietz, Matthias, and others (2010). Latitudinal patterns in the abundance of major marine bacterioplankton groups. *Aquatic Microbial Ecology*, vol. 61, No. 2, pp. 179–189.
- Winter, Amos, and others (2014). Poleward expansion of the coccolithophore *Emiliana huxleyi*. *Journal of Plankton Research*, vol. 36, No. 2, pp. 316–325.
- Wood, Sylvia L.R., and others (2018). Distilling the role of ecosystem services in the Sustainable Development Goals. *Ecosystem Services*, vol. 29, pp. 70–82.
- Worden, Alexandra Z., and Fabrice Not (2008). Ecology and diversity of picoeukaryotes. *Microbial Ecology of the Oceans*, vol. 2, pp. 159–205.
- Worm, Boris, and others (2006). Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, vol. 314, No. 5800, pp. 787–790.
- Yooseph, Shibu, and others (2010). Genomic and functional adaptation in surface ocean planktonic prokaryotes. *Nature*, vol. 468, pp. 60–66.

Глава 6В

Морские

беспозвоночные

Участники: Лис Л. Йёргенсен (координатор), Христос Арванитидис, Нгуен Кхак Бат, Силвана Н. Р. Берченаф, Лен Вандепитте, Джудит Гобин, Алан Дейдун, Ана К. М. ди Жезуш, Малколм Р. Кларк, Игор Кристину Силва Крус, Марина Кунья, Кармен Мифсуд, Пак Чхуль (ведущий участник, ответственный за главу), Рейчел Пшеславски, Джейк Райс, Пол Снелгроув, Наталья Стрелкова, Леннерт Схеперс и Маруф Хоссайн.

Ключевые тезисы

- По состоянию на 2019 год во всем мире было описано 153 434 вида морских бентических беспозвоночных.
- С 2012 года исследователями было описано 10 777 новых таких видов. В то же время биоразнообразие меняется на планете с беспрецедентной в истории человечества скоростью, что чревато исчезновением видов еще до того, как они будут описаны.
- Морское глубоководье покрывает 43 процента земной поверхности, однако примерно 95 процентов видов морских беспозвоночных до сих пор не описаны.
- Основные нагрузки на морских беспозвоночных включают повышение температуры, физическое воздействие закисления океана на морское дно, добычу живых и неживых ресурсов, пользование прибрежной зоной, появление инвазивных видов и загрязнение.
- На крупных пространствах земного шара, включая районы за пределами национальной юрисдикции, по-прежнему недостает эффективных и адекватных инструментов для долговременного экосистемного мониторинга морских беспозвоночных и их защиты.
- Хотя многие важные экосистемные процессы, функции, товары и услуги стали объектом новых исследований, сохраняются огромные пробелы в знаниях о том, как сокращение биоразнообразия бентических беспозвоночных сказывается на человеческом благополучии и экосистемной динамике.

1. Введение

Настоящая подглава посвящена бентическим креветкам, червям, брюхоногим и двусторчатым моллюскам, а также иным беспозвоночным, которые живут на морском дне или в нем и являются важными источниками пищи для рыб, морских млекопитающих, морских птиц и людей, а также некоторым видам беспозвоночных, которые являются объектом коммерческого промысла. Эти таксоны образуют фундамент некоторых из наиболее продуктивных экосистем на планете (например, эстуариев и коралловых рифов), составляя в этом смысле конкуренцию тропическим лесам (Valiela, 1995). Формируемые ими местообитания занимают больше земной поверхности, чем все другие местообитания, вместе взятые (Snelgrove and others, 1997). Изменения в океанопользовании, добыча биоресурсов,

изменение климата, загрязнение и появление инвазивных видов способствуют глобальным переменам в природе, происходящим с беспрецедентной в истории человечества скоростью. До сих пор прибрежная биота подвергалась более сильным нагрузкам и воздействиям, чем биота глубоководная, но истощение прибрежных морских ресурсов и появление новых технологий создают стимулы и возможности для ведения промысловых, добычных и буровых работ в одних из самых глубоких точек океана (McCauley and others, 2015). Перемены в биоразнообразии нередко подтачивают экономику стран, жизненный уклад людей, продовольственную безопасность, здоровье и качество жизни во всем мире (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), 2019).

2. Сжатое изложение ситуации, зафиксированной в первой «Оценке состояния Мирового океана»

В первой «Оценке состояния Мирового океана» (United Nations, 2017b) были определены основные побудители и закономерности биоразнообразия морских беспозвоночных в масштабах от регионального до глобального. Сложность взаимодействий между побудителями, а так-

же как индивидуальное, так и коллективное их влияние на морское биоразнообразие на различных уровнях биологической организации и при самых разных способах наблюдения сдерживают нынешнюю способность уверенно прогнозировать региональное разнообразие. Зако-

номерности разнообразия у рассматриваемых видов проявляются на планете дифференцировано: если у прибрежных бентических организмов видовое богатство обычно достигает пика около экватора и снижается к полюсам, то у океанских видов оно достигает пика в средних широтах. При этом выяснение закономерностей у прибрежных видов осложняется еще и сильными долготными градиентами, когда, например в тропической части Индо-Тихоокеанского региона и в Карибском бассейне встречаются локальные очаги биоразнообразия многих таксонов.

Прогнозирование пространственной и временной динамики биоразнообразия у морских беспозвоночных затрудняется присутствием зон, которые отличаются низким содержанием кислорода, нестабильностью дна и вариаци-

ями в океанской химии или в среде обитания и где ведутся морские работы. Множественность побудителей изменений и нередкая «тандемность» их действия чрезвычайно осложняют отслеживание естественных изменений от антропогенных нагрузок. Очаги биоразнообразия часто становятся и остаются объектом добывающей деятельности человека, в результате чего океанское биоразнообразие оказывается напрямую связанным с экосистемными услугами. Кроме того, этими очагами нередко поддерживаются важные экосистемные функции (рециркуляция питательных веществ, опора для пищевой сети, формирование среды обитания и др.), которые, в свою очередь, вносят вклад в экосистемные услуги, приносящие прямую пользу людям.

3. Описание экологических изменений (с 2010 по 2020 год)

3.1. Биоразнообразие морских беспозвоночных

Записи в базе данных WoRMS (World Register of Marine Species) (Vandepitte and others, 2018; WoRMS Editorial Board, 2019) показывают, что с 2012 по 2019 год было описано 10 777 новых валидных видов морских бентических беспозвоночных. При этом общее количество таких видов, получивших глобальное описание, достигло 153 434. Наибольшее количество описанных морских бентических беспозвоночных (31 процент) принадлежит к таксону Mollusca, за которым следует таксон Arthropoda (24 процента).

Информационная система по океаническому биоразнообразию (ОБИС) содержит информацию об ареалах распространения 124 372 морских видов, насчитывающую 56,4 млн ареальных записей. В настоящее время WoRMS относит 80 132 из этих видов (8,1 млн ареальных записей) к морским бентическим беспозвоночным.

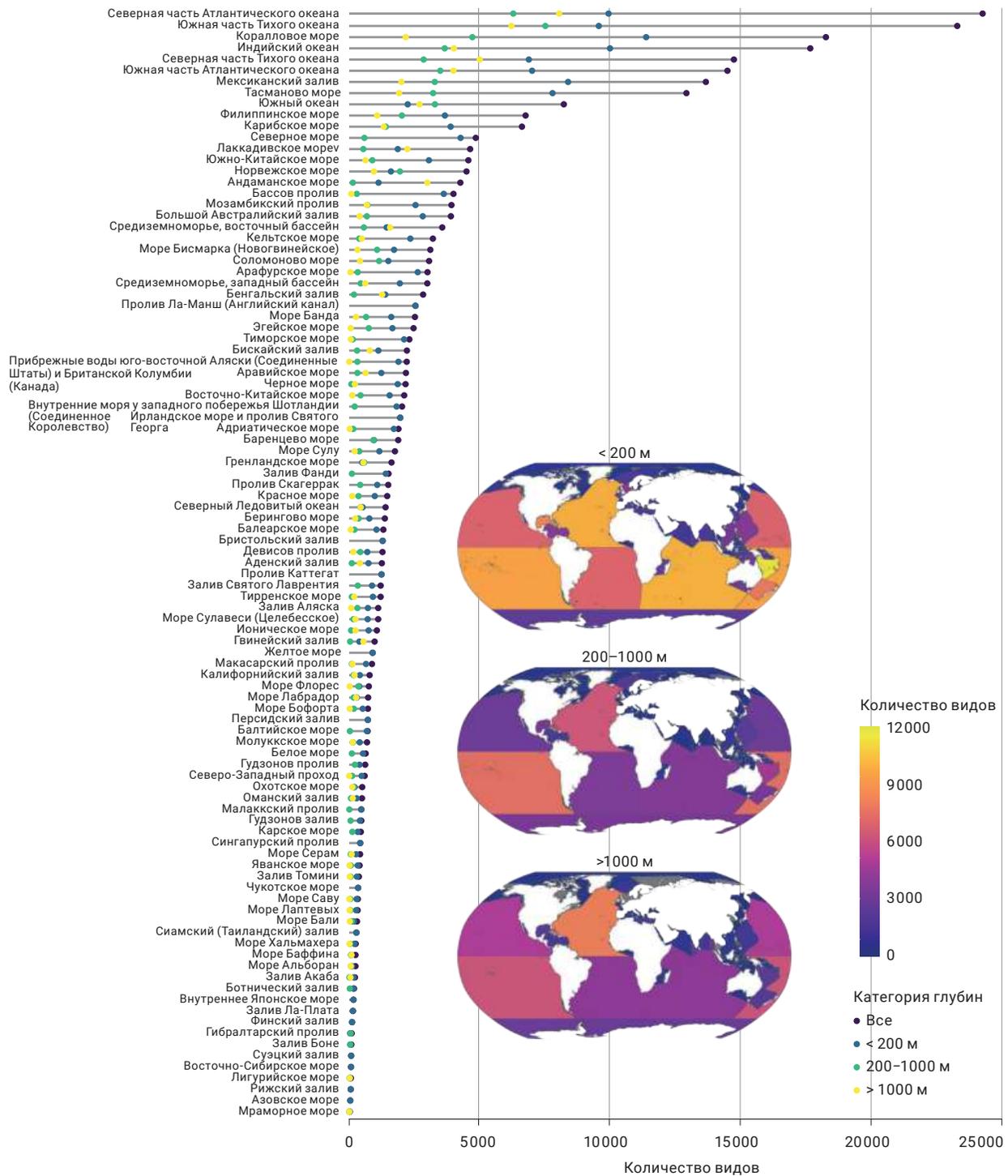
Согласно данным, имевшимся в ОБИС и WoRMS в 2019 году (см. приводимый ниже рисунок), на первом месте по количеству зафиксированных видов

морских бентических беспозвоночных (24 214 видов) стоит северная часть Атлантического океана, хорошо охваченная пробоотбором; за ней следует южная часть Тихого океана (23 245), в том числе Коралловое море (18 224), которые охвачены пробоотбором сравнительно хуже. Безусловно, эти цифры увеличатся благодаря обнаружению видов, которые пока не открыты.

Исследование, построенное на батиметрическом зонировании (см. приводимый ниже рисунок), показывает, что по количеству видов, зафиксированных на глубинах менее 200 м, на первом месте стоит Коралловое море (11 353 вида); далее следуют Индийский океан (9971), северная часть Атлантического океана (9915) и южная часть Тихого океана (7498). В некоторых случаях (например, в Северном Ледовитом океане и Беринговом и Норвежском морях) по своему бентическому разнообразию различаются даже сходные широты. По количеству видов на глубинах ниже 1000 м на первом месте (8027 видов) стоит северная часть Атлантического океана, которая по сравнению с другими океанскими бассейнами лучше охвачена пробоотбором¹.

¹ В базе данных WoRMS информация об ареалах распространения имеется не по всем описанным в ней видам. ОБИС постоянно получает данные из многих источников и показывает точные места в океане, где были зафиксированы морские виды. Поскольку документирование бентических признаков в WoRMS продолжается, для примерно 11 000 видов беспозвоночных в ОБИС не определена пока принадлежность к функциональной группе, в связи с чем эти виды морских бентических беспозвоночных в обзоре не представлены.

Общее количество зафиксированных видов морских бентических беспозвоночных в разбивке по трем категориям глубин (<200 м, 200–1000 м и >1000 м)



Источник: Ocean Biodiversity Information System (OBIS), 2019 (данные о встречаемости видов); WoRMS (данные о видовых группах); EMODnet, 2016, GEBCO, 2015, и Provoost and Bosch, 2018 (batimетрические данные); наименования морских районов заимствованы с сайта Marineregions.org (Claus and others, 2014; Flanders Marine Institute, 2018).

3.2. Оценка и состояние биоразнообразия морских беспозвоночных

В глобальном масштабе морские бентические беспозвоночные подвергаются воздействию сразу нескольких нагрузок и побудителей (см. таблицу ниже). Это воздействие было предметом многочисленных исследований по всему миру, но в настоящем разделе и приводимой ниже таблице освещаются только некоторые из недавних исследований временных рядов, выделяющиеся своей предметностью или ценностью, — в порядке иллюстрации того, насколько расширились познания за период после первой «Оценки».

3.2.1. Потепление климата

Убедительные доказательства говорят о неослабно происходящем с 1970 года потеплении Мирового океана, который принял на себя более 90 процентов избыточного тепла в климатической системе. С 1993 года темпы потепления океана увеличились, вероятно, более чем вдвое (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019). Воздействие на морской бентос особенно сильно проявляется в полярных и приполярных областях. Сокращение морских льдов в Арктике повысит ее судорожность, что чревато усилением локальной антропогенной нагрузки на бентические сообщества, в частности в гаванях.

Недавно обнаруженные факты

- В Арктике², Баренцевом море (Jørgensen and others, 2019), других морях к северу от Евразии и дальневосточных морях в северной части Тихого океана (Lobanov and others, 2014) морские беспозвоночные из-за потепления воды смещаются на север (см. таблицу). В морских акваториях Аляски произошло кое-где уменьшение биомассы беспозвоночных (см. таблицу) (Grebmeier and others, 2015), которое сказывается на более высоких трофических уровнях (Grebmeier, 2012); местные старожилы связывают это изменение с уменьшением площади морского льда, движением песчаных отмелей и перемена-

ми в океанских течениях (Metcalf and Behe, in Jørgensen and others, 2017).

- В Северной Атлантике потепление климата привело к появлению теплолюбивых гидробионтов в прибрежных акваториях Соединенного Королевства Великобритании и Северной Ирландии (см. таблицу), находящихся под влиянием Гольфстрима (Birchenough and others, 2015).
- В Тихом океане морская жара приводила к сильному обесцвечиванию и массовой гибели кораллов вокруг Австралии (Le Nohaïc and others, 2017; Hughes and others, 2018; Stuart-Smith and others, 2018), у побережья Центральной Америки (Cruz and others, 2018) и в Южно-Китайском море (см. таблицу).

Некоторые исследователи прогнозируют усиление частоты и интенсивности эпизодов морской жары (Frölicher and Laufkötter, 2018) в предстоящие десятилетия, даже если будут достигнуты целевые показатели сокращения выбросов, установленные по Парижскому соглашению³. Такое потепление способно уничтожить ключевые биогенные местообитания в прибрежных районах умеренных и арктических морей во всем мире (Krumhansl and others, 2016) и обернуться неизвестным ущербом для рифовых экосистем в акваториях, плохо охваченных мониторингом (Genevier and others, 2019).

3.2.2. Донный траловый промысел

Донный траловый промысел является наиболее распространенным в мире источником антропогенного физического возмущения, которому подвергаются морские донные местообитания, причем с 2011 по 2013 год общемировой объем выгруженного улова морепродуктов почти на четверть складывался из морепродуктов, добытых донными тралами (Hiddink and others, 2017). За один заход траловыми снастями изымается от 6 до 41 процента фауновой биомассы, среднее время восстановления которой составляет (в зависимости от промысловых и экологических условий и без учета морского глубоководья) 1,9–6,4 года (ibid.). Исследования тралового воздействия показывают, что относительная

² См. www.arcticbiodiversity.is/index.php/findings/benthos.

³ См. FCCC/CP/2015/10/Add.1, решение 1/CP. 21, приложение.

Выборочные примеры национальных тематических исследований в разбивке по естественным и антропогенным побудителям и нагрузкам, которым эти исследования посвящены

	Северный Ледовитый океан		Северная часть Атлантического океана							Южная часть Атлантического океана	Индийский океан		Северная часть Тихого океана		Южная часть Тихого океана	Граница между Индийским океаном и южной частью Тихого океана			
	Норвегия и Российская Федерация, Баренцево море	Российская Федерация, арктические моря	Соединенные Штаты, Арктика	Канада, северо-восток	Гренландия, запад и юго-восток	Соединенное Королевство, Северное море	Португалия, юго-запад	Греция, заливы и бухты	Мальта, побережье	Тринидад и Тобаго	Бразилия, побережье и заливы	Бангладеш, побережье	Австралия, запад	Вьетнам, побережье	Южно-Китайское море		Российская Федерация, восточные моря	Австралия, северо-восток	Новая Зеландия, восток
Потепление климата	X	X	X	X	X	X								X	X				X
Температурные явления (например, Эль-Ниньо)												X	X				X		
Седиментация									X	X	X								
Штормы и волновые явления									X		X	X					X		
Донный траловый промысел	X			X	X	X	X	X			X		X	X	X		X		X
Чрезмерная добыча беспозвоночных										X									
Распространение новых видов	X	X	X	X			X		X	X									
Вспышки численности у определенных видов									X								X		X
Загрязнение								X		X	X		X	X					
Эвтрофикация (материалом сельскохозяйственного, аквакультурного и канализационного происхождения)										X				X					
Разведка и добыча нефти и газа				X		X			X	X				X					X
Шельфовые ветровые электростанции						X													
Крупные судоразделочные работы											X								
Якорная стоянка								X	X	X									
Развитие прибрежной инфраструктуры								X	X	X			X						
Туризм								X	X	X	X								

численность долгоживущей (>10 лет) фауны в районах траления сокращается сильнее относительно численности фауны с более короткой продолжительностью жизни (1–3 года) (Hiddink and others, 2019).

Недавно обнаруженные факты

- Донное траление меняет облик бентических сообществ, причем воздействие, оказываемое им в Северном море, охарактеризовано как приводящее к «некоторым модификациям». В других местах Северной Атлантики и за ее пределами проведены исследования, которые зафиксировали, что сходные изменения происходят у бентических сообществ в результате подводной выемки агрегатного материала (Cooper and others, 2017) и экспериментального траления (Kenchington and others, 2006), что этот вид промысла наносит на юго-западе Португалии один из самых сильных (из расчета на единицу выгруженного улова биомассы) экологических отпечатков (Ramalho and others, 2018) и что негативному воздействию подвергается макроэпибентос на юге Гренландии (Yesson and others, 2016).
- Восстановление коралловых сообществ на батимальных подводных горах в южной части Тихого океана (к востоку от Новой Зеландии), где ранее применялись тяжелые орудия донного лова, займет, скорее всего, многие десятилетия (Clark and others, 2019).
- Что касается северной части Тихого океана, то зафиксированы отрицательные последствия донного траления для состава макроэпибентоса в Восточно-Китайском море (Wang and others, 2018).
- Брошенные или утерянные орудия лова оказывают значительное воздействие на скопления холодноводных кораллов (Deidun and others, 2015) на глубине до сотен метров.
- Во всем мире стремительно увеличивались объемы промысловой добычи беспозвоночных (см. также гл. 15). Достигая более 10 млн т в год, они вносят значительный вклад в глобальное снабжение морепродуктами, их экспорт, торговлю ими и получение

заработка местным населением. В среднем 90 процентов добычи беспозвоночных обрабатывается лишь 25-процентным истощением популяций; их добыча требует меньшего промыслового усилия, что повышает ее прибыльность и значительно снижает воздействия на другие трофические группы (Eddy and others, 2017).

- Добыча гребешка *Chlamys islandica* в Арктике (Баренцево море) (Nosova and others, 2018) и трепангов, гребешков и крабов в восточных морях Российской Федерации (Lysenko and others, 2015) сопровождается изменением биогенных местообитаний.

3.2.3. Инвазивные виды

Инвазивные виды (см. также гл. 22; International Association for Open Knowledge on Invasive Alien Species)⁴ становятся иногда одной из доминирующих нагрузок на туземный бентос.

Недавно обнаруженные факты

- Исследования, посвященные расширению ареала промыслового хищного краба-стригуна (*Chionoecetes opilio*) в Арктике, показали, что *C. opilio* ежегодно выедает почти 30 000 т макробентоса в восточной части Баренцева моря (см. таблицу) (Zakharov and others, 2018).
- Появление в Северной Атлантике инвазивного зеленого краба (*Carcinus maenas*) сказалось на морских травах и на донных беспозвоночных в некоторых прибрежных районах Канады⁵ (см. таблицу) (Garbary and others, 2014; Matheson and others, 2016). Сильно инвазивные водоросли *Sargassum* (см. также гл. 6E и 6G) покрывают к настоящему времени пляжи и наземные прибрежные местообитания Тринидада и Тобаго и других островов Карибского бассейна (Gobin, 2016). Присутствие обширных пластов *Sargassum* может приводить к переменам в численности многих туземных морских беспозвоночных и обеспечивать подходящую среду обитания для видов, ранее в локальном бентическом сообществе не представленных.

⁴ См. www.invasivesnet.org/news/.

⁵ URL: www.dfo-mpo.gc.ca/species-especes/ais-eae/about-sur/index-eng.html.

- В Средиземноморье зафиксировано более 500 нетуземных видов морских беспозвоночных (Tsiamis and others, 2019), многие из которых на новых местах прижились, как минимум в локальном масштабе.
- Вспышки численности у морского ежа *Centrostephanus rodgersii* приводят к деградации ламинариевых лесов у побережья Тасмании (Австралия) (Ling and Keane, 2018).
- В Южной Атлантике инвазивные виды часто доминируют на некоторых прибрежных рифах Бразилии (Creed and others, 2016; Mantelatto and others, 2018) (см. таблицу).

3.2.4. Последствия загрязнения для сообществ морского дна

Последствия загрязнения для сообществ морского дна были хорошо задокументированы в первой «Оценке состояния Мирового океана» и Межправительственной научно-политической платформой по биоразнообразию и экосистемным услугам (IPBES, 2019). Чтобы оценивать экологическое состояние и выносливость бентических беспозвоночных, необходимо изучать их поведение, динамику и многочисленные взаимодействия с окружающей средой (Neves and others, 2013; Pessoa and others, 2019).

Недавно обнаруженные факты

- Попадание в океан отходов сельскохозяйственного производства и городского хозяйства привносит туда нутриенты, вызывающие цветение водорослей, которые в итоге опускаются на дно, создавая условия гипоксии и низкого pH, ведущие обычно к снижению бентического видового разнообразия. За период после первой «Оценки» от исследователей поступили сообщения о новых водорослевых цветениях: вдоль побережья Бангладеш в Индийском океане (Kibria and others, 2016; Mallick and others, 2016; Molla and others, 2015) и вдоль побережья Бразилии в Южной Атлантике (Cruz and others, 2018) (см. таблицу).
- В Северной Атлантике приток наносов из реки Ориноко в акваторию Тринидада и Тобаго (см. таблицу) усиливает риск заражения и гибели сообществ бентических

беспозвоночных (Gobin, 2016), а вдоль побережья Греции сток металлоносных вод вызвал многолетний упадок экологического состояния бентических сообществ (Simboura and others, 2014) (см. таблицу).

3.2.5. Штормы и волновые явления

Циклоны и цунами относятся к числу наиболее значимых переменных факторов, отражающихся на биологическом богатстве и структуре морских бентических сообществ и значительно сказывающихся на их выносливости и стабильности (Betti and others, 2020). За последние десятилетия в тропической полосе Атлантики усилились частота и интенсивность ураганов, что тесным образом связано с воздействиями, вызываемыми изменением климата [см. источники, приводимые у Эрнадеса-Дельгадо и др. (Hernández-Delgado and others, 2020)].

3.2.6. Добыча глубоководных полезных ископаемых

Добыча глубоководных полезных ископаемых (см. также гл. 18) — это потенциальная новая отрасль, которая способна помочь укреплению такого расширяющегося компонента «зеленой» экономики, как внедрение новой аккумуляторной технологии для электромобилей, ветровых турбин и более совершенной телекоммуникационной и вычислительной аппаратуры (Hein and others, 2013). В настоящее время глубоководная добыча в открытом море не ведется, однако Международным органом по морскому дну выдано 30 лицензий на разведочные работы в районах общей площадью 1,5 млн км² в Тихом и Индийском океанах, а также вдоль Срединно-Атлантического хребта. Поскольку при добычных операциях бентические среды могут подвергнуться как прямому физическому удалению фауны морского дна, так и вторичным эффектам от появления шлейфов из взмученных отложений или от выброса экотоксинов, такие операции будут требовать тщательной оценки (Miller and others, 2018). Крупным фактором, сдерживающим обеспечение экологической устойчивости, является недостаток знаний о биоразнообразии морского глубоководья (Glover and others, 2018).

3.2.7. Рекреационная деятельность, развитие прибрежной инфраструктуры, а также якорная стоянка и бункеровка судов

На уязвимых местообитаниях и приуроченных к ним скоплениях беспозвоночных продолжают сказываться рекреационная деятельность, развитие прибрежной инфраструктуры, а также якорная стоянка и бункеровка судов. Сведения, дополняющие освещение этой проблемы в первой «Оценке», поступили по акваториям около Мальты (см. таблицу) в Средиземном море (García-March and others, 2007; Mifsud and others, 2006). Кроме того, на побережье Бангладеш в Бенгальском заливе ведутся судоразделочные работы (см. таблицу), повлекшие за собой снижение разнообразия бентических видов (Hossain, 2010).

3.2.8. Преступность

По всему миру происходит незаконная эксплуатация морских видов, примером которой является контрабандный вывоз морских ушек из Южной Африки преступными группировками. Одним из способов борьбы с данным явлением может становиться обращение за содействием к правоохранительным ведомствам в странах назначения (Warchol and Harrington, 2016).

3.2.9. Последствия изменений в биоразнообразии морских беспозвоночных для человеческих сообществ, экономик и благополучия

Изменения в биоразнообразии оказывают как прямое, так и косвенное воздействие на благополучие людей (IPBES, 2019). К сожалению, недостает крупномасштабного и долгосрочного мониторинга крупных морских пространств, хотя некоторые арктические и североатлантические государства наладили (в рамках уже проводимых национальных научных съемок для оценки биоресурсов) долгосрочный мониторинг добычи беспозвоночных и их прилова при траловом промысле (Jørgensen and others, 2017).

Публикаций, в которых конкретно описывалось бы, как морские бентические беспозвоночные способствуют благополучию человека, не так много (например, Officer and others, 1982; Snellgrove and others, 1997). Вместе с тем и в первой,

и в настоящей «Оценке» документируется важность бентических беспозвоночных для морских пищевых сетей и для многих бентических видов, формирующих или преобразующих среду обитания. Ниже суммируются некоторые ключевые моменты.

- Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры прогнозирует, что при динамике выбросов по сценарию «обычный ход деятельности» Большой Барьерный риф Австралии наряду с другими коралловыми рифами, внесенными в Список всемирного наследия, перестанет к 2100 году существовать как функционирующая кораллорифовая экосистема (Hepon and others, 2017).
- Кораллы, устрицы и другие живые рифы (см. также гл. 7F) могут рассеивать до 97 процентов энергии достигающих их волн, защищая тем самым конструкции и человеческие жизни (Ferrario and others, 2014). В условиях подъема уровня моря это потенциально важный митигационный фактор. Примерная стоимость искусственных прибрежных барьеров для защиты прибрежной инфраструктуры и человеческих сообществ от климатогенного подъема уровня моря будет к последним десятилетиям XXI века составлять сотни миллиардов долларов (IPCC, 2019).
- Повышенный риск для продовольственной безопасности, вызываемый уменьшением доступности морепродуктов, сильно варьируется в зависимости от местных и культурных особенностей. При этом для многих прибрежных коренных народов и местных сообществ добыча бентических беспозвоночных, в частности обитающих в приливно-отливной зоне, является значимой составляющей их культуры и самостоятельно обеспечиваемой ими продовольственной безопасности (IPBES, 2018a, b; IPCC, 2019).
- Повышение температур морской поверхности способствовало во всем мире расширению видовых ареалов, в том числе их экспансии в южнотихоокеанскую акваторию Тасмании (Pecl and others, 2014), что будет, скорее всего, сказываться на рыболовстве, а возможно, и туризме в этом регионе, равно как и на экосистемных услугах.

- Климатогенные изменения в распространении многих бентических беспозвоночных могут вызвать увеличение популяций видов, являющихся пищевым ресурсом для зависимых прибрежных сообществ, сокращение таких популяций вплоть до их локального исчезновения, а иногда и появление новых таких видов (IPCC, 2019).
 - В нескольких исследованиях сообщается о том, что смещение ареалов к полюсам происходит у сидячих беспозвоночных медленнее, чем у рыб, но при этом отмечается, что бентические беспозвоночные с большей вероятностью будут непосредственно реагировать на изменения температуры и pH (IPCC, 2019).
 - Появление таких инвазивных видов, как краб-стригун, способствует усилению коммерческого промысла в арктическом Баренцевом море (Jørgensen and others, 2019). С другой стороны, краб *Portunus seignis* (лесепсианский мигрант, который распространяется в Средиземном море и питается рыбой, раковинными моллюсками, ракообразными и органическим материалом) не только существенно влияет на трофические процессы в туземных экосистемах, но и является переносчиком целого ряда паразитов (Rabaoui and others, 2015).
 - В Африканском и Азиатско-Тихоокеанском регионах воздействия, возникающие с появлением инвазивных бентических беспозвоночных, усиливают риск того, что задачи по обеспечению продовольственной безопасности окажутся нерешенными (IPBES 2018b, c).
 - Происходящее в Средиземноморье развитие инфраструктуры (например, модификация местообитаний под нужды судов), которое напрямую сказывается на охраняемых (например, *Cladocora caespitosa*) и коммерчески важных видах, снижает ценность морских экосистемных услуг.
- Несмотря на некоторый прогресс, сохраняется необходимость восполнить огромный пробел в знаниях о последствиях утраты биоразнообразия для человеческих сообществ, экономик и благополучия. Выяснение первопричин изменений требует неоднократного изучения данных из временных рядов.

4. Международная и правительственная реакция

Реализуется несколько инициатив, отражающих растущую приоритетность защиты морского биоразнообразия как в пределах, так и за пределами национальной юрисдикции. Эти инициативы включают научные процессы (такие, как «Оценка состояния Мирового океана»), правовые процессы (такие, как межправительственная конференция по международному юридически обязательному документу на базе Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву о сохранении и устойчивом использовании морского биологического разнообразия в районах за пределами действия национальной юрисдикции) и инициативы межправительственных организаций (таких, как Международный орган по морскому дну).

Резолюция 61/105 Генеральной Ассамблеи от 8 декабря 2006 года об обеспечении устойчивого рыболовства стала особенно влиятельной в той сфере, которой она посвящена. В этой резолюции Ассамблея призвала избегать значительно-

го неблагоприятного воздействия на уязвимые морские экосистемы при ведении промысла с использованием снастей, приходящих в соприкосновение с морским дном. В определении уязвимых морских экосистем и ведении промысла сообразно с положениями этой резолюции государствам и региональным рыбохозяйственным организациям помогало экспертное руководство, составленное Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009).

Меры, принятые в соответствии с резолюцией 61/105, привели к активизации усилий региональных рыбохозяйственных организаций по регулированию воздействий рыболовства на биоразнообразие. В настоящее время при обнаружении индикаторов, указывающих на присутствие уязвимых морских экосистем, практикуется закрытие определенных районов и сезонов для лова и предписывается уход в другие аква-

тории. Это сочетается с ассортиментом таких мер, как целевые и предельные уровни улова, зонально привязанные хозяйственные решения и регламентация орудий лова и промыслового усилия. Эти усилия призваны удерживать воздействие рыболовства на промысловые виды, прилавливаемые виды, морские донные местообитания и экологические сообщества в экологически безопасных пределах (Garcia and others, 2014). Результативность региональных рыбохозяйственных организаций в том, что касается обеспечения порученной им защиты морских донных местообитаний и видов, была в разное время и у разных организаций не одинаковой (Gianni and others, 2016), однако задаваемые ими рамки считаются здоровыми и прогресс происходит (Bell and others, 2019).

4.1. Недавние правительственные меры

- Некоторые государства Арктики и Северной Атлантики наладили (в рамках уже проводимых национальных научных съемок для оценки рыбных или креветочных запасов) долгосрочный мониторинг прилова беспозвоночных при траловом промысле, экономящий как время, так и затрачиваемые средства (Jørgensen and others, 2017).
- В южной части Тихого океана правительство Новой Зеландии ввело политику⁶ запрещающую донное траление и драгирование, чтобы сохранять глубоководную среду в закрытых для промысла районах подводных гор и в районах защиты бентоса, и есть свидетельства того, что эти запреты пошли на пользу бентическим видам, вызывающим озабоченность (Kelly and others, 2000).
- В Арктике правительство Норвегии объявило в 2019 году участок площадью 442 022 км² в Баренцевом море закрытым для донного траления (Jørgensen and others, 2020).

- В северной части Тихого океана и в Бохайском море были в 2018 году введены строгие меры по экологическому восстановлению и сохранению рыбных ресурсов⁷.
- Несмотря на нормы и правила по защите морской экосистемы от опасностей и разрушительной деятельности, степень их фактической реализации во вдающейся в сушу части Индийского океана остается минимальной.
- В Эгейском экорегионе Средиземноморья была недавно выполнена локальная оценка статуса сохранности губок (Gerovasileiou and others, 2018).
- Компетентные ведомства государств – членов Европейского союза осуществляют его Рамочную директиву о морской стратегии⁸. Среди прочего, в соответствующих акваториях целостность морского дна должна поддерживаться на уровне, позволяющем защитить структуру и функцию экосистем и не допускать отрицательного воздействия на бентические экосистемы. Вторым циклом планов по осуществлению Директивы⁹ предусматривается усиление защиты компонентов морского дна, важных для бентических беспозвоночных, от промысловых воздействий. Это включает, в частности, запрет на использование мобильных орудий лова, приходящих в соприкосновение с морским дном, на глубинах более 50 м, призванный защищать такие уязвимые местообитания, как заросли морских трав.

Еще одной крупной глобальной политической инициативой, имеющей прямое отношение к бентическим беспозвоночным, является выполнение задачи 11 из Айтинских задач в области биоразнообразия¹⁰, принятых в рамках Конвенции о биологическом разнообразии. Эта задача предусматривает развертывание энергичной природоохранной стратегии, опираю-

⁶ См. www.mpi.govt.nz/dmsdocument/7242-compliance-fact-sheet-7-benthic-protection-areas-and-sea-mount-closures.

⁷ URL: www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/201812/t20181211_684232.html.

⁸ См. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0056>.

⁹ См. https://mcc.jrc.ec.europa.eu/main/dev.py?N=24&O=202&titre_chap=D6%20Sea-floor%20integrity&titre_page=Implementation#2016331103713.

¹⁰ См. www.cbd.int/sp/targets/rationale/target-11/.

щейся на эффективно и справедливо управляемую, экологически репрезентативную и хорошо связанную систему охраняемых районов (см. также Kenchington and others, 2019) и на другие эффективные природоохранные меры на по-районной основе, включенные в более широкие морские ландшафты (см. также гл. 26 и 27). Задача 11 предусматривает также определение и пространственное оконтуривание охраняемых районов таким образом, чтобы их размеры соответствовали пространственной и временной динамике заключенного в них биоразнообразия.

Этот подход рассчитан на то, чтобы добиться положительных и надежных долгосрочных результатов в деле сохранения биоразнообразия, в частности разнообразия морских донных беспозвоночных и связанных с ними экосистемных функций и услуг, а в применимых случаях — также культурных, духовных, социально-экономических и других локально значимых ценностей.

Эти начинания могут особенно пойти на пользу биоразнообразию бентических беспозвоночных, поскольку, как указывается в настоящей подглаве, морские донные местообитания подвергаются нагрузкам и воздействиям со стороны множества секторов и связанных с ними мероприятий и поскольку эти местообитания настолько разнообразны, что эффективность

конкретных типов природоохранных мер сильно различается в зависимости от особенностей окружающей среды, от истории и от сочетания антропогенных воздействий, включая изменение климата.

Расширение охвата у сети охраняемых морских районов должно в целом снизить нагрузки на бентических беспозвоночных и облегчить восстановление пострадавших участков. Работа над задачей 11 из Айтинских задач в области биоразнообразия способствует растущему осознанию того, что природоохранные стратегии должны идти дальше защиты отдельных, изолированных морских районов (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2011). Насущно важными инструментами сохранения биоразнообразия становятся сети охраняемых морских районов, задуманные таким образом, чтобы усилить защиту этого биоразнообразия, ориентируясь на пространственные масштабы, которые лучше отражают распространение видов на разных этапах их жизненного цикла. Задача 11 также способствует сохранению биоразнообразия за пределами установленных границ, признавая принципиальную роль управления, а также экономических, социальных и экологических факторов, совокупность которых будет влиять на достигаемые экологические результаты (Meehan and others, 2020).

5. Достижение соответствующих целей в области устойчивого развития¹¹ и вклад в выполнение задачи 11 из Айтинских задач в области биоразнообразия

Текущие негативные тенденции, характеризующие состояние биоразнообразия и экосистем, будут подрывать прогресс в выполнении задачи 11 из Айтинских задач в области биоразнообразия, согласно которой к 2020 году 10 процентов прибрежных и морских районов, имеющих особо важное значение для сохранения биоразнообразия и обеспечения экосистем-

ных услуг, будут сохраняться за счет эффективного и справедливого управления, существования экологически репрезентативных и хорошо связанных между собой систем охраняемых районов и применения других эффективных природоохранных мер.

¹¹ См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала

6.1. Пробелы в знаниях

- По-прежнему мало исследований, которые были бы посвящены эффекту от создания охраняемых районов.
- Воздействия, которым подвергается морское биоразнообразие (изменение климата, эксплуатация ресурсов, загрязнение и т. д.), не рассматриваются в выполняемых обзорах в разбивке по видовым группам. Это ограничивает выяснение ценности и важности беспозвоночных для человеческого благополучия.
- Недостает таких фоновых исследований биоразнообразия (по экорегионам или по местообитаниям, являющимся очагами биоразнообразия), которые были бы посвящены мезофотической зоне, подводным пещерам и многочисленным (их в мире — несколько тысяч) подводным горам.

6.2. Пробелы в формировании потенциала на местах

- Чтобы поддерживать бентическое биоразнообразие и не допускать истребления видов еще до того, как они будут зафиксированы, необходимо продолжать широкомасштабную защиту морского дна как на национальном, так и международном уровнях.
- Самой настоятельной задачей является фиксирование видов, географический ареал которых ограничен — часто в силу их специфических требований к среде обитания. Даже если в течение следующего десятилетия будет ежегодно описываться по 100 таксономических единиц, к тому моменту, когда,

по мнению некоторых экспертов, начнется глубоководная разработка морского дна в коммерческих масштабах, количество описанных видов увеличится всего на 1000 позиций (Glover and others, 2018).

- Чтобы расширить знания о биоразнообразии и экосистемах, во время штатных национальных морских оценочных экспедиций следует фиксировать улов как видов, являющихся объектом научной оценки, так и видов, не являющихся ее объектом.
- Чтобы координировать природоохранные и хозяйственные меры при осуществлении разного рода деятельности, следует уделять приоритетное внимание комплексному распоряжению океаном.
- Хозяйственникам следует разработать и внедрить общие, четко прописанные меры по выявлению испытывающих упадок бентических местообитаний в национальных и международных водах и по реагированию на этот упадок.
- Необходимы исследования по выяснению того, как сказывается на экосистемах сокращение или утрата бентоса, в частности применительно к взаимодействиям в пищевой сети.
- Необходимы исследования по выяснению того, как сказывается на пищевом снабжении исчезновение сообществ промысловых бентических видов.
- Необходимо оценивать кумулятивное воздействие побудителей и нагрузок, способных оказывать комбинированное влияние на морское биоразнообразие.

Справочная литература

- Betti, F., and others (2020). Effects of the 2018 exceptional storm on the *Paramuricea clavata* (Anthozoa, Octocorallia) population of the Portofino Promontory (Mediterranean Sea). *Regional Studies in Marine Science*, vol. 34, 101037.
- Birchenough, Silvana N.R., and others (2015). Climate change and marine benthos: a review of existing research and future directions in the North Atlantic. In *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, eds. Henning Reiss and others, vol. 6, No. 2, pp. 203–223.

- Clark, Malcolm R., and others (2019). Little evidence of benthic community resilience to bottom trawling on seamounts after 15 years. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 63.
- Claus, Simon, and others (2014). Marine regions: towards a global standard for georeferenced marine names and boundaries. *Marine Geodesy*, vol. 37, No. 2, pp. 99–125.
- Cooper, K.M., and J. Barry (2017). A big data approach to macrofaunal baseline assessment, monitoring and sustainable exploitation of the seabed. *Scientific Reports*, vol. 7, art. 12431.
- Creed, Joel C., and others (2016). The invasion of the azooxanthellate coral *Tubastraea* (Scleractinia: Dendrophylliidae) throughout the world: history, pathways and vectors. *Biological Invasions*, vol. 19, No. 1, pp. 283–305.
- Cruz, Igor C.S., and others (2018). Marginal coral reefs show high susceptibility to phase shift. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 135, pp. 551–561.
- Deidun, Alan, and others (2015). First characterisation of a *Leiopathes glaberrima* (Cnidaria: Anthozoa: Antipatharia) forest in Maltese exploited fishing grounds. *Italian Journal of Zoology*, vol. 82, No. 2, pp. 271–280.
- Eddy, Tyler D., and others (2017). Ecosystem effects of invertebrate fisheries. *Fish and Fisheries*, vol. 18, No. 1, pp. 40–53.
- EMODnet Bathymetry Consortium (2016). *EMODnet Digital Bathymetry (DTM 2016)*. *EMODnet Bathymetry Consortium*. <https://sextant.ifremer.fr/record/c7b53704-999d-4721-b1a3-04ec60c87238>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009) = Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО) (2011). *Международные руководящие принципы регулирования глубоководного промысла в открытом море*. Рим, 2011. www.fao.org/3/i0816r/i0816R.pdf.
- Ferrario, Filippo, and others (2014). The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. *Nature Communications*, vol. 5, art. 3794.
- Flanders Marine Institute (2018). IHO Sea Areas, version 3 (accessed on 25 October 2019). <https://doi.org/10.14284/323>.
- Frölicher, T.L., and Laufkötter, C. (2018). Emerging risks from marine heat waves. *Nature Communications*, vol. 9, art. 650.
- Garbary, David J., and others (2014). Drastic decline of an extensive eelgrass bed in Nova Scotia due to the activity of the invasive green crab (*Carcinus maenas*). *Marine Biology*, vol. 161, No. 1, pp. 3–15.
- García-March, J.R., and others (2007). Preliminary data on the *Pinna nobilis* population in the marine protected area of Rdum Il-Majjiesa to Ras Ir-Raheb (N.W. Malta). Poster presented at the European Symposium on MPAs as a Tool for Fisheries Management and Ecosystem Conservation. Murcia, Spain.
- GEBCO (2015). The GEBCO_2014 Grid, version 20150318 (accessed on 25 October 2019). www.gebco.net.
- Genevier, L.G., and others, 2019. Marine heatwaves reveal coral reef zones susceptible to bleaching in the Red Sea. *Global Change Biology*, vol. 25, No. 7, pp. 2338–2351.
- Gerovasileiou, V., and others (2018). Assessing the regional conservation status of sponges (Porifera): the case of the Aegean ecoregion. *Mediterranean Marine Science*, vol. 19, No. 3, pp. 526–537. <https://doi.org/10.12681/mms.14461>.
- Glover, Adrian G., and others (2018). Point of View: Managing a sustainable deep-sea ‘blue economy’ requires knowledge of what actually lives there. *ELife*, vol. 7, e41319.
- Gobin, J. (2016). Environmental Impacts on Marine Benthic Communities in an Industrialized Caribbean Island—Trinidad and Tobago. *Marine Benthos: Biology, Ecosystem Functions and Environmental Impact*. New York: Nova Science Publishers.
- Grebmeier, Jacqueline M. (2012). Shifting patterns of life in the Pacific Arctic and sub-Arctic seas. *Annual Review of Marine Science*, vol. 4, pp. 63–78.

- Grebmeier Jacqueline, and others (2015). Ecosystem characteristics and processes facilitating persistent macrobenthic biomass hotspots and associated benthivory in the Pacific Arctic. *Progress in Oceanography*, vol. 136, pp. 92–114.
- Hernández-Delgado, E.A., and others (2020). Hurricane Impacts and the Resilience of the Invasive Sea Vine, *Halophila stipulacea*: a Case Study from Puerto Rico. *Estuaries and Coasts*, pp. 1–21.
- Heron, Scott Fraser, and others (2017). *Impacts of Climate Change on World Heritage Coral Reefs: A First Global Scientific Assessment*. Paris: UNESCO.
- Hiddink, Jan Geert, and others (2017). Global analysis of depletion and recovery of seabed biota after bottom trawling disturbance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 114, No. 31, pp. 8301–8306.
- Hiddink, J.G., and others (2019). Assessing bottom trawling impacts based on the longevity of benthic invertebrates. *Journal of Applied Ecology*, vol. 56, No. 5, pp. 1075–1084.
- Hossain, Maruf Md. M. (2010). *Ship Breaking Activities: Threat to Coastal Environment, Biodiversity and Fishermen Community in Chittagong, Bangladesh*. Publication Cell, Young Power in Social Action.
- Hughes, T.P., and others (2018). Large-scale bleaching of corals on the Great Barrier Reef. *Ecology*, vol. 99, No. 2, pp. 501–501.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) (2018a) = Межправительственная научно-политическая платформа по биоразнообразию и экосистемным услугам (МПБЭУ) (2018a). Резюме для директивных органов доклада о региональной оценке биоразнообразия и экосистемных услуг для Африки Межправительственной научно-политической платформы по биоразнообразию и экосистемным услугам. Под ред. Э. Арчер и др. Бонн, Германия: секретариат МПБЭУ.
- _____ (2018b) = МПБЭУ (2018b). Резюме для директивных органов доклада Межправительственной научно-политической платформы по биоразнообразию и экосистемным услугам о региональной оценке биоразнообразия и экосистемных услуг для Азии и Тихого океана. Под ред. М. Карки и др. Бонн, Германия: секретариат МПБЭУ.
- _____ (2018c) = МПБЭУ (2018c). Резюме для директивных органов доклада о региональной оценке по вопросам биоразнообразия и экосистемных услуг для Америки Межправительственной научно-политической платформы по биоразнообразию и экосистемным услугам. Под ред. Дж. Райса и др. Бонн, Германия: секретариат МПБЭУ.
- _____ (2019) = МПБЭУ (2019). Резюме для директивных органов доклада о глобальной оценке биоразнообразия и экосистемных услуг Межправительственной научно-политической платформы по биоразнообразию и экосистемным услугам. Под ред. Сандры Диас и др. Париж: секретариат МПБЭУ.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2019) = Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) (2019). *Океан и криосфера в условиях изменяющегося климата: специальный доклад МГЭИК: резюме для политиков*. www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_ru.pdf.
- Jørgensen, Lis L., and others (2017). Benthos. In *State of the Arctic Marine Biodiversity Report*, pp. 85–107. Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF).
- Jørgensen, Lis L., and others (2019). Impact of multiple stressors on sea bed fauna in a warming Arctic. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 608, pp. 1–12.
- Jørgensen, Lis L., and others (2020). Responding to global warming: new fisheries management measures in the Arctic. *Progress in Oceanography*, vol. 188, art. 102423.
- Kelly, S., and others (2000). Spiny lobster, *Jasus edwardsii*, recovery in New Zealand marine reserves. *Biological conservation*, vol. 92, No. 3, pp. 359–369.

- Kenchington, Ellen, and others (2006). Effects of experimental otter trawling on benthic assemblages on Western Bank, northwest Atlantic Ocean. *Journal of Sea Research* vol. 56, pp. 249-270.
- Kenchington, Ellen, and others (2019). Connectivity modelling of areas closed to protect vulnerable marine ecosystems in the northwest Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 143, pp. 85–103.
- Kibria, Golam, and others (2016). Trace/heavy metal pollution monitoring in estuary and coastal area of Bay of Bengal, Bangladesh and implicated impacts. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 105, No. 1, pp. 393–402.
- Krumhansl, Kira A., and others (2016). Global patterns of kelp forest change over the past half-century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, No. 48, pp. 13785–13790.
- Le Nohaïc, Morane, and others (2017). Marine heatwave causes unprecedented regional mass bleaching of thermally resistant corals in northwestern Australia. *Scientific Reports*, vol. 7, art. 14999.
- Ling, Scott D., and John P. Keane (2018). Resurvey of the Longspined Sea Urchin (*Centrostephanus rodgersii*) and associated barren reef in Tasmania. Hobart, Australia: University of Tasmania.
- Lobanov, V. B., and others (2014) = Лобанов В. Б. и др. (2014). Раздел 5. Воздействия изменений климата на морские природные системы. 5.6. Дальневосточные моря России. В публ.: *Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации*, сс. 684–743.
- Lysenko, V.N., and others (2015) = Лысенко В. Н. и др. (2015). Численность и распределение дальневосточного трепанга *Apostichopus japonicus* (Selenka, 1867) (Echinodermata: Stichopodidae) в прибрежной зоне южного участка Дальневосточного морского заповедника ДВО РАН. *Биология моря*, т. 41, № 2, сс. 146–149.
- Mallick, Debbrota, and others (2016). Seasonal variability in water chemistry and sediment characteristics of intertidal zone at Karnafully estuary, Bangladesh. *Pollution*, vol. 2, No. 4, pp. 411–423.
- Mantelatto, Marcelo Checoli, and others (2018). Invasion of aquarium origin soft corals on a tropical rocky reef in the southwest Atlantic, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 130, pp. 84–94.
- Matheson, K., and others (2016). Linking eelgrass decline and impacts on associated fish communities to European green crab (*Linnaeus 1758*) invasion. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 538, pp. 31–45.
- McCauley, Douglas J., and others (2015). Marine defaunation: Animal loss in the global ocean. *Science*, vol. 347, No. 6219, 1255641.
- Meehan, Mairi C., and others (2020). How far have we come? A review of MPA network performance indicators in reaching qualitative elements of Aichi Target 11. *Conservation Letters*, e12746.
- Mifsud, C., and others (2006). The distribution and state of health of *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows along the Maltese territorial waters. *Biologia Marina Mediterranea*, vol. 13, No. 4, pp. 255–261.
- Miller, Kathryn A., and others (2018). An overview of seabed mining including the current state of development, environmental impacts, and knowledge gaps. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 418.
- Molla, H.R., and others (2015). Spatio-temporal variations of microbenthic annelid community of the Karnafuli River Estuary, Chittagong, Bangladesh. *International Journal of Marine Science*, vol. 5, No. 26, pp. 1–11.
- Neves, R.A.F., and others (2013). Factors influencing spatial patterns of molluscs in a eutrophic tropical bay. *Marine Biological Association of the United Kingdom. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol. 93, No. 3, pp. 577–589.
- Nosova, Tatyana, and others (2018.) = Носова Татьяна и др. (2018). Структура и многолетняя динамика сообществ зообентоса в районах поселений исландского гребешка у Кольского полуострова. *Известия ТИНРО*, т. 194, сс. 27–41. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2018-194-27-41>.
- OBIS (2019). Ocean Biogeographic Information System. 2019. www.obis.org.
- Pecl, Gretta, and others (2014). Redmap: ecological monitoring and community engagement through citizen science. *Tasmanian Naturalist*, vol. 136, pp. 158–164.

- Pessoa, L.A., and others (2019). Intra-annual variation in rainfall and its influence of the adult's *Cyprideis* spp. (Ostracoda, Crustacea) on a eutrophic estuary (Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil). *Brazilian Journal of Biology*, (AHEAD).
- Provoost, Pieter, and Samuel Bosch (2018). obistools: Tools for data enhancement and quality control. Ocean Biogeographic Information System. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. <https://cran.r-project.org/package=obistools>.
- Rabaoui, Lotfi, and others (2015). Occurrence of the lessepsian species *Portunus segnis* (Crustacea: Decapoda) in the Gulf of Gabes (Tunisia): first record and new information on its biology and ecology. *Cahiers de Biologie Marine*, vol. 56, No. 2, pp. 169–175.
- Ramalho, Sofia P., and others (2018). Bottom-trawling fisheries influence on standing stocks, composition, diversity and trophic redundancy of macrofaunal assemblages from the West Iberian Margin. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 138, pp. 131–145.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity secretariat (CBD) (2011) = Секретариат Конвенции о биологическом разнообразии (2011). Стратегический план в области сохранения и устойчивого использования биоразнообразия на 2011–2020 годы: предварительное техническое обоснование, возможные индикаторы и предлагаемые промежуточные цели для целевых задач по сохранению и устойчивому использованию биоразнообразия, принятых в Айти. Япония: Нагоя.
- Simboura, N., and others (2014). Benthic community indicators over a long period of monitoring (2000–2012) of the Saronikos Gulf, Greece, Eastern Mediterranean. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 186, No. 6, pp. 3809–3821.
- Snelgrove, P.V.R., and others (1997) The importance of marine sediment biodiversity in ecosystem processes, *Ambio*, vol. 26, pp. 578–583.
- Officer, C.B., and others (1982). Benthic filter feeding: a natural eutrophication control. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 9, pp. 203–210.
- Stuart-Smith, Rick D., and others (2018). Ecosystem restructuring along the Great Barrier Reef following mass coral bleaching. *Nature*, vol. 560, pp. 92–96.
- Tsiamis, Konstantinos, and others (2019). Non-indigenous species refined national baseline inventories: A synthesis in the context of the European Union's Marine Strategy Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 145, pp. 429–435.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Valiela, Ivan (1995). *Marine Ecological Processes*. New York, Springer-Verlag, second edition.
- Vandepitte, Leen, and others (2018). A decade of the World Register of Marine Species—General insights and experiences from the Data Management Team: Where are we, what have we learned and how can we continue? *PloS One*, vol. 13, No. 4, e0194599.
- Wang, H.J., and others (2018). The characteristics and changes of the species and quantity of macrobenthos in Yueqing Bay. *Marine Sciences*, vol. 6, pp. 78–87 (in Chinese with English abstract).
- Warchol, Greg, and Michael Harrington (2016). Exploring the dynamics of South Africa's illegal abalone trade via routine activities theory. *Trends in Organized Crime*, vol. 19, No. 1, pp. 21–41.
- WoRMS Editorial Board (2019). WoRMS – World Register of Marine Species. www.marinespecies.org. <https://doi.org/10.14284/170>.
- Yesson, Chris, and others (2016). The impact of trawling on the epibenthic megafauna of the west Greenland shelf. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 74, No. 3, pp. 866–876.
- Zakharov Denis V., and others (2018) = Захаров Д. В. и др.(2018). Характеристика кормовой базы и питание краба-стригуна опилио в Баренцевом море. Труды ВНИРО, т. 172, сс. 70–90.
- Zalota, Anna K., and others (2018). Development of snow crab *Chionoecetes opilio* (Crustacea: Decapoda: Oregonidae) invasion in the Kara Sea. *Polar Biology*, vol. 41, No. 10, pp. 1983–1994.

Добавление, составленное Группой экспертов Регулярного процесса глобального освещения и оценки состояния морской среды, включая социально-экономические аспекты

Состояние пелагических беспозвоночных: головоногие моллюски

Из 750 видов, рассматриваемых Международным союзом охраны природы, к категории «Находящиеся в критической опасности» отнесен только один вид, к категории «Находящиеся в опасности» — два вида и к категории «Уязвимые» — еще два, причем все они принадлежат к глубоководным осьминогам из семейства *Opisthototeuthidae* (International Union for Conservation of Nature (IUCN), 2020).

Вместе с тем насчитывается более 419 видов, отнесенных к категории «Недостаточно данных», и среди них много глубоководных обитателей (IUCN, 2020). В 2017 году 10 видов наутилусов были включены в приложение II к Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения, чтобы регламентировать международную торговлю ими.

Хотя информация о многих глубоководных обитателях по-прежнему скудна, недавние успехи в глубоководных исследованиях позволили лучше разобраться в экологии и биологии глубоководных головоногих моллюсков. В центральной части Тихого океана выпал редкий случай пронаблюдать брачное и репродуктивное поведение глубоководных кальмаров *Chroteuthis* spp., и эти наблюдения были записаны (Vecchione, 2019). В 2019 году в Мексиканском заливе была заснята особь гигантского кальмара — крупнейшего по размерам (до 13 м) и одного из самых загадочных кальмаровых видов; с 2012 года, когда данный вид наблюдался впервые, это лишь второй случай его фиксирования. Анализ митохондриальной ДНК у 43 особей гигантских кальмаров, изъятых в северной части Тихого океана, в Атлантическом

океане и в Океании, подтверждает гипотезу об их принадлежности к одному виду — *Architeuthis dux* (Winkelmann and others, 2013). Путем анализа стабильных изотопов установлены онтогенетические изменения в стратегии питания адского кальмара-вампира (*Vampyroteuthis infernalis*) (Golikov and others, 2019).

В ходе недавних работ выявлена общая многодесятилетняя тенденция: в уловах стали чаще попадаться десятки видов головоногих моллюсков, придерживающихся разных биологических и экологических стратегий (демерсальных, бентопелагических и пелагических) в различных океанских регионах (Doubleday and others, 2016). Такое проявление их распространенности объяснено их высокой адаптируемостью и выносливостью к экологическим колебаниям благодаря быстроте роста и гибкости развития этих животных. Считается, например, что сужение зоны кислородного минимума в системе Калифорнийского течения оптимизирует условия кормления для кальмара Гумбольдта (*Dosidicus gigas*). Это позволило данному виду процветать и совершить экспансию на север вплоть до залива Аляска (Stewart and others, 2014). Тенденция к потеплению, проявлявшаяся с середины 1980-х до середины 2010-х годов в Северном море, считается причиной увеличения общей численности некоторых кальмаровых видов и их экспансии на север (van der Kooij and others, 2016). Будущее потепление Северного Ледовитого океана может способствовать трансарктической экспансии обыкновенной сепии (*Sepia officinalis*) в северные воды Канады к 2300 году (Xavier and others, 2016). Потепление в австралийских водах, связанное с вытягиванием Восточно-Австралийского течения к полюсу, способствует экспансии осьминога *Octopus tetricus* (Ramos and others, 2018).

Справочная литература

Doubleday, Zoë A., and others (2016). Global proliferation of cephalopods. *Current Biology*, vol. 26, No. 10, pp. R406–R407.

- Golikov, Alexey V., and others (2019). The first global deep-sea stable isotope assessment reveals the unique trophic ecology of vampire squid *Vampyroteuthis infernalis* (Cephalopoda). *Scientific Reports*, vol. 9, No. 1, art. 19099. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55719-1>.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2020). *The IUCN Red List of Threatened Species*. www.iucnredlist.org.
- Ramos, Jorge E., and others (2018). Population genetic signatures of a climate change driven marine range extension. *Scientific Reports*, vol. 8, art. 9558. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27351-y>.
- Stewart, Julia S., and others (2014). Combined climate- and prey-mediated range expansion of Humboldt squid (*Dosidicus gigas*), a large marine predator in the California current system. *Global Change Biology*, vol. 20, No. 6, pp. 1832–1843. <https://doi.org/10.1111/gcb.12502>.
- Van der Kooij, Jeroen, and others (2016). Climate change and squid range expansion in the North Sea. *Journal of Biogeography*, vol. 43, No. 11, pp. 2285–2298. <https://doi.org/10.1111/jbi.12847>.
- Vecchione, Michael (2019). ROV observations on reproduction by deep-sea cephalopods in the central Pacific Ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 403. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00403>.
- Winkelmann, Inger, and others (2013). Mitochondrial genome diversity and population structure of the giant squid *Architeuthis*: genetics sheds new light on one of the most enigmatic marine species. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 280, No. 1759, 20130273. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.0273>.
- Xavier, José C., and others (2016). Climate change and polar range expansions: could cuttlefish cross the arctic? *Marine Biology*, vol. 163, No. 4, art. 78. <https://doi.org/10.1007/s00227-016-2850-x>.

Глава 6С

РЫБЫ

Участники: Томас Дж. Уэбб (координатор), Хироюки Мотомура, Франсиско Наваррете-Миер, Хейзел Оксенфорд, Хенн Оявеэр (ведущий участник, ответственный за подглаву), Пак Чхуль (ведущий участник, ответственный за главу), Клайв Робертс, Муджекивис Д. Сантос, Трейси Саттон, Майкл Торндайк и Мария Хосе Хуан-Жорда.

Ключевые тезисы

- Обращение к имеющимся данным и задействование инструментов и открытых глобальных хранилищ позволяют получить глобальную картину разнообразия морских рыб: известны 17 762 вида, 238 из которых были описаны после первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017e).
- Хотя у морских рыб биоразнообразие выявлено в большей степени, чем у многих других морских таксонов, для достижения полноты инвентаризации необходимы будут дальнейшие усовершенствования не только в таксономической и биосистематической инфраструктуре, но и в изучении и описании океанов.
- Международным союзом охраны природы (МСОП) оценен статус сохранности у более чем половины известных видов морских рыб, причем примерно треть этих оценок была выполнена после первой «Оценки».
- Из рыбных видов, по которым выполнена оценка сохранности, около 6 процентов костных рыб, почти 50 процентов пластиножаберных, 10 процентов химер и оба вида латимерий являются либо угрожаемыми, либо близкими к угрожаемым.
- Способность документировать и уяснять разнообразие морских рыб продолжает расти, однако сохраняются значительные пробелы в том, что касается определенных экосистемных групп (например, мезопелагических рыб) и прогнозирования реакции на множественные внешние стрессоры, действующие одновременно.

1. Введение

В настоящей подглаве рассматриваются таксономия, распространение, среда обитания и статус сохранности морских рыб и дается представление о том, насколько изменилось общее состояние знаний за период после первой «Оценки». Вкратце рассматриваются последствия изменений в разнообразии рыб для человечества, и излагается специфика конкретных регионов. Завершается глава освещением перспектив биоразнообразия рыб, а также перечислением сохраняющихся пробелов в знаниях и в потенциале. Охватываются все 17 762 таксономически валидных вида из надкласса Pisces по классификации WoRMS (World Register of Marine Species) (WoRMS, 2019), включая костных рыб (класс Actinopterygii, 16 503 вида), акул и скатов (класс Elasmobranchii, 1202 вида), химер (класс Holoccephali, 55 видов) и латимерий (класс Coelacanthi, 2 вида).

Глобальная биомасса морских рыб примерно в четыре раза превышает общую биомассу всех птиц и млекопитающих (Bar-On and others, 2018), и при этом рыбы образуют важную часть морского биоразнообразия. Приблизительно 70 процентов (притом что оценки сильно разнятся) морской рыбной биомассы приходится на мезопелагиче-

ских рыб, встречающихся на глубинах 200–1000 м (Irigoien and others, 2014; Hidalgo and Browman, 2019). Рыбы обитают во всех океанах планеты и на самых разных глубинах. Рыбой, которую наблюдали в живом состоянии на наибольшей глубине, является *Pseudoliparis swirei* из семейства липаровых; официально описанная в 2017 году, она была обнаружена на глубинах более 8000 м в тихоокеанском Марианском желобе (Linley and others, 2016; Geringer and others, 2017). Рыбы играют одну из ключевых ролей в морских пищевых сетях и как хищники, и как добыча хищников, причем на протяжении своей жизни они нередко меняют свое место в этих сетях, например вырастая из планктонных личинок во взрослых хищников. Биоразнообразие рыб варьируется в зависимости от их местообитаний. В базе данных FishBase, посвященной биоразнообразию рыб, для 17 246 видов рыб (97 процентов от всех известных их видов) указаны свойственные им местообитания, и, судя по этой информации, большинство костных рыб являются демерсальными или приуроченными к рифам, а большинство акул, скатов, химер и латимерий — демерсальными или батидемерсальными (см. таблицу 1).

Биоразнообразие рыб меняется, причем рыбы чувствительны к экологическим изменениям, вызываемым многочисленными внешними нагрузками (Comte and Olden, 2017), а также к промысловой эксплуатации (см. гл. 15), что существенно отражается на человеческом благополучии (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2018). Первая «Оценка состояния Мирового океана» включала главы, посвященные проблемам, сказывающимся на сохранности 1088 видов акул и иных пластиножаберных (United Nations, 2017c) и 25 тунцовых и парусниковых видов (United Nations, 2017d). Кроме того, в общих, сводных главах говорилось, что рыбы относятся к наиболее известным морским группам (United Nations, 2017a, b) и что разнообразию рыб свойственны четкие широтные и глубинные градиенты. Механизмы, влияющие на рыбное разнообразие, сложны и включают стабильность и возраст экосистемы, выделенность ниш и опосредованное хищниками сглаживание доминирования (Rabosky and others, 2018).

Недавно основными угрозами биоразнообразию морских рыб были названы их чрезмерная эксплуатация и утрата и деградация их место-

обитаний; при этом было констатировано, что последствия климатических изменений стали более очевидными, однако загрязнение значительной угрозой сочтено не было (Arthington and others, 2016). Позднее появились доказательства того, что с помощью научной оценки и эффективного управления рыболовством можно обратить вспять последствия чрезмерной эксплуатации и добиться в среднем увеличения численности правильно регулируемых запасов (на которые приходится половина сообщаемого общемирового улова рыбы), хотя чрезмерная эксплуатация остается значительной угрозой в тех регионах, где управление рыболовством развито слабее (Hilborn and others, 2020). Более суровым стало воздействие климатических изменений и тепловых стрессоров на морских рыб, в частности на рыбные сообщества коралловых рифов (Robinson and others, 2019). Повышенный исследовательский интерес сейчас вызывают также недавно возникшие угрозы, например микропластиковое загрязнение, хотя в вопросе о том, каково воздействие этих угроз на популяционном уровне, сохраняется значительная неопределенность (Villarrubia-Gómez and others, 2018).

Таблица 1

Количество валидных морских видов в каждом таксономическом классе рыб (согласно таксономии WoRMS) в грубой разбивке по средам обитания

Среда обитания	Класс							
	<i>Actinopterygii</i>		<i>Elasmobranchii</i>		<i>Holocephali</i>		<i>Coelacanthi</i>	
	Количество видов (процентная доля в классе)	Количество видов, описанных с 2015 года	Количество видов (процентная доля в классе)	Количество видов, описанных с 2015 года	Количество видов (процентная доля в классе)	Количество видов, описанных с 2015 года	Количество видов (процентная доля в классе)	Количество видов, описанных с 2015 года
Батидемерсальная	1 785 (11%)	4	314 (26%)	2	38 (69%)	–	–	–
Демерсальная	5 691 (34%)	11	449 (37%)	5	11 (20%)	3	2 (100%)	–
Бентопелагическая	1 422 (9%)	18	131 (11%)	13	4 (7%)	–	–	–
Батипелагическая	1 346 (8%)	3	33 (3%)	1	2 (4%)	–	–	–
Пелагическо-неритическая	807 (5%)	38	34 (3%)	10	–	–	–	–
Пелагическо-океаническая	378 (2%)	1	83 (7%)	11	–	–	–	–
Приуроченная к рифам	4 618 (28%)	93	98 (8%)	1	–	–	–	–
Не выяснена	456 (3%)	22	60 (5%)	2	–	–	–	–
Всего	16 503	190	1202	45	55	3	2	–

Источник: WoRMS Editorial Board (2019); Froese and Pauly (2019).

2. Зафиксированные изменения в состоянии рыбного биоразнообразия

Фиксирование изменений в рыбном биоразнообразии требует учета таких моментов, как таксономия рыб, включая описание новых видов; пространственное распространение, которое можно оценить с помощью записываемых сведений о встречаемости, позволяющих обнаружить признаки сужения или расширения видовых ареалов; формальная оценка статуса сохранно-

сти с целью обозначить виды, чья сохранность вызывает озабоченность. Кроме того, необходимо обобщить выводы по более высоким таксономическим группам, равно как и по группам видов, населяющих сходные зоны обитания. Первостепенные источники данных, используемые для количественной оценки всех этих аспектов изменений, перечислены в таблице 2.

Таблица 2
Основные типы глобальных массивов данных о морских рыбах

Тип данных	Источник	Библиографическая ссылка
Таксономия и систематика	World Register of Marine Species (WoRMS) Калифорнийская академия наук «Каталог рыб» Эшмайера	WoRMS Editorial Board, 2019; Van der Laan and others, 2019 Fricke and others, 2020
Данные о глобальной встречаемости	Информационная система по океаническому биоразнообразию (ОБИС)	Ocean Biodiversity Information System (OBIS), 2018
Предпочитаемые местообитания	FishBase	Froese and Pauly, 2019
Статус сохранности	Красный список видов, находящихся под угрозой исчезновения (ведется МСОП)	International Union for Conservation of Nature (IUCN), 2019

2.1. Таксономия

С 2015 года удалось описать и добавить в WoRMS 238 новых видов морских рыб (см. таблицу 1). Почти половина (49 процентов) недавно описанных костных рыб приурочены к рифам, тогда как большинство недавно описанных пластиножаберных являются пелагическими видами (см. таблицу 1). Темпы этой описательной работы оказываются в примерно шесть-семь раз ниже темпов, достигавшихся в период с 1999 по 2013 год, когда они составляли по одному виду в день (United Nations, 2017a). Эти таксономические усилия дополняются недавними филогенетическими исследованиями по костным рыбам (Rabosky and others, 2018) и по акулам, скатам и химерам (Stein and others, 2018).

2.2. Встречаемость

Рыбы по-прежнему хорошо представлены в глобальных базах данных о встречаемости, которые дают представление о распространении, биогеографии и макроэкологическом контексте.

ОБИС (OBIS, 2018) содержит в общей сложности 20 302 222 записи о встречаемости по 15 101 виду морских рыб, причем на рыб приходится более трети всех записей о встречаемости. В настоящее время в ОБИС доступны записи о встречаемости по 85 процентам костных рыб, 84 процентам пластиножаберных и 78 процентам химер, а также по одному из двух видов латимерий. За период после первой «Оценки» добавилось 306 913 новых таких записей, охватывающих 4099 видов (23 процента) рыб, включая 241 385 записей по костным рыбам (3857 видов, 23 процента), 65 480 записей по акулам и скатам (233 вида, 19 процентов), 46 записей по химерам (8 видов, 15 процентов) и 2 записи по одному из двух видов латимерий. Количество первых записей о встречаемости вида, внесенных в ОБИС с 2015 года, составило 153; этими записями было охвачено 76 видов (68 костных рыб и 8 пластиножаберных). Речь идет в основном о видах, являющихся димерсальными (32 вида) или приуроченными к рифам (13 видов). По 5 из 238 видов, добавленных

в WoRMS после первой «Оценки», уже имеются в ОБИС записи о встречаемости.

2.3. Статус сохранности

По меркам морских таксономических групп оцененность статуса сохранности морских рыб находится на хорошем уровне (Webb and Mindel, 2015). В Красном списке МСОП 2019 года (IUCN, 2019)¹ этот статус был оценен для 53 процентов (9372 вида) всех морских рыб, причем 44 процента (7756 видов) избежали попадания в категорию «Недостаточно данных». В 32 процентах случаев, т. е. для 3008 видов морских рыб, статус был оценен уже после того, как в 2015 году вышла первая «Оценка». Поскольку после ее выхода статус ни одного вида морских рыб повторно не оценивался, Красный список МСОП пока невозможно использовать для анализа изменений в статусе индивидуальных видов. Вместе с тем ниже показано соотношение между количеством видов, попадающих в ту или иную категорию риска, с их таксономическим классом (таблица 3) и со свойственной им средой обитания (таблица 4). Экологические и признаковые методы, с помощью которых прогнозируется статус сохранности для видов, отнесенных к категории «Недостаточно данных», позволяют предположить, что по крайней мере среди акульих и скатовых видов, встречающихся в европейских водах, примерно от половины до двух третей тоже следует рассматривать как подверженные риску исчезновения (Walls and Dulvy, 2019). Недавно полученные сведения говорят о том, что 24 процента того пространства, которое в среднем за месяц используют акулы, подвергается воздействию пелагического ярусного промысла и что при нынешних уровнях промыслового усилия в морских районах за пределами национальной юрисдикции у пелагических акул не так много пространственных возможностей для рефугиума (Queiroz and others, 2019).

2.4. Совершенствование знаний и потенциала, способствующих анализу изменений в состоянии

Анализ изменений в состоянии за время после первой «Оценки» становится возможным благодаря новым данным от текущих программ долгосрочного мониторинга [таких, как международные донные траловые съемки, устраиваемые Международным советом по исследованию моря (ИКЕС)], вкладу промысловых наблюдателей в сбор научных данных, глобальным компиляциям оценок рыбных запасов (таким, как RAM Legacy Stock Assessment Database) и природоохранным оценкам (например, отраженным в Красном списке МСОП 2019 года), а также благодаря технологическим усовершенствованиям, позволяющим собирать пробы в не охваченных ранее средах (Linley and others, 2016) и отслеживать индивидуальные перемещения с помощью спутникового мечения (Curtis and others, 2018). Колоссальный рост знаний о рыбном разнообразии стал возможным также из-за расширения глубоководного (до 1200 м) промысла коммерческими и научно-исследовательскими судами, равно как и из-за активизации пробоотбора в мелководье, благодаря которой в некоторых регионах было обнаружено много криптических видов рифовых рыб (Gordon and others, 2010). Даталогическая инфраструктура (WoRMS, ОБИС, портал данных ИКЕС и др.), служащая опорой для выполнения оценок, дополнилась новыми аналитическими инструментами, которые позволяют пользователям программно взаимодействовать с источниками данных (Boettiger and others, 2012; Chamberlain, 2018; Chamberlain and Salmon, 2018; Provoost and Bosch, 2019; Millar and others, 2019). Эти разработки и инструменты облегчили использование даталогических продуктов по морским рыбам в качестве индикаторов состояния морских экосистем (International Council for the Exploration of the Sea, 2018, 2019).

¹ Настройки поиска (таксономия: виды из классов Actinopterygii, Cephalaspidomorphi, Chondrichthyes, Muxini и Sarcopterygii; географический масштаб: глобальный; местообитания: морские океанические, морские глубоководные бентические, морские литоральные, морские прибрежные/супралиторальные и морские неритические) были выбраны таким образом, чтобы охватить все виды, принадлежащие к надклассу Pisces по классификации WoRMS (см. www.iucnredlist.org/search?permalink=c53bbf34-fec3-4549-8a83-d7630d2bc6bd).

Таблица 3

Количественная и процентная разбивка видов морских рыб по их таксономическим классам и по категориям МСОП

Категория МСОП	Класс											
	<i>Actinopterygii</i>			<i>Elasmobranchii</i>			<i>Holocephali</i>			<i>Coelacanthi</i>		
	До первой «Оценки»	После первой «Оценки»	Итого	До первой «Оценки»	После первой «Оценки»	Итого	До первой «Оценки»	После первой «Оценки»	Итого	До первой «Оценки»	После первой «Оценки»	Итого
Вызывающие наименьшую озабоченность	4 642	2 071	6 713 (80,6%)	117	201	318 (31,8%)	9	16	25 (54,3%)	-	-	-
Близкие к уязвимым	70	27	97 (1,2%)	85	22	107 (10,7%)	2	-	2 (4,3%)	-	-	-
Уязвимые	171	39	210 (2,5%)	80	27	107 (10,7%)	-	1	1 (2,2%)	1	-	1 (50%)
Находящиеся в опасности	45	18	63 (0,8%)	29	15	44 (4,4%)	-	-	-	-	-	-
Находящиеся в критической опасности	25	2	27 (0,3%)	14	24	38 (3,8%)	-	-	-	1	-	1 (50%)
Исчезнувшие (вообще) или исчезнувшие в дикой природе	2	-	2 (0,02%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Недостаточно данных	746	467	1 213 (14,6%)	310	75	385 (38,5%)	15	3	18 (39,1%)	-	-	-
Всего	5 701 (34,5%)	2 624 (15,9%)	8 325	635 (52,5%)	364 (30,1%)	999	26 (47,3%)	20 (36,4%)	46	2 (100%)	0 (0%)	2

Примечание. В столбцах «До первой «Оценки»» указано количество видов, оцененных в последний раз до 2015 года; в столбцах «После первой «Оценки»» – количество видов, оцененных начиная с 2015 года; в столбцах «Итого» – общее количество видов из каждого класса, соответствующих той или иной категории МСОП, и процент всех оцененных таких видов. В последней строке указаны общее количество видов, которые были оценены до и после первой «Оценки» в каждом классе, и процент всех таких видов в этом классе.

Таблица 4
Количественная и процентная разбивка видов морских рыб по свойственным им средам обитания и по категориям МСОП

	Неоцененные		Недостаточно данных		Неугрожаемые		Угрожаемые	
	Количество видов	Процент от общего количества известных видов	Количество видов	Процент от количества оцененных МСОП	Количество видов	Процент от количества оцененных МСОП	Количество видов	Процент от количества оцененных МСОП
Батидемерсальная	1 325	61,9	285	34,9	491	60,1	41	5,0
Демерсальная	3 060	49,7	617	19,9	2 169	69,9	317	10,2
Бентопелагическая	936	60,0	124	19,8	440	70,4	61	9,8
Батипелагическая	594	42,7	140	17,6	452	81,9	4	0,5
Пелагическо-неритическая	351	41,6	120	24,4	335	68,1	37	7,5
Пелагическо-океаническая	187	40,5	41	14,9	202	73,5	32	11,6
Приуроченная к рифам	1 561	33,0	262	8,3	2 712	85,5	198	6,2
Не выяснена	425	82,2	27	29,3	55	59,8	10	10,9

Примечание. Процент видов, отнесенных к категории «Неоцененные», – это не оцененная МСОП доля всех известных видов, которым свойственна указанная среда обитания. Процентный показатель в других столбцах – это доля, оцененная МСОП для каждой из этих сред обитания. Используемые МСОП категории «Вызывающие наименьшую озабоченность» и «Отмечающиеся пониженным риском/вызывающие наименьшую озабоченность» объединены в столбец «Неугрожаемые», а категории «Близкие к угрожаемым», «Уязвимые», «Находящиеся в опасности», «Находящиеся в критической опасности», «Исчезнувшие в дикой природе» и «Исчезнувшие» – в столбец «Угрожаемые».

3. Последствия изменений в биоразнообразии для человеческих сообществ, экономик и благополучия

Изменения в рыбном биоразнообразии имеют прямые и непосредственные последствия для человеческих сообществ, экономик и благополучия, поскольку эти изменения влияют на коммерческий, рекреационный и натуральный промысел, а также на альтернативные источники доходов, получаемых от морских экосистем, включая туризм (FAO, 2018). Рыбы имеют принципиальное значение для достижения цели 14 в области устойчивого развития², касающейся сохранения и рационального использования морских ресурсов, а несколько показателей, сопровождающих эту цель, непосредственно относятся к той роли, которую рыбы играют в устойчивом продоволь-

ственном снабжении (см. гл. 15). В частности, более полное выяснение распространения и численности морских рыб является важнейшим способом отслеживать ход выполнения задачи 14.4 (эффективное регулирование добычи). Повышение экономических выгод, получаемых малыми островными развивающимися государствами и наименее развитыми странами от туризма (задача 14.7), будет предполагать выяснение распространения и состояния привлекательных рыбных видов, например мант (Kessel and others, 2017), или рыбных скоплений, например приуроченных к коралловым рифам (Wabnitz and others, 2018).

² См. резолюцию 70/1 генеральной Ассамблеи.

4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)

4.1. Северная часть Атлантического океана

В Северной Атлантике и прилегающих акваториях нагрузка на рыбные запасы за период 2003–2017 годов показывает в целом тенденцию к понижению, а медианная промысловая смертность стабилизировалась на уровне 1,0. Индикатор нагрузки (F/F_{msy}) для Средиземного и Черного морей остался на уровне 2,2. Количество рыбных стад, удерживающихся в безопасных биологических пределах, увеличилось почти вдвое (с 15 в 2003 году до 29 в 2017-м), причем наибольшее увеличение (с 2 до 8 стад) произошло в Бискайском заливе и иберийских водах. Совокупный объем биомассы сохранял положительную динамику, увеличившись на примерно 36 процентов. В Средиземном и Черном морях биомасса нерестовых стад не показала в 2016 году значительного увеличения по сравнению с 2003 годом. В Северо-Западной Атлантике имели место заметные изменения в структуре рыбного сообщества: в результате перелома произошел упадок тресковых и скумбриевых запасов (Shelton and Sinclair, 2008; Van Beveren and others, 2020).

В Балтийском море с 1971 по 2013 год наблюдались не внезапные изменения в функциональном разнообразии и многопризнаковом составе сообществ, а постепенные долгосрочные тенденции (Törnroos and others, 2018). Вдоль сильного западно-восточного градиента солености насчитывается три субскопления, а функциональная избыточность в собственно Балтике является по сравнению с другими подрайонами низкой, что позволяет предположить большую восприимчивость экосистемы к внешним нагрузкам (Frelat and others, 2018). В Северном море таксономические и признаковые индикаторы дают новые сведения о структуре рыбных скоплений и высвечивают многогранные воздействия побудителей, вызывающих эти изменения. В частности, в центральной части Северного моря имело место уменьшение размерной структуры сообщества, связанное с изменениями в промысле, притом что в районе Норвежского желоба произошло увеличение такой же структуры, связанное прежде всего с изменением климата, а

вдоль восточного побережья Шотландии, где эта структура сильнее всего связана с чистой первичной продукцией, изменений не наблюдалось (Marshall and others, 2016). В Средиземноморье динамика мелких и средних популяций пелагических рыб демонстрирует синхронность с изменчивостью климата: если в центрально-западной части Средиземного моря на эту динамику влияет Северо-Атлантическое колебание, то в центрально-восточной его части анчоусовые и сардинные популяции следуют сигналу Атлантического многодесятилетнего колебания. Таким образом, во временной динамике пелагических рыб Средиземноморья проявляются сильные субрегиональные закономерности (Tsikliras and others, 2019).

4.2. Южная часть Атлантического океана

Большой Карибский район отличается высоким биоразнообразием и является важным очагом рыбного эндемизма: примерно 50 процентов его костных рыб не встречаются где-либо еще (Linardich and others, 2017). Разнообразие океанографических и гидрографических характеристик порождает целый набор субтропических и тропических местообитаний, включая 8 процентов коралловых рифов мира и 6 процентов подводных гор (Oxenford and Monnereau, 2018). На рыбном биоразнообразии негативно отражаются перелом, разрушение местообитаний (в частности, коралловых рифов) и изменение климата (Jackson and others, 2014; Oxenford and Monnereau, 2018). Несколько видов крупноразмерных рыб исчезли как объект коммерческой добычи или находятся в критической опасности (Linardich and others, 2017). Уменьшение биоразнообразия рыб сказывается на функционировании карибских коралловых рифов (Lefcheck and others, 2019) и сопровождается социально-экономическими последствиями, особенно для малых островных развивающихся государств, где до 22 процентов рабочей силы занято в рыболовном секторе (Edwards and Yarde, 2019).

В экваториальной Атлантике формируется такой значимый феномен, как беспрецедентно сильное

цветение пелагических водорослей *Sargassum*, которые с 2011 года заносятся адвективными процессами в Карибское море (Wang and others, 2019). Это негативно сказывалось на критически значимых рыбных местообитаниях и на приуроченном к ним биоразнообразии рыб в прибрежной зоне (van Tussenbroek and others, 2017; Rodríguez-Martínez and others, 2019), но оборачивалось положительными эффектами для некоторых приуроченных к рифам пелагических видов, чьи популяции увеличились и поддерживают в настоящее время промысел (например, кавалла *Carangoides bartholomaei* и сериола *Seriola rivoliana*) (Ramlogan and others, 2017; Monnereau and Oxenford, 2017). Присутствие *Sargassum*, видимо, плохо сказывается на объемах выгружаемого улова морских пелагических рыб: некоторые из них (например, корифена *Coryphaena hippurus*) легче поддаются вылову, но зачастую в виде мелкой молодежи, а другие (например, ласточкокрыл *Hirundichthys affinis*) вылову поддаются труднее (Oxenford and others, 2019; Caribbean Regional Fisheries Mechanism-Japan International Cooperation Agency, 2019).

4.3. Северная часть Тихого океана

В северной части Тихого океана, простирающейся от арктических до тропических вод, насчитывается более 6000 видов рыб (это самый большой в мире показатель рыбного разнообразия). Такое богатое разнообразие обусловлено и поддерживается сильными водными течениями, действующими в северном и южном направлениях вдоль северо-западного континентального шельфа. Этими течениями обеспечивается как перемещение рыб, так и изоляция рыбных популяций, что способствует видообразованию (Motomura, 2019). Северный регион служит крупной промысловой акваторией, на которую приходится около 30 процентов мировых уловов, а основными объектами промысла являются минтай, тунцы, сардины и анчоусы. Южный регион включает северную часть Кораллового треугольника (признанный очаг морского биоразнообразия), и по видовому богатству прибрежных рыб он превосходит все остальные крупные морские районы земного шара (Roberts and others, 2002). Большинство рыб в южной части приурочены к коралловым рифам, и их популяции переживают упадок из-за интенсивной промысловой нагрузки

и из-за деградации местообитаний (Nafola and others, 2011).

4.4. Южная часть Тихого океана

Южная часть Тихого океана включает несколько тропических, субтропических и умеренных морских экосистем с высоким биоразнообразием, которые непосредственно модулируются «Эль-Ниньо – Южным колебанием» и муссонами. Первичная продукция отмечается высокой межгодовой изменчивостью, которая приводит к богатому разнообразию морских рыб, в том числе рифовых, пелагических и далеко мигрирующих (тунец, акулы, манты и др.). На рыбном биоразнообразии в этом регионе сказываются вылов (включая прилов) мелких пелагических рыб, акул и тунца, а также изменение климата и загрязнение, которые угрожают местам нагула и вытесняют виды из тропических вод в умеренные. Уничтожение таких стратегических местообитаний, как мангры, может изменить распространение и численность рыбных видов, которые используют эти районы для воспроизводства и кормления.

Исследованные районы юго-западной части Тихого океана, включая океанские хребты и подводные горные цепи, поддерживают богатое разнообразие морских рыб (Clark and Roberts, 2008; Roberts and others, 2015). Ихтиофауна тропических островов Меланезии и Полинезии на севере юго-западной части Тихого океана имеет преимущественно индоокеанско-западнотихоокеанское происхождение и характеризуется высоким разнообразием, но относительно низким уровнем эндемизма. Напротив, Новая Каледония (Франция) – это очаг эндемизма рыб: из 2341 вида, зафиксированного в исключительной экономической зоне, 107 являются эндемиками (Fricke and others, 2011, 2015). У берегов Новой Зеландии количество известных видов морских рыб выросло с примерно 1000 видов в 1993 году до более чем 1294 в 2019-м (Roberts and Paulin, 1997; Roberts and others, 2015, 2019), причем 22 процента эндемичны для новозеландского региона, а половина дополнительно обнаруженных видов не были раньше известны науке. В акваториях Австралии, которая расположена к юго-западу от вышеупомянутых тропических архипелагов и на стыке двух крупных океанов, обитает около 2000 известных видов морских рыб.

5. Перспективы

Положительное в перспективах биоразнообразия рыб связано со свидетельствами того, что отдельные рыбные популяции положительно реагируют на эффективное управление рыболовством (Hilborn and others, 2020) и что в действенно охраняемых морских районах разнообразие и биомасса рыб увеличиваются (Sala and Giakoumi, 2017). Однако глобальное исчезновение *Sympterygion unipennis* из семейства брахионихтовых (Last and others, 2020) является напоминанием о том, что биоразнообразие рыб продолжает сталкиваться со значительными угрозами. Как о позитивных, так и о негативных сдвигах становится известно потому, что рыбы остаются (главным образом из-за своей экономической ценности) одним из наиболее систематически изучаемых и отслеживаемых компонентов морских экосистем. Тем не менее значительную часть рыбного разнообразия еще только предстоит обнаружить: по прикидкам экспертов, в таком отдельно взятом районе, как исключительная экономическая зона и расширенный континентальный шельф Новой Зеландии, дожидается своего описания еще как минимум 700 видов рыб, что на 50 процентов больше количества ныне известных видов (Gordon and others, 2010; Roberts and others, 2019). Дальнейшее увеличение потенциала в сфере таксономии и биосистематики (Taxonomy Decadal Plan Working Group, 2018) и интеграция

данных из существующих коллекций биоразнообразия (Nelson and others, 2015) и других источников (Edgar and others, 2016) проложили бы путь к более объемлющим, комплексным анализам рыбного биоразнообразия как в кратко-, так и среднесрочном отношении. Наряду с расширенными познаниями о биоразнообразии рыб необходимы также более точные прикидки рыбной биомассы для некоторых зон океана, таких как пелагиаль. Считается, что в мировой рыбной биомассе доминируют мезопелагические рыбы, однако расчеты их биомассы охватывают несколько порядков величины, так что точный вклад, вносимый этой группой в разные глобальные показатели, остается плохо изученным (Irigoiien and others, 2014; Hidalgo and Browman, 2019). Кроме того, хотя в настоящее время нет оценок видового богатства или биомассы батипелагических рыб, которые обитают в самой большой в мире (по объему) среде, велика вероятность того, что эти рыбы составляют значительную часть глобальной рыбной биомассы (Sutton and others, 2017). За период после первой «Оценки» наметилась такая существенная угроза для батипелагических рыб, как появление сбросовых вод при подводной добыче руды (Drazen and others, 2019). В таблице 5 резюмируются основные пробелы в знаниях и в потенциале применительно к вопросу о биоразнообразии рыб.

Таблица 5
Основные пробелы в понимании биоразнообразия морских рыб

Пробелы в знаниях и в потенциале	Примеры шагов, предпринимаемых для ликвидации пробелов
Инфраструктура и возможности в сфере таксономии и биосистематики	Национальные и международные планы по поддержке и развитию стержневых таксономических работ, кадров и инфраструктуры (например, Taxonomy Decadal Plan Working Group, 2018)
Перенос существующих данных в открытые глобальные хранилища	Сбережение данных, собранных в прошлом, оцифровка музейных образцов и извлечение информации из старой литературы о биоразнообразии (например, Faulwetter and others, 2016)
Выяснение разнообразия мезопелагических и глубоководных рыб	Повышение количества проб и качества их собирания с привлечением новых технологий (например, Linley and others, 2016; Hidalgo and Browman, 2019)
Реакция рыб на одновременное действие нескольких стрессоров	Совершенствование увязки релевантных данных между разными дисциплинами (например, Hodgson and others, 2019)

Справочная литература

- Arthington, Angela H., and others (2016). Fish conservation in freshwater and marine realms: status, threats and management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 26, No. 5, pp. 838–857.
- Bar-On, Yinon M., Rob Phillips, and Ron Milo (2018). The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 25, pp. 6506–6511. <https://doi.org/10.1073/pnas.1711842115>.
- Boettiger, Carl, and others (2012). rfishbase: exploring, manipulating and visualizing FishBase data from R. *Journal of Fish Biology*, vol. 81, No. 6, pp. 2030–2039.
- Caribbean Regional Fisheries Mechanism-Japan International Cooperation Agency (2019). *Fact-Finding Survey Regarding the Influx and Impacts of Sargassum Seaweed in the Caribbean Region*. Belize City: Caribbean Regional Fisheries Mechanism.
- Chamberlain, Scott (2018). *worms: World Register of Marine Species (WoRMS) Client* (version 0.4.0). <https://CRAN.R-project.org/package=worms>.
- Chamberlain, Scott, and M. Salmon (2018). *rredlist: IUCN Red List Client*. R Package. 0.6.0. <https://CRAN.R-project.org/package=rredlist>.
- Clark, Malcolm R., and Clive Roberts (2008). *Fish and Invertebrate Biodiversity on the Norfolk Ridge and Lord Howe Rise, Tasman Sea (NORFANZ Voyage, 2003)*. Wellington: Ministry of Fisheries.
- Comte, Lise, and Julian D. Olden (2017). Climatic vulnerability of the world's freshwater and marine fishes. *Nature Climate Change*, vol. 7, pp. 718–722.
- Curtis, Tobey H., and others (2018). First insights into the movements of young-of-the-year white sharks (*Carcharodon carcharias*) in the western North Atlantic Ocean. *Scientific Reports*, vol. 8, art. 10794.
- Drazen, Jeffrey C., and others (2019). Report of the workshop Evaluating the nature of midwater mining plumes and their potential effects on midwater ecosystems. *Research Ideas and Outcomes*, vol. 5, e33527. <https://doi.org/10.3897/rio.5.e33527>.
- Edgar, Graham J., and others (2016). New approaches to marine conservation through the scaling up of ecological data. *Annual Review of Marine Science*, vol. 8, pp. 435–461.
- Edwards, Thera, and Thérèse Yarde (2019). *The State of Biodiversity in the Caribbean Community: A Review of Progress Towards the Aichi Biodiversity Targets*. Caribbean Community Secretariat.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2018) = Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО) (2018). *Состояние мирового рыболовства и аквакультуры, 2018: достижение целей устойчивого развития*. Рим.
- Frelat, Romain, and others (2018). A three-dimensional view on biodiversity changes: spatial, temporal, and functional perspectives on fish communities in the Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 75, No. 7, pp. 2463–2475.
- Fricke, Ronald, and others (2011). Checklist of the fishes of New Caledonia, and their distribution in the Southwest Pacific Ocean (Pisces). *Stuttgarter Beiträge Zur Naturkunde A, Neue Serie*, vol. 4, pp. 341–463.
- Fricke, Ronald, and others (2015). Twenty-one new records of fish species (Teleostei) from the New Caledonian EEZ (south-western Pacific Ocean). *Marine Biodiversity Records*, vol. 8.
- Fricke, Ronald, and others (2020). Eschmeyer's Catalog of Fishes: Genera, Species, References. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>.
- Froese, Rainer, and Daniel Pauly (2019). FishBase. Available at www.fishbase.de/search.php.
- Gerringer, Mackenzie. E., and others (2017). *Pseudoliparis swirei* sp. nov.: A newly-discovered hadal snailfish (Scorpaeniformes: Liparidae) from the Mariana Trench. *Zootaxa*, vol. 4358, No. 1, pp. 161–177.

- Gordon, Dennis P., and others (2010). Marine Biodiversity of Aotearoa New Zealand. *PLoS One*, vol. 5, No. 8, e 10905.
- Hidalgo, Manuel, and Howard I. Browman (2019). Developing the knowledge base needed to sustainably manage mesopelagic resources. *ICES Journal of Marine Science* vol. 76, No. 3.
- Hilborn, Ray, and others (2020). Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 117, No. 4, pp. 2218–2224.
- International Council for the Exploration of the Sea (ICES) (2018). Report of the Working Group on Ecosystem Effects of Fishing Activities (WGECO), 12–19 April 2018, San Pedro del Pinatar, Spain. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00441/55216>.
- _____ (2019). Working Group on the Ecosystem Effects of Fishing Activities (WGECO). *ICES Scientific Reports*, vol. 1, No. 27. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.4981>.
- Irigoiien, Xabier, and others (2014). Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean. *Nature Communications*, vol. 5, art. 3271.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2019). *The IUCN Red List of Threatened Species*. www.iucnredlist.org/en.
- Jackson, J., and others (2014). *Status and Trends of Caribbean Coral reefs: 1970–2012*. Global Coral Reef Monitoring Network. Washington, D.C.: International Union for the Conservation of Nature Global Marine and Polar Program.
- Kessel, Steven Thomas, and others (2017). Conservation of reef manta rays (*Manta alfredi*) in a UNESCO World Heritage Site: Large-scale island development or sustainable tourism? *PLoS One*, vol. 12, No. 10, e 0185419.
- Last, P.R., and others (2020). *Sympterychthys unipennis*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. e. T123423283A123424374. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-1.RLTS.T123423283A123424374.en>.
- Lefcheck, Jonathan S., and others (2019). Tropical fish diversity enhances coral reef functioning across multiple scales. *Science Advances*, vol. 5, No. 3, e aav6420.
- Linardich, C., and others (2017). *The Conservation Status of Marine Bony Shorefishes of the Greater Caribbean*. Gland, Switzerland: IUCN.
- Linley, Thomas D., and others (2016). Fishes of the hadal zone including new species, in situ observations and depth records of Liparidae. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 114, pp. 99–110.
- Marshall, Abigail M., and others (2016). Quantifying heterogeneous responses of fish community size structure using novel combined statistical techniques. *Global Change Biology*, vol. 22, No. 5, pp. 1755–1768.
- Millar, C., and others (2019). IcesDatras: DATRAS Trawl Survey Database Web Services (version 1.3-0). <https://CRAN.R-project.org/package=icesDatras>.
- Monnereau, I., and H.A. Oxenford (2017). Impacts of climate change on fisheries in the coastal and marine environments of Caribbean Small Island Developing States (SIDS). *Caribbean Marine Climate Change Report Card: Science Review*, vol. 2017, pp. 124–154.
- Motomura, H., (2019). Chapter 4. Distribution. In *The Encyclopedia of Ichthyology*, pp. 163–206.
- Nañola, Cleto L., and others (2011). Exploitation-related reef fish species richness depletion in the epicenter of marine biodiversity. *Environmental Biology of Fishes*, vol. 90, No. 4, pp. 405–420.
- Nelson, Wendy, and others (2015). *National Taxonomic Collections in New Zealand*. Royal Society of New Zealand.

- OBIS (2018). *Ocean Biogeographic Information System*. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO.
- Oxenford, Hazel A., and others (2019). *Report on the Relationships between Sargassum Events, Oceanic Variables and Dolphinfish and Flyingfish Fisheries*. Bridgetown: Centre for Resource Management and Environmental Studies, University of the West Indies, Cave Hill Campus.
- Oxenford, Hazel, and Iris Monnereau (2018). Chapter 9: Climate change impacts, vulnerabilities and adaptations: Western Central Atlantic marine fisheries. In *Impacts of Climate Change on Fish and Shellfish in the Coastal and Marine Environments of Caribbean Small Island Developing States (SIDS)*, M. Barange and others, eds. FAO Fisheries Technical Paper, No. 627, pp. 147–68.
- Provoost, Pieter, and Samuel Bosch (2019). Robis: R Client to access data from the OBIS API. Ocean Biogeographic Information System. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. <https://cran.r-project.org/package=robis>.
- Queiroz, Nuno, and others (2019). Global spatial risk assessment of sharks under the footprint of fisheries. *Nature*, vol. 572, pp. 461–466.
- Rabosky, Daniel L., and others (2018). An inverse latitudinal gradient in speciation rate for marine fishes. *Nature*, vol. 559, pp. 392–395.
- Ramlogan, N.R., and others (2017). *Socio-Economic Impacts of Sargassum Influx Events on the Fishery Sector of Barbados*. CERMES Technical Report, No. 81. Bridgetown, Barbados: Centre for Resource Management and Environmental Studies, University of the West Indies, Cave Hill Campus.
- Roberts, Callum M., and others (2002). Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs. *Science*, vol. 295, No. 5558, pp. 1280–1284.
- Roberts, Clive D., and others (2019). *Checklist of the Fishes of New Zealand: Online Version 1.1*. Wellington: Museum of New Zealand Te Papa Tongarewa. <https://collections.tepapa.govt.nz/document/10564>.
- Roberts, Clive D., and Chris D. Paulin (1997). Fish collections and collecting in New Zealand. In *Collection Building in Ichthyology and Herpetology*, Theodore W. Pietsch and William D. Anderson, Jr., eds., ASIH Special Publication 3. pp. 207–229.
- Roberts, Clive D., and others (2015). *The Fishes of New Zealand*. Te Papa Press.
- Robinson, James P.W., and others (2019). Thermal stress induces persistently altered coral reef fish assemblages. *Global Change Biology*, vol. 25, No. 8, pp. 2739–2750.
- Rodríguez-Martínez, R.E., and others (2019). Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic *Sargassum*. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 146, pp. 201–205.
- Sala, Enric, and Sylvaine Giakoumi (2017). No-take marine reserves are the most effective protected areas in the ocean. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 75, No. 3, pp. 1166–1168. <http://doi.org/10.1093/icesjms/fsx059>.
- Shelton, P.A., and A.F. Sinclair. 2008. It's time to sharpen our definition of sustainable fisheries management. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 65, pp. 2305–2314.
- Stein, R. William, and others (2018). Global priorities for conserving the evolutionary history of sharks, rays and chimaeras. *Nature Ecology & Evolution*, vol. 2, pp. 288–298.
- Sutton, Tracey T., and others (2017). A global biogeographic classification of the mesopelagic zone. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 126, pp. 85–102.
- Taxonomy Decadal Plan Working Group (2018). *Discovering Diversity: A Decadal Plan for Taxonomy and Biosystematics in Australia and New Zealand 2018–2028*. Canberra and Wellington: Australian Academy of Science and Royal Society Te Apārangi.
- Törnroos, Anna, and others (2019). Four decades of functional community change reveals gradual trends and low interlinkage across trophic groups in a large marine ecosystem. *Global Change Biology*, vol. 25, No. 4, pp. 1235–1246.

- Tsikliras, Athanassios C., and others (2019). Synchronization of Mediterranean pelagic fish populations with the North Atlantic climate variability. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 159, pp. 143–151.
- United Nations (2017a). Chapter 34: Global patterns in marine biodiversity. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press Cambridge.
- _____ (2017b). Chapter 35: Extent of assessment of marine biological diversity. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*, pp. 525–54. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017c). Chapter 40: Sharks and other elasmobranchs. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017d). Chapter 41: Tunas and billfishes. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017e). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van Beveren, Elisabeth, and others (2020). An example of how catch uncertainty hinders effective stock management and rebuilding. *Fisheries Research*, vol. 224, doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105473.
- Van der Laan, R., and R. Fricke (2019). Eschmeyer's Catalog of Fishes: Classification, vol. 12. www.calacademy.org/scientists/catalog-of-fishes-classification.
- Van Tussenbroek, Brigitta I., and others (2017). Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 122, Nos. 1 and 2, pp. 272–281.
- Villarrubia-Gómez, P., and others (2018). Marine plastic pollution as a planetary boundary threat – The drifting piece in the sustainability puzzle. *Marine Policy*, vol. 96, pp. 213–220.
- Wabnitz, Colette C.C., and others (2018). Ecotourism, climate change and reef fish consumption in Palau: Benefits, trade-offs and adaptation strategies. *Marine Policy*, vol. 88, pp. 323–332.
- Walls, Rachel H.L., and Nicholas K. Dulvy (2019). Predicting the conservation status of Europe's Data Deficient sharks and rays. *BioRxiv*.
- Wang, Mengqiu, and others (2019). The great Atlantic *Sargassum* belt. *Science*, vol. 365, No. 6448, pp. 83–87.
- Webb, Thomas J., and Beth L. Mindel (2015). Global patterns of extinction risk in marine and non-marine systems. *Current Biology*, vol. 25, No. 4, pp. 506–511.
- World Register of Marine Species (WoRMS) (2019). WoRMS taxon details. Pisces. www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=11676.
- WoRMS Editorial Board (2019). World Register of Marine Species. www.marinespecies.org.

Глава 6D

Морские

млекопитающие

Участники: Давид Люссо (координатор), Лусиану Далла Роза, Андре Силва Баррету, Метте Шерн-Маурицен, Пак Чхуль (ведущий участник, ответственный за главу) и Кэрен Эванс (ведущий участник, ответственный за подглаву).

Ключевые тезисы

- Морские млекопитающие играют одну из ключевых ролей в морских экосистемах с точки зрения биомассы, потребления и передачи энергии и продолжают вносить значительный экономический и культурный вклад в жизнь прибрежных сообществ.
- Возросло количество видов, у которых выяснен статус сохранности, а восемь видов в результате получения новой информации перестали относиться к категории «Недостаточно данных». У 36 процентов видов беззубых китов увеличивается численность. Состояние прибрежных дельфинов, сирен и обоих морских видов из семейства куньих в целом ухудшается, а калифорнийская морская свинья близка к исчезновению. По многим видам информация о численности отсутствует.
- Крупной угрозой для сохранности многих видов остается попадание в прилов при рыбном промысле. Более распространенными, особенно в прибрежных зонах, становятся такие косвенные угрозы, как изменение местообитаний, перелов видов, которыми питаются хищники, загрязнение на суше, антропогенный шум, столкновение с судами и беспокоящие факторы.
- В некоторых прибрежных развивающихся государствах растет, судя по всему, потребление мелких морских млекопитающих — добываемых специально и попадающих в прилов.

1. Введение

Насчитывается 132 ныне живущих вида морских млекопитающих (китообразные, ластоногие, сирены, куньи и белый медведь) с разнообразными повадками. Есть виды и космополитные, и встречающиеся в нескольких специфических локальных популяциях (например, некоторые виды дельфинов), и эндемичные для определенных экорегионов (например, пресноводные дельфины). В первой «Оценке состояния Мирового океана» (United Nations, 2017) основными нагрузками, обуславливающими динамику численности морских млекопитающих, были признаны направленная добыча (включая коммерческий и натуральный промысел), воздействие рыболовства (включая запутывание в снастях и попадание в прилов) и перемены в среде обитания (включая возмущения, события в прибрежной и речной зонах и изменение климата).

В настоящей главе сообщается об изменениях в глобальном состоянии морских млекопитающих за период после первой «Оценки». Делается это на основе оценок, выполняемых по морским млекопитающим для Красного списка Международного союза охраны природы (МСОП) группами специалистов Комиссии МСОП по выжи-

ванию видов (International Union for Conservation of Nature (IUCN), 2019). Эти оценки дополняются при необходимости обращением к первоисточникам. Сообщается также об изменениях в угрозах для сохранности видов (IUCN, 2019), рассчитанных за два десятилетия: 1999–2008 и 2009–2018 годы.

Благодаря росту информации о популяциях количество видов морских млекопитающих, попадающих в категорию «Недостаточно данных», в целом уменьшилось (рисунок I). Со времени первой «Оценки» у восьми видов морских млекопитающих состояние улучшилось, а у четырех — ухудшилось (рисунок I). Эти тенденции дают повод для осторожного оптимизма: отдельные хозяйственные меры, принимаемые в мире с целью уменьшить хорошо известные угрозы для сохранности видов морских млекопитающих и сопровождающиеся активизацией усилий по сбору данных и информации об этих видах, демонстрируют признаки эффективности.

За период после первой «Оценки» удалось продвинуться в понимании роли, которую морские млекопитающие играют в состоянии и продуктивности морских систем (Roman and others,

2014), включая круговорот питательных веществ и хранение углерода (Doughty and others, 2016), трофические каскады (Estes and others, 2016; Burkholder and others, 2013; Kiszka and others, 2015) и экосистемную инженерию. Сокращение популяций калана оказало громадное воздействие на прибрежные экосистемы в восточной части Тихого океана (Estes and others, 1998; Estes and others, 2016). Дальнейшее восстановление беззубых китов, подвергавшихся в XIX и XX веках чрезмерной эксплуатации, станет, вероятно, влиять на морские пищевые сети, причем происходить это будет разными путями: как через потребление, так и посредством вертикального (через водную толщу) и горизонтального (между местом кормления и местом рождения потомства) переноса питательных веществ (Roman and others, 2014). На популяции морских млекопитающих (как и вообще на популяции хищников в морских системах) влияет временная и пространственная изменчивость продуктивности в океанских бассейнах. Благодаря более гибкому поведению некоторые виды могут оказаться выносливее других к переменам в динамике морской продуктивности, вызываемым изменением климата и чрезмерной

эксплуатацией (Sydeman and others, 2015; Moore and Reeves, 2018).

Главными угрозами для сохранности всех групп морских млекопитающих, оцениваемых МСОП, по-прежнему считаются их коммерческий или натуральный промысел, попадание в прилов и запутывание в рыболовных снастях (рисунок II; IUCN, 2019). Диверсификация человеческой деятельности в Мировом океане, в том числе производство энергии и добыча полезных ископаемых в рамках расширяющейся «голубой экономики» во многих морских регионах (Eikeset and others, 2018), порождает новые вызовы для сохранности морских млекопитающих. На растущий круг видов начинают сейчас влиять такие факторы, как изменение климата и связанные с ним перемены в динамике морских экосистем, антропогенный шум, столкновение с судами, модификация среды обитания и сбои в устоявшемся поведении (рисунок II; IUCN, 2019). Важно отметить, что индивидуальные угрозы могут взаимодействовать между собой и приводить к кумулятивным эффектам, а это усугубляет их влияние на виды (National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, 2017; см. также гл. 25).

Рисунок I.A
Изменения в статусе сохранности морских млекопитающих за три оценочных периода (до 1999 г., в 1999–2008 гг. и в 2009–2018 гг.) на основе оценок из Красного списка МСОП

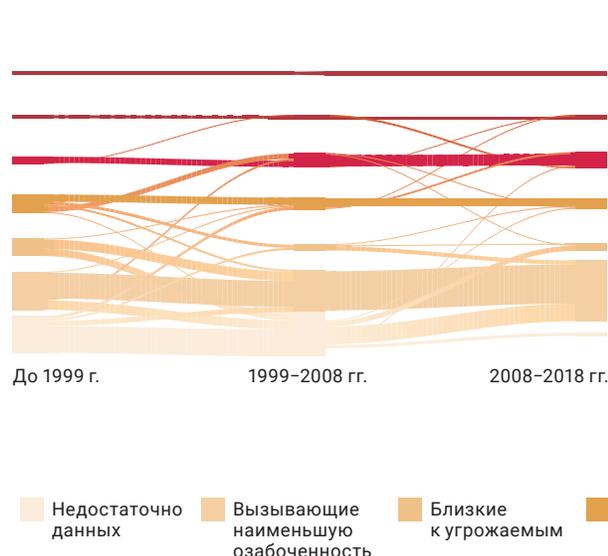


Рисунок I.B
Видовой состав разных групп морских млекопитающих, ранжированный по статусу сохранности

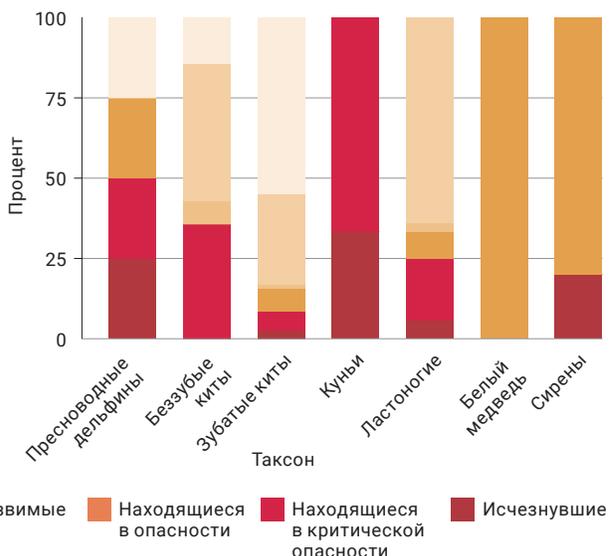


Рисунок II.A
Временной диапазон ныне известных угроз для сохранности всех видов морских млекопитающих

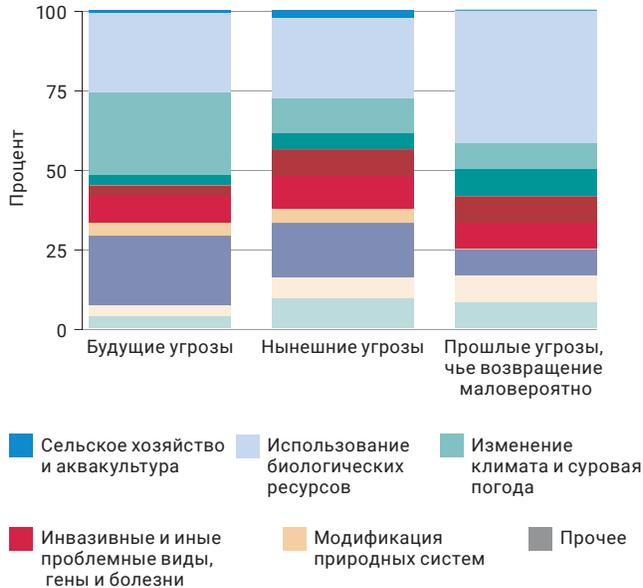
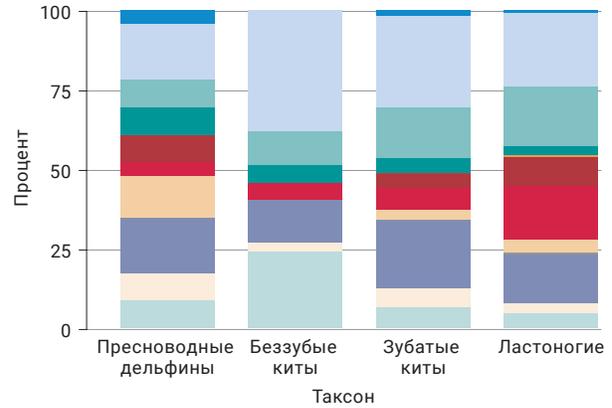


Рисунок II.B
Угрозы для сохранности определенных групп



Примечание. Категории угроз заимствованы из составленной МСОП Схемы классификации угроз, в которой антропогенный шум относится к загрязнению, а рыболовство и добыча водных ресурсов — к использованию биологических ресурсов (IUCN, 2019).

2. Китообразные

2.1. Беззубые киты (Mysticetes)

2.1.1. Разнообразие

В настоящее время признается 14 ныне живущих видов беззубых, или усатых, китов. Они распределяются по четырем семействам: Balaenidae, Balaenopteridae, Neobalaenidae и Eschrichtiidae.

2.1.2. Численность и главные угрозы

Гренландский кит (*Balaena mysticetus*) и южный гладкий кит (*Eubalaena australis*) из семейства Balaenidae отнесены к категории «Вызывающие наименьшую озабоченность», что отражает тенденции к увеличению их популяции. Тем не менее увеличиваются не все географически очерченные популяции южного гладкого кита (George and others, 2018). Совсем недавно бискайский кит (*E. glacialis*) был отнесен к категории «Находящиеся в опасности». Судя по подсчетам, с 1990 по 2010 год популяция этого вида увеличивалась, однако в последующие годы она на 16 процентов

уменьшилась (Pettis and others, 2018). Что касается японского гладкого кита (*E. japonica*; категория «Находящиеся в опасности»), то данные о размере или динамике его популяции имеются не по всему видовому ареалу.

Если говорить о семействе Balaenopteridae, то в свете новой информации южный малый полосатик (*Balaenoptera bonaerensis*) был переведен из категории «Недостаточно данных» в категорию «Близкие к угрожаемым», а полосатик Брайда (*B. edeni*) — из категории «Недостаточно данных» в категорию «Вызывающие наименьшую озабоченность» (рисунок III. А). По прикидкам, можно говорить о повсеместных тенденциях к увеличению популяций голубого кита (*B. musculus*; категория «Находящиеся в опасности»), сейвала (*B. borealis*; категория «Находящиеся в опасности») и горбатого кита (*Megaptera novaeangliae*; категория «Вызывающие наименьшую озабоченность»): популяции этих китов восстанавливаются от китобойного промысла, ведущегося

в промышленных масштабах (IUCN, 2019). Ростом популяций объясняется и то, что финвал (*B. phyalus*) был переведен из категории «Находящиеся в опасности» в категорию «Уязвимые». Серый кит (*Eschrichtius robustus*) и карликовый кит (*Ceperea marginata*) отнесены к категории «Вызывающие наименьшую озабоченность»; популяция первого из этих видов считается стабильной, тогда как численность или динамика популяции второго не известны.

Главные текущие угрозы для беззубых китов, называемые в оценках из Красного списка МСОП, включают запутывание в рыболовных снастях (бискайский, горбатый и серый киты и финвал), промысел [малый полосатик (*B. acutorostrata*)], южный малый полосатик и сейвал) и столкновение с судами [бискайский, голубой, горбатый и серый киты, финвал и южный и японский гладкие киты) (IUCN, 2019)]. Предметом озабоченности является влияние климатических изменений на биологическую продуктивность, а следовательно, и на доступность добываемой пищи (Cabrerá and others, 2018). Вместе с тем наблюдения за некоторыми видами не согласуются с прогнозами. Например, численность эндемичного для Арктики гренландского кита растет, несмотря на стремительно происходящую сейчас потерю льда (Moore and Reeves, 2018), предвещающую сокращение численности организмов, которыми этот кит питается. Важно отметить, что экологические изменения могут взаимодействовать с другими антропогенными угрозами, вызывая непредвиденные синергические последствия (Moore and others, 2019; Seyboth and others, 2016). Например, происходят климатогенные перемены в том, как бискайский кит пользуется своей средой обитания: его заходы в акватории, где он не защищен от судоходства и коммерческого рыболовства, привели к учащению случаев гибели из-за запутывания в снастях и столкновения с судами (Corkeron and others, 2018; Meyer-Gutbrod and Greene, 2018). Направленная же добыча беззубых китов в рамках коммерческого и натурального промысла ведется, как правило, в приемлемых пределах.

2.2. Зубатые киты, дельфины и морские свиньи (*Odontocetes*)

2.2.1. Разнообразие

В мире насчитывается 75 признанных видов зубатых китообразных, распределяемых по 10 семействам. Самым разнообразным из них является семейство Delphinidae, куда входит несколько из наиболее уязвимых видов (рисунок III. С)¹.

2.2.2. Численность и главные угрозы

Пелагические зубатые киты, дельфины и морские свиньи

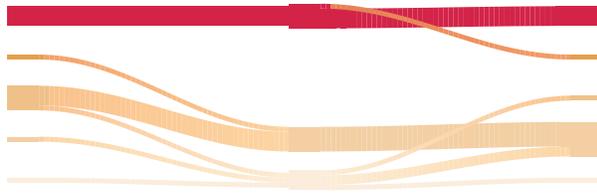
Из-за широкого распространения пелагических китообразных зачастую трудно оценить динамику численности их популяций и встречаемых ими угроз. В результате большинство океанских видов остаются в категории «Вызывающие наименьшую озабоченность» — за исключением кашалота (*Physeter macrocephalus*; категория «Уязвимые») и малой косатки (*Pseudorca crassidens*; переведена из категории «Недостаточно данных» в категорию «Близкие к уязвимым»). Свежих подсчетов общемировой численности или динамики популяции кашалотов не имеется. Клюворылые киты насчитывают 22 пелагических глубоководных вида, которые до сих пор малоизучены, а сейчас рассматривается предложение о признании нового вида: *Berardius minimus* (Yamada and others, 2019). Все виды из этой группы остаются в категории «Недостаточно данных» — за исключением плосколобого бутылконоса (*Hyperoodon planifrons*) и клюворова клюворыла (*Ziphius cavirostris*), которые отнесены к категории «Вызывающие наименьшую озабоченность». Косатка (*Orcinus orca*), являющаяся космополитным видом, относится во всем мире к категории «Недостаточно данных» — за одним исключением. Небольшая прибрежная популяция «южных оседлых» косаток, обитающих у побережья северо-восточной части Тихого океана, отнесена в Соединенных Штатах Америки и Канаде к категории «Находящиеся в опасности» по причине угроз, вызываемых дефицитом пищи, беспокоящими действиями судов, акустическим возмущением и аккумуляцией загрязнителей (Southern Resident Orca Taskforce, 2019).

¹ Отмечается вероятность уменьшения данной угрозы для этого вида из-за прекращения китобойных операций в Южном океане.

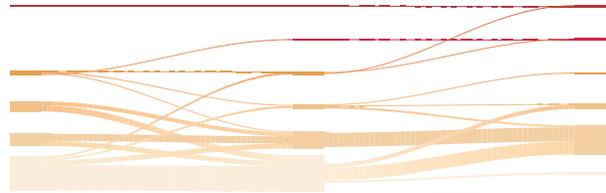
Рисунок III

Изменения в статусе сохранности за три оценочных периода (до 1999 г., в 1999–2008 гг. и в 2009–2018 гг.) на основе оценок из Красного списка МСОП

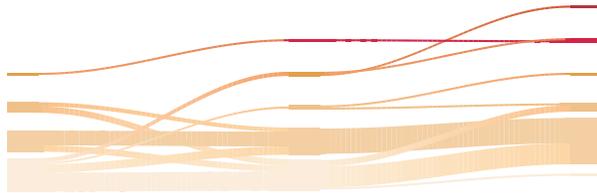
А. Беззубые киты



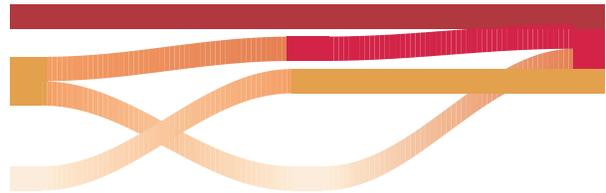
В. Зубатые киты



С. Дельфиновые



Д. Пресноводные дельфины



До 1999 г. 1999–2008 гг. 2008–2018 гг.

До 1999 г. 1999–2008 гг. 2008–2018 гг.

Недостаточно данных
 Вызывающие наименьшую озабоченность
 Близкие к угрожаемым
 Уязвимые
 Находящиеся в опасности
 Находящиеся в критической опасности
 Исчезнувшие

Угрозой для нескольких океанских видов названо запутывание в рыболовных снастях (IUCN, 2019). В свою очередь, вмешательство кашалотов, косаток и малых косаток в рыболовную деятельность, например в виде опустошения улова и похищения наживки, может привести к отпугивающим мерам, таким как отстрел, сопровождаемый смертностью (Tixier and others, 2019; Werner and others, 2015; Hamer and others, 2012). Антропогенный шум, в частности создаваемый среднечастотным активным сонаром, оказывает беспокоящее действие на такие глубоко погружающиеся виды, как кашалот, клюворылые киты и *Kogia* spp. (Pirodda and others, 2018; Harris and others, 2018). Сокращение морских льдов и потепление вод привели к учащению коллизий между обитателями льдов, такими как нарвал (*Monodon monoceros*), и более бореальными видами млекопитающих, такими как косатка, и сужению доступа к местам кормления (Breed and others, 2017).

Прибрежные и эстуарные дельфины и морские свиньи

Эта группа представлена в основном обитающими около берега и регионально ограничен-

ными видами или популяциями, включая эндемичные виды (Möller, 2012), а значит, наиболее восприимчива к человеческому вмешательству. Эта восприимчивость находит отражение в том факте, что 10 из 35 видов данной группы демонстрируют тенденцию к упадку: два вида отнесены к категории «Находящиеся в критической опасности», четыре — к категории «Находящиеся в опасности» и четыре — к категории «Уязвимые» (рисунок III. В). Что касается регионально ограниченных популяций, то их состояние может отличаться локальной неоднородностью. Например, если в глобальном отношении афалина (*Tursiops truncatus*) отнесена к категории «Вызывающие наименьшую озабоченность», то региональная популяция Фьордленда, Новая Зеландия, отнесена сейчас к категории «Находящиеся в критической опасности», средиземноморская популяция — к категории «Уязвимые», а черноморская — к категории «Находящиеся в опасности». Основной угрозой для популяций прибрежных и эстуарных дельфинов является их намеренный и случайный вылов в ходе промышленной деятельности. Несмотря на хозяйственные планы, свести их вылов до приемлемых уровней

не удалось, что привело к сильному снижению численности, в частности у калифорнийской морской свиньи (*Phocoena sinus*) (Jaramillo-Legorreta and others, 2019) и у дельфина Мауи (*Cephalorhynchus hectori maui*) (Baker and others, 2016). В случае калифорнийской морской свиньи существует высокий риск того, что в течение ближайших 10 лет она исчезнет (Rojas-Bracho and others, 2019). Прибрежные дельфины и морские свиньи сталкиваются и с другими угрозами, включая изменение климата и вызываемые им перемены в морской экосистемной динамике, загрязнение, столкновение с судами, неизвестные ранее болезни и возмущения, вызываемые промышленной и рекреационной деятельностью человека.

Пресноводные дельфины

Пресноводные дельфины (рисунок III. D) включают китайского озерного дельфина (*Lipotes vexillifer*), который отнесен в настоящее время к категории «Находящиеся в опасности» (воз-

можно, исчезнувшие)» (IUCN, 2019). Эта группа включает также инию (*Inia geoffrensis*), чья численность в бразильском заповеднике «Мамирауа» сократилась менее чем за одно дельфинье поколение на 70 процентов (da Silva and others, 2018), гангского дельфина (*Platanista gangetica*) и малого гангского дельфина (*P. g. minor*); все эти три вида отнесены в настоящее время к категории «Находящиеся в опасности». Подсчеты численности на общевидовом уровне отсутствуют. К основным угрозам для всех видов относятся водохозяйственные работы, которые приводят к дроблению местообитаний, привносимое с суши загрязнение, прилов, направленный промысел и иная антропогенная модификация местообитаний: все эти факторы вызывают продолжающийся упадок популяций (IUCN, 2019). Большинство семейств пресноводных дельфинов состоят из единственного вида, так что его утрата означала бы утрату целой эволюционной цепочки.

3. Ластоногие

3.1. Разнообразие

Признается 33 ныне живущих и 2 недавно исчезнувших вида ластоногих, принадлежащих к трем семействам: Otariidae, Phocidae и Odobenidae. Ареал у большинства этих видов является ограниченным: холодные умеренные и арктические воды в Северном полушарии (семь видов ластоногих); антарктические воды в Южном полушарии (четыре вида); Каспийское и Средиземное моря, озеро Байкал и Гавайские острова (по одному виду).

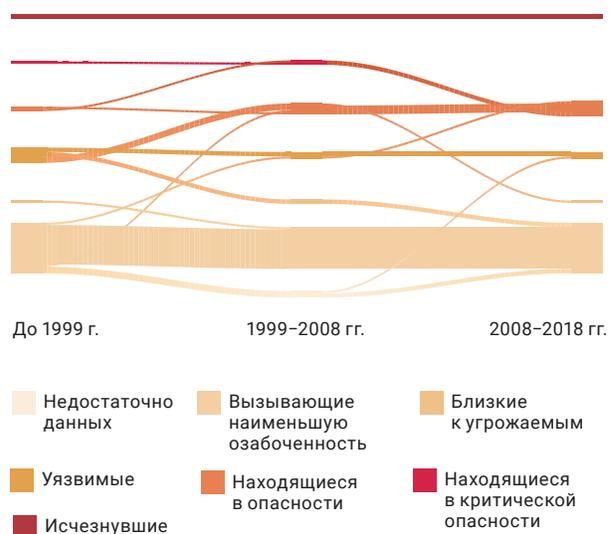
3.2. Численность и главные угрозы

3.2.1. Phocidae

По семейству настоящих тюленей глобальные тенденции выяснены для восьми видов: у четырех видов, включая средиземноморского тюленя-монаха (*Monachus monachus*; переведен из категории «Находящиеся в критической опасности» в категорию «Находящиеся в опасности»), численность растет; у одного вида, а именно у гавайского тюленя-монаха (*Neomonachus schauinslandi*; категория «Находящиеся в опасности»), численность сокращается; три вида находятся в стабильном состоянии (рисунок IV. A).

Рисунок IV.A

Изменения в статусе сохранности ластоногих за три оценочных периода (до 1999 г., в 1999–2008 гг. и в 2009–2018 гг.) на основе оценок из Красного списка МСОП

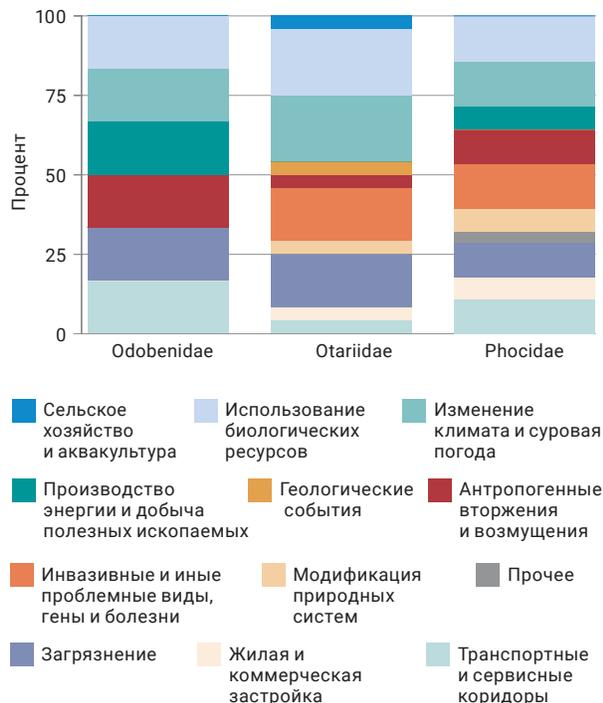


Примечание. Категории угроз заимствованы из составленной МСОП Схемы классификации угроз, в которой антропогенный шум относится к загрязнению, а рыболовство и добыча водных ресурсов — к использованию биологических ресурсов (IUCN, 2019).

В Антарктике самым многочисленным видом является тюлень-крабоед (*Lobodon carcinophaga*), насчитывающий примерно 4 млн взрослых особей, а в Арктике — гренландский тюлень (*Pagophilus groenlandicus*), насчитывающий примерно 4,5 млн взрослых особей (IUCN, 2019).

Угрозы, с которыми сталкиваются настоящие тюлени, одинаковы для всех видов этого семейства и включают утрату и изменение местообитаний (утрата мест выхаживания детенышей и мест отдыха), коллизии с промысловой деятельностью (намеренный убой, запутывание в сетях и конкуренция) и потенциальное заражение болезнями от домашних животных и диких сухопутных млекопитающих (рисунок IV. B; IUCN, 2019). Изменение популяционной тенденции, происшедшее недавно у средиземноморского тюленя-монаха, может являться результатом успешной локальной адаптации этого вида, которая достигнута отчасти благодаря избеганию коллизий с людьми [пользование рефугиумами, перемены в распоряжении окружающей средой, уменьшение контактов и др. (Notarbartolo di Sciara and Kotomatas, 2016)].

Рисунок IV.В
Удельный вес текущих и будущих угроз для трех семейств ластоногих



3.2.2. Otariidae

Численность ныне угрожаемых видов семейства ушастых тюленей (это, например, новозеландский (*Phocarctos hookeri*), австралийский (*Neophoca cinerea*) и галапагосский (*Zalophus wollebaeki*) морские львы) продолжает сокращаться, тогда как численность видов, отнесенных к категории «Вызывающие наименьшую озабоченность» [это, например, новозеландский морской котик (*Arctocephalus forsteri*) и калифорнийский морской лев (*Zalophus californianus*)], увеличивается. Исключением является сивуч (*Eumetopias jubatus*), который был в 2012 году переведен из категории «Исчезающие» в категорию «Близкие к угрожаемым» (IUCN, 2019). Это улучшение было во многом вызвано тем, что с 1980-х годов вдвое выросла численность лафлинского подвида сивуча (*Eumetopias jubatus monteriensis*), который был защищен от охоты. Численность же западного подвида сивуча (*E. j. jubatus*) увеличивается в некоторых частях его ареала, но продолжает сокращаться на Алеутских островах. Тем видам ушастых тюленей, которые считаются сейчас угрожаемыми, свойственны более ограниченные ареалы, в связи с чем они чувствительны к быстрым изменениям в морской продуктивности, вызываемым изменением климата (Atkinson and others, 2008; McClatchie and others, 2016) (рисунок IV. B). Еще одной угрозой являются коллизии с промысловой деятельностью (прилов и конкуренция за добычу) (Chilvers, 2012; Hamer and others, 2013). Хотя регулирование прилова привело к сокращению промысловой смертности у некоторых видов, данная угроза для сохранности может усугубляться другими факторами, что оборачивается снижением выживаемости на определенных этапах жизни и в определенных когортах и приводит к недостаточному восстановлению (Hamilton and Baker, 2019).

3.2.3. Odobenidae

Единственный вид семейства Odobenidae — морж (*Odobenus rosmarus*) — отнесен в настоящее время к категории «Уязвимые». Насчитывается примерно 225 000 особей, однако динамика численности неизвестна (IUCN, 2019). В прошлом моржей добывали незначительно, однако нынешние хозяйственные подходы позволяют поддерживать добычу в приемлемых пределах.

Ожидается, что на эти пределы станут влиять изменение климата и вызываемые им перемены в местообитаниях (MacCracken, 2012), а это будет сказываться на продовольственной безопасности человека. Угрозы для сохранности данного

вида дополнительно усугубляются развитием промышленных работ в Арктике, влекущих за собой потерю морского льда (Moore and Reeves, 2018).

4. Сирены

4.1. Разнообразие

В отряде Sirenia насчитывается четыре ныне живущих вида: амазонский (*Trichechus inunguis*), американский (*Trichechus manatus*) и африканский (*Trichechus senegalensis*) ламантины и дюгонь (*Dugong dugon*), — причем есть некоторые признаки генетической дивергенции между популяциями, обитающими в разных частях видового ареала (Hunter and others, 2010).

4.2. Численность и главные угрозы

Подсчеты численности этой четверки видов по-прежнему отсутствуют. Косвенные данные указывают на тенденцию к сокращению популяций, и все виды отнесены к категории «Уязвимые» (IUCN, 2019). Главными побудителями этой тенденции являлись в целом утрата местообитаний, направленный или случайный вылов и столкновение с судами (IUCN, 2019). Установлено, что высокая смертность новорожденных и детенышей на северо-востоке Бразилии вызвана сокращением мест для рождения потомства из-за развития креветочных ферм и заиления эстуариев (Balensiefer and others, 2017).

5. Куньи и белый медведь

5.1. Разнообразие

В семействе Mustelidae насчитывается два ныне живущих морских вида: кошачья выдра (*Lontra felina*) и калан (*Enhydra lutris*). В семействе Ursidae насчитывается один ныне живущий морской вид: белый медведь (*Ursus maritimus*).

перевозку (плюс сопутствующие этому разливы), браконьерство, прилов, намеренный убой и возмущения, вызываемые рекреационной деятельностью (Duplaix and Savage, 2018). Изменчивость численности связана с динамикой Эль-Ниньо и вызываемым ею влиянием на прибрежные экосистемы Тихого океана. Хотя прогнозируемые изменения «Эль-Ниньо — Южного колебания» неясны, любые перемены в частотности и интенсивности могут повлиять на кошачью выдру (Vianna and others, 2010).

5.2. Численность и главные угрозы

5.2.1. Кошачья выдра и калан

Подсчетов общемировой численности ни по одному из этих видов не имеется, однако в целом их численность выглядит уменьшающейся из-за неспособности полностью оправиться от чрезмерной эксплуатации, которой они подвергались в прошлом ради их меха. Поэтому оба вида в настоящее время отнесены к категории «Находящиеся в опасности». Тем не менее благодаря программам организованного сохранения этих видов несколько оставшихся популяций сейчас увеличиваются. При этом восстановление сдерживается новыми угрозами, которые включают болезни, морскую добычу нефти и ее

5.2.2. Белый медведь

Белый медведь остается в категории «Уязвимые», а динамика его численности неизвестна. Недавно были выполнены подсчеты, согласно которым в мире имеется от 16 000 до 31 000 особей (Hamilton and Derocher, 2019). Наиболее серьезной угрозой для этого вида является то, как утрата арктических ледовых местообитаний из-за изменения климата отражается на ключевых демографических функциях (Regehr and others, 2016). Всё большее влияние на популяции ока-

зывают такие нагрузки, как появление новых патогенов, происходящее из-за сокращения площади морских льдов, и интенсификация про-

мышленной и рекреационной деятельности по мере повышения доступности региона (Hamilton and Derocher, 2019).

6. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия

6.1. Потребление и конкуренция

Восстановление нескольких популяций морских млекопитающих создает в одних регионах новые возможности, а в других — потенциал для конфликтов. Морские млекопитающие могут приучаться ассоциировать рыболовный промысел с доступностью пищи, в результате чего формируется поведение, приводящее к опустошению уловов промысловых судов (Tixier and others, 2019) и к конфликтам с аквакультурными операциями (Guerra, 2019).

Перед появлением первой «Оценки» увеличился вылов малых полосатиков и возобновился коммерческий промысел финвалов, после чего коммерческие уловы малых полосатиков в Северной Атлантике снизились и стабилизировались², а коммерческий промысел финвалов приостанавливался в 2019 и 2020 годах (небольшое их количество было добыто после первой «Оценки» в рамках регулируемого натурального охотничьего промысла). За тот же период уловы ластоногих и других китообразных в Северном полушарии оставались в целом относительно стабильными North Atlantic Marine Mammal Commission (NAMMCO), 2019; International Whaling Commission (IWC), 2019. Уловы беззубых китов в северо-западной части Тихого океана (речь идет о промысле по специальным разрешениям) после первой «Оценки» оставались в целом стабильными (IWC, 2019), а уловы в водах Антарктики были в 2019 году приостановлены (IWC, 2019). Регулируемый натуральный охотничий промысел морских млекопитающих остается стабильным (NAMMCO, 2019; IWC, 2019). Две межправительственные организации: Международная китобойная комиссия (МКК), созданная в 1946 году, и Комиссия по морским млекопитающим Северной Атлантики, созданная в

1992 году, — продолжают служить форумми для обсуждения уловов морских млекопитающих, их оценки и управления ими.

Морские млекопитающие, попавшие в прилов, могут потребляться человеком, дополняя тем самым выловленную рыбу. В некоторых странах эта практика может дополняться забоем или утилизацией особей, выброшенных на берег (Robards and Reeves, 2011). Используемых таким образом морских млекопитающих называют «мясом водной дичи»³ или «морской дичиной» — в порядке аналогии с сухопутной дичью как способом пополнить человеческий рацион в регионах, где ситуация с продовольственной безопасностью неблагоприятна (Cosentino and Fisher, 2016; Clapham and Van Waerebeek, 2007). Скорее всего, будут увеличиваться улов и потребление прибрежных животных в более низких широтах (Robards and Reeves, 2011), в частности в Юго-Восточной Азии и Западной Африке (Porter and Lai, 2017; Liu and others, 2019; Mintzer and others, 2018; Van Waerebeek and others, 2017), где экологичность подобной практики зачастую не выяснена. Поскольку перемены в местообитаниях, вызываемые изменением климата, приводят к перераспределению видов и потенциально сказываются на численности популяций (Moore and Reeves, 2018), они будут, видимо, затрагивать и человеческие сообщества, рассчитывающие на добычу морских млекопитающих для получения пищи, и станут в будущем оборачиваться вызовами для продовольственной безопасности (Brinkman and others, 2016).

Морские млекопитающие сохраняют культурную значимость: из частей их тела создаются вещи и поделки, а сами они находят отображение в прибрежных традициях и культурах. Такое культурное достояние имеет огромное значение для

² См. <https://nammco.no/>.

³ См. Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals, resolution 12.15, on aquatic wild meat.

сплоченности и самоотождествления сообщества и включает порой уникальные элементы, например совместный лов рыбы людьми и дельфинами в Бразилии (Daura-Jorge and others, 2012).

6.2. Нелетальное использование

Морские млекопитающие остаются немаловажным компонентом морского туризма, и использование этого компонента расширилось⁴ и диверсифицировалось (Hoyt, 2018). Поступают известия о расширении туризма, основная цель которого – созерцать морских млекопитающих; в результате сдвигов в их распространении, вызываемых восстановлением популяций и изменением климата, появляются новые места такого туризма и растет посещаемость уже устоявшихся туристических точек (например, Accardo and others, 2018; Halliday and others, 2018). В настоящее время туризм отнесен к числу угроз для сохранности 11 видов китообразных и 13 видов ластоногих (рисунок II; IUCN, 2019). Туристическая деятельность от-

крывает для прибрежных сообществ возможность получения дохода, если она сопровождается выработкой надлежащих хозяйственных схем, позволяющих не допускать чрезмерной эксплуатации популяций морских млекопитающих (Christiansen and Lusseau, 2015; Pirota and Lusseau, 2015), обеспечивать ответственный характер инвестирования и направлять прибыль на нужды местного сообщества (Higham and others, 2016). Стремясь поддержать хозяйственников, регуляторов и операторов, МКК и Конвенция по сохранению мигрирующих видов диких животных выпустили руководство, ориентирующее в вопросе о том, как организовывать деятельность по созерцанию китов. Каждый год это руководство подвергается обзору, и его содержание регулярно обновляется. Социально-экологический вклад туризма, связанного с морскими млекопитающими, в жизнь прибрежных сообществ во всем мире остается пока не выясненным количественно.

7. Перспективы

Успехи в деле сохранения морских млекопитающих включают прекращение чрезмерной добычи крупных китов и неприемлемого прилова при масштабном пелагическом дрейферном рыболовстве (Reeves and others, 2013). Можно ожидать дальнейших улучшений в состоянии запасов, если будут поддерживаться соответствующие хозяйственные усилия (Bejder and others, 2016) и если не возникнет помех, порожденных изменением климата (Tulloch and others, 2019).

Тот факт, что 22 вида отнесены к категориям «Находящиеся в опасности» и «Находящиеся в критической опасности», явно свидетельствует о серьезности хозяйственных и природоохранных вызовов. Почти все виды и субпопуляции видов, находящиеся в критической опасности, в том числе калифорнийская морская свинья, китайский озерный дельфин, дельфин Мауи и западноафриканский дельфин (*Sousa teuszii*), имеют очень ограниченные ареалы. Несмотря на детальную известность рисков, с которыми сталкиваются

эти виды, и несмотря на десятилетиями проводившиеся хозяйственные мероприятия, состояние их популяций не улучшилось (рисунок III. С). Если с помощью таких мероприятий снизить нынешние угрозы не удастся, то за 10-летний срок, согласно текущим оценкам, эти находящиеся в критической опасности виды или субпопуляции придут в еще больший упадок и могут исчезнуть (Comité Internacional para la Recuperación de la Vaquita, 2019; IUCN, 2019).

Требуются глобальные инициативы по выработке комплексных хозяйственных планов в отношении видов с крупными ареалами. За период после первой «Оценки» Комиссия по сохранению морских живых ресурсов Антарктики создала морской охраняемый район в море Росса (Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources, 2016). Имея многоцелевой характер, этот район призван, в частности, защитить основные места кормления для тюленя Уэдделла (*Leptonychotes weddellii*) и косаток типа С.

⁴ См. Convention on Migratory Species, resolution 11.29, on sustainable boat-based marine wildlife watching.

Фиксированное пространственное хозяйствование, примером которого является создание охраняемых морских районов, признано эффективным способом сохранения видов (Gormley and others, 2012). Однако наблюдаемые ныне сдвиги в векторах угроз (рисунок II. А), равно как и стремительные перемены в морских экосистемах, вызываемые изменением климата, делают такие районы менее гибким инструментом, особенно для обеспечения сохранности высокоподвижных видов и их устойчивого использования (Pinn, 2018; см. также гл. 27).

Со времени первой «Оценки» стало очевидно, что кумулятивные эффекты от множества секторов (см. также гл. 25) всё сильнее влияют на траектории, определяющие статус сохранности морских млекопитающих (National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, 2017). Изменение климата будет влиять на морских млекопитающих в предстоящие десятилетия разными способами (рисунок II), включая модификацию местообитаний и пищевых сетей. Кроме того, повышенная подверженность воздействию человеческой деятельности и связанных с ней стрессоров будет способствовать кумулятивным эффектам, что может плохо сказаться на недавних успехах

в деле восстановления популяций (Tulloch and others, 2019). Трофическое усиление может приводить к тому, что воздействия, вызываемые изменением климата, будут вверх по пищевой цепи умножаться, т. е. у морских млекопитающих, занимающих более высокие трофические уровни, эти воздействия станут проявляться пропорционально сильнее (Lotze and others, 2019).

Новые технологические и аналитические разработки помогли выстроить рамки, позволяющие с использованием наблюдательных данных количественно определять воздействия многочисленных стрессоров на популяции (см. гл. 25). Это облегчает оценку того, как сказываются на сохранности видов такие нелетальные и непрямые стрессоры, как антропогенный шум, туризм и системы шельфовой возобновляемой энергетики. В качестве критически значимых элементов интегрированных экосистемных оценок всё чаще используются экосистемные подходы к анализу рисков (Holsman and others, 2017; см. также гл. 27). Эти подходы также позволяют помещать риски в более широкий социально-экологический контекст тех сообществ, которые используют морских млекопитающих.

8. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях

Мир стремительно меняется, подвергая испытаниям нашу способность прогнозировать состояние морских млекопитающих и модели их эксплуатации на основе ретроспективных анализов. Эти стремительные изменения требуют новых механистических подходов к прогнозированию того, как виды и популяции будут реагировать на изменение климата и насколько им удастся переносить прямые и косвенные антропогенные воздействия в настоящем и будущем. В частности, необходимо: а) разрабатывать подходы к оценке и прогнозированию того, как морские млекопитающие реагируют на изменение климата и на вызываемые им перемены в морских экосистемах и адаптируются к ним; б) полнее разобраться в кумулятивных эффектах от многочисленных

антропогенных нагрузок (проявляющихся как в устоявшихся, так и новых формах эксплуатации) на морских млекопитающих; в) выработать порядок определения и осуществления хозяйственных мероприятий, позволяющих успешно защищать от исчезновения виды морских млекопитающих, находящиеся в критической опасности; д) активнее выяснять состояние популяций, отнесенных к категории «Недостаточно данных», чтобы количественно определить их численность, облегчая тем самым их классификацию и их выход из этой категории. Кроме того, необходима дальнейшая работа над тем, чтобы лучше понять роль морских млекопитающих в океанских процессах, в том числе в пространственном переносе питательных веществ и углерода⁵.

⁵ См. www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2019/12/natures-solution-to-climate-change-chami.htm.

9. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала

В настоящее время недостает широкого понимания человеческих факторов, обуславливающих успех или неудачу природоохозяйственных вмешательств, а также потенциала и ресурсов для того, чтобы прибегать к таким вмешательствам. Там, где морские млекопитающие встречаются в изобилии, зачастую существует пробел в институциональном потенциале, который позволил бы максимизировать возможности для доступа к этим высокоценным ресурсам и для их устойчивого использования. Не хватает сопутствующих инструментов для анализа компромиссов между секторами, чей контакт с морскими млекопитающими проявляется в случайном прилове или нелетальных кумулятивных

воздействиях, и традиционными отраслями (рыболовство, туризм и др.), занимающимися эксплуатацией этих животных. Для других природных ресурсов, например для лесов, разрабатываются стимулы, призванные диверсифицировать способы их устойчивого использования, а также лучше связать «богатые природой» местные сообщества с потенциальными удаленными рынками (Dao, 2018). Разработкой таких стимулов можно было бы заняться и применительно к морским млекопитающим. Необходимо продумать, как использовать эти подходы для диверсификации нынешних форм эксплуатации морских млекопитающих и для создания возможностей по выработке дериватов.

Справочная литература

- Accardo, Corey, and others (2018). Sightings of a bowhead whale (*Balaena mysticetus*) in the Gulf of Maine and its interactions with other baleen whales. *Journal of Cetacean Research and Management*, vol. 19, pp. 23–30.
- Atkinson, S., and others (2008). Anthropogenic causes of the western Steller sea lion *Eumetopias jubatus* population decline and their threat to recovery. *Mammal Review*, vol. 38, No. 1, pp. 1–18.
- Baker, C.S., and others (2016). *Estimating the Abundance and Effective Population Size of Māui Dolphins Using Microsatellite Genotypes in 2015–16, with Retrospective Matching to 2001–16*. Auckland: Department of Conservation.
- Balensiefer, Deisi Cristiane, and others (2017). Three decades of Antillean Manatee (*Trichechus manatus manatus*) stranding along the Brazilian coast. *Tropical Conservation Science*, vol. 10. <https://doi.org/10.1177/1940082917728375>.
- Bejder, Michelle, and others (2016). Embracing conservation success of recovering humpback whale populations: evaluating the case for downlisting their conservation status in Australia. *Marine Policy*, vol. 66, pp. 137–141.
- Breed, Greg A., and others (2017). Sustained disruption of narwhal habitat use and behavior in the presence of Arctic killer whales. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 114, No. 10, pp. 2628–2633.
- Brinkman, Todd J., and others (2016). Arctic communities perceive climate impacts on access as a critical challenge to availability of subsistence resources. *Climatic Change*, vol. 139, Nos. 3 and 4, pp. 413–427.
- Burkholder, Derek A., and others (2013). Patterns of top-down control in a seagrass ecosystem: could a roving apex predator induce a behaviour-mediated trophic cascade? *Journal of Animal Ecology*, vol. 82, No. 6, pp. 1192–1202. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12097>.
- Cabrera, Andrea A., and others (2018). Strong and lasting impacts of past global warming on baleen whale and prey abundance. *BioRxiv*, 497388.

- CCAMLR (2016) = Комиссия по сохранению морских живых ресурсов Антарктики (2016). Мера по сохранению 91-05 «Морской охраняемый район в регионе моря Росса».
- Chilvers, Barbara (2012). Population viability analysis of New Zealand sea lions, Auckland Islands, New Zealand's sub-Antarctics: assessing relative impacts and uncertainty. *Polar Biology*, vol. 35, No. 10, pp. 1607–1615. <https://doi.org/10.1007/s00300-011-1143-6>.
- Christiansen, Fredrik, and David Lusseau (2015). Linking behavior to vital rates to measure the effects of non-lethal disturbance on wildlife. *Conservation Letters*, vol. 8, No. 6, pp. 424–431.
- Clapham, Phil, and Koen Van Waerebeek (2007). Bushmeat and bycatch: the sum of the parts. *Molecular Ecology*, vol. 16, No. 13, pp. 2607–2609.
- Comité Internacional para la Recuperación de la Vaquita (2019). Report of the Eleventh Meeting of the Comité Internacional para la Recuperación de la Vaquita (CIRVA). La Jolla, California: Southwest Fisheries Science Center.
- Corkeron, Peter, and others (2018). The recovery of North Atlantic right whales, *Eubalaena glacialis*, has been constrained by human-caused mortality. *Royal Society Open Science*, vol. 5, No. 11.
- Cosentino, A. Mel, and Sue Fisher (2016). The utilization of aquatic bushmeat from small cetaceans and manatees in South America and West Africa. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 163. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00163>.
- Dao, David (2018). Decentralized sustainability: beyond the tragedy of the commons with smart contracts + AI. Medium, 21 June. <https://medium.com/gainforest/decentralized-sustainability-9a53223d3001>.
- Daura-Jorge, F.G., and others (2012). The structure of a bottlenose dolphin society is coupled to a unique foraging cooperation with artisanal fishermen. *Biology Letters*, vol. 8, No. 5, pp. 702–705. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0174>.
- Doughty, Christopher E., and others (2016). Global nutrient transport in a world of giants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, No. 4, pp. 868–873.
- Duplaix, Nicole, and Melissa Savage (2018). *The Global Otter Conservation Strategy*. IUCN/SSC Otter Specialist Group, Salem, Oregon, United States of America.
- Eikeset, Anne Maria, and others (2018). What is blue growth? The semantics of “Sustainable Development” of marine environments. *Marine Policy*, vol. 87, pp. 177–179. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.10.019>.
- Estes, James A., and others (1998). Killer whale predation on sea otters linking oceanic and nearshore ecosystems. *Science*, vol. 282, No. 5388, pp. 473–476.
- Estes, James A., and others (2016). Megafaunal impacts on structure and function of ocean ecosystems. *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 41, pp. 83–116.
- da Silva, Vera M., and others (2018). Both cetaceans in the Brazilian Amazon show sustained, profound population declines over two decades. *PLOS ONE*, vol. 13, No. 5, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191304>.
- George, J. Craig, and others (2018). Bowhead Whale: *Balaena mysticetus*. In *Encyclopedia of Marine Mammals*, Elsevier, pp. 133–135.
- Gormley, Andrew M., and others (2012). First evidence that marine protected areas can work for marine mammals. *Journal of Applied Ecology*, vol. 49, No. 2, pp. 474–480.
- Guerra, Ana Sofía (2019). Wolves of the Sea: managing human-wildlife conflict in an increasingly tense ocean. *Marine Policy*, vol. 99, pp. 369–373.
- Halliday, William D., and others (2018). Tourist vessel traffic in important whale areas in the western Canadian Arctic: risks and possible management solutions. *Marine Policy*, vol. 97, pp. 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.08.035>.

- Hamer, D.J., and others (2013). The endangered Australian sea lion extensively overlaps with and regularly becomes by-catch in demersal shark gill-nets in South Australian shelf waters. *Biological Conservation*, vol. 157, pp. 386–400. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.07.010>.
- Hamer, Derek J., and others (2012). Odontocete bycatch and depredation in longline fisheries: A review of available literature and of potential solutions. *Marine Mammal Science*, vol. 28, No. 4, pp. E345–374. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2011.00544.x>.
- Hamilton, S.G., and A. E. Derocher (2019). Assessment of global polar bear abundance and vulnerability. *Animal Conservation*, vol. 22, No. 1, pp. 83–95.
- Hamilton, Sheryl, and G. Barry Baker (2019). Population growth of an endangered pinniped—the New Zealand sea lion (*Phocarcctos hookeri*)—is limited more by high pup mortality than fisheries bycatch. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 76, No. 6, pp. 1794–1806. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz039>.
- Harris, Catriona M., and others (2018). Marine mammals and sonar: dose-response studies, the risk-disturbance hypothesis and the role of exposure context. *Journal of Applied Ecology*, vol. 55, No. 1, pp. 396–404.
- Higham, James E.S., and others (2016). Managing whale-watching as a non-lethal consumptive activity. *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 24, No.,1, pp. 73–90.
- Holsman, Kirstin, and others (2017). An ecosystem-based approach to marine risk assessment. *Ecosystem Health and Sustainability*, vol. 3, No. 1, e01256.
- Hoyt, Erich (2018). Tourism. In *Encyclopedia of Marine Mammals*, 3rd ed., Bernd Würsig, J.G.M. Thewissen, and Kit M. Kovacs, eds. Academic Press, pp. 1010–1114. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804327-1.00262-4>.
- Hunter, M.E., and others (2010). Low genetic variation and evidence of limited dispersal in the regionally important Belize manatee. *Animal Conservation*, vol. 13, No. 6, pp. 592–602. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2010.00383.x>.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2019). *The IUCN Red List of Threatened Species*. www.iucnredlist.org/en.
- International Whaling Commission (2019). Total Catches. <https://iwc.int/total-catches>.
- Jaramillo-Legorreta, Armando M., and others (2019). Decline towards extinction of Mexico's vaquita porpoise (*Phocoena sinus*). *Royal Society Open Science*, vol. 6, No. 7. <https://doi.org/10.1098/rsos.190598>.
- Kiszka Jeremy J., and others (2015). Behavioural drivers of the ecological roles and importance of marine mammals. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 523, pp. 267–81.
- Liu, Mingming, and others (2019). Fishers' experiences and perceptions of marine mammals in the South China Sea: insights for improving community-based conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 29, No. 5, pp. 809–819.
- Lotze, Heike K., and others (2019). Global ensemble projections reveal trophic amplification of ocean biomass declines with climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, No. 26, pp. 12907–12912.
- MacCracken, James G. (2012). Pacific Walrus and climate change: observations and predictions. *Ecology and Evolution*, vol. 2, No. 8, pp. 2072–2090.
- McClatchie, Sam, and others (2016). Food limitation of sea lion pups and the decline of forage off central and southern California. *Royal Society Open Science*, vol. 3, No. 3. <https://doi.org/10.1098/rsos.150628>.
- Meyer-Gutbrod, Erin L., and Charles H. Greene (2018). Uncertain recovery of the North Atlantic right whale in a changing ocean. *Global Change Biology*, vol. 24, No. 1, pp. 455–464.
- Mintzer, Vanessa Jordan, and others (2018). The use of aquatic mammals for bait in global fisheries. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 191.

- Möller, Luciana M. (2012). Sociogenetic structure, kin associations and bonding in delphinids. *Molecular Ecology*, vol. 21, No. 3, pp. 745–764.
- Moore, Sue E., and others (2019). Baleen whale ecology in arctic and subarctic seas in an era of rapid habitat alteration. *Progress in Oceanography*, vol. 176.
- Moore, Sue E., and Randall R. Reeves (2018). Tracking arctic marine mammal resilience in an era of rapid ecosystem alteration. *PLoS Biology*, vol. 16, No. 10, e2006708.
- National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, and Medicine (2017). *Approaches to Understanding the Cumulative Effects of Stressors on Marine Mammals*. Washington, D.C.: National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/23479>.
- North Atlantic Marine Mammal Commission (NAMMCO) (2019). Marine Mammals. Seals and Walrus (Pinnipeds). <https://nammco.no/marinemammals>.
- Notarbartolo di Sciara, Giuseppe, and S. Kotomatas (2016). Chapter Twelve: are Mediterranean monk seals, *Monachus monachus*, being left to save themselves from extinction? *Advances in Marine Biology*, vol. 75, pp. 359–386. <https://doi.org/10.1016/bs.amb.2016.08.004>.
- Pettis, H., and others (2018). North Atlantic right whale consortium 2018 annual report card. Report to the North Atlantic Right Whale Consortium.
- Pinn, Eunice H. (2018). Protected areas: the false hope for cetacean conservation? In *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, vol. 56. S. J. Hawkins and others, eds. Boca Raton, Florida, United States: CRC Press, pp. 72–104.
- [Pirotta, Enrico, and others (2018). Understanding the population consequences of disturbance. *Ecology and Evolution*, vol. 8, No. 19, pp. 9934–9946.
- Pirotta, Enrico, and David Lusseau (2015). Managing the wildlife tourism commons. *Ecological Applications*, vol. 25, No. 3, pp. 729–741.
- Porter, Lindsay, and Hong Yu Lai (2017). Marine mammals in Asian societies; trends in consumption, bait, and traditional use. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 47.
- Reeves Randall R., and others (2013). Marine mammal bycatch in gillnet and other entangling net fisheries, 1990 to 2011. *Endangered Species Research*, vol. 20, No. 1, pp. 71–97.
- Regehr, Eric V., and others (2016). Conservation status of polar bears (*Ursus maritimus*) in relation to projected sea-ice declines. *Biology Letters*, vol. 12, No. 12, pp. 20160556.
- Robards, Martin D., and Randall R. Reeves (2011). The global extent and character of marine mammal consumption by humans: 1970–2009. *Biological Conservation*, vol. 144, No. 12, pp. 2770–2786.
- Rojas-Bracho L., and others (2019). A field effort to capture critically endangered vaquitas *Phocoena sinus* for protection from entanglement in illegal gillnets. *Endangered Species Research*, vol. 38, pp. 11–27.
- Roman, Joe, and others (2014). Whales as marine ecosystem engineers. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 12, No. 7, pp. 377–385.
- Seyboth, Elisa, and others (2016). Southern Right Whale (*Eubalaena australis*) Reproductive Success is Influenced by Krill (*Euphausia superba*) Density and Climate. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 28205. <https://doi.org/10.1038/srep28205>.
- Southern Resident Orca Taskforce (2019). *Final Report and Recommendations*.
- Sydeaman, William J., and others (2015). Climate change and marine vertebrates. *Science*, vol. 350, No. 6262, pp. 772–777.
- Tixier, Paul, and others (2019). Commercial fishing patterns influence odontocete whale-longline interactions in the Southern Ocean. *Scientific Reports*, vol. 9, art. 1904.
- Tulloch, Vivitskaia J.D., and others (2019). Future recovery of baleen whales is imperiled by climate change. *Global Change Biology*, vol. 25, No. 4, pp. 1263–1281.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Van Waerebeek, Koen, and others (2017). New records of Atlantic humpback dolphin in Guinea, Nigeria, Cameroon and Togo underscore fisheries pressure and generalized marine bushmeat demand. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, vol. 72, No. 2, pp. 1576–1586.
- Vianna, Juliana A., and others (2010). Phylogeography of the marine otter (*Lontra felina*): historical and contemporary factors determining its distribution. *Journal of Heredity*, vol. 101, No. 6, pp. 676–689. <https://doi.org/10.1093/jhered/esq088>.
- Werner, Timothy B., and others (2015). Mitigating bycatch and depredation of marine mammals in longline fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 72, No. 5, pp. 1576–1586.
- Yamada, Tadasu K., and others (2019). Description of a new species of beaked whale (*Berardius*) found in the North Pacific. *Scientific Reports*, vol. 9, art. 12723.

Глава 6Е

Морские

пресмыкающиеся

Участники: Камар Шуйлер (координатор), Кармен Мифсуд, Габриель Уэнсуд Сеньягбето, Андре Силва Баррету, Винай Удявер, Максимилиан Хиршфельд и Кэрен Эванс (ведущий участник, ответственный за подглаву).

Ключевые тезисы

- Изменения в статусе сохранности, произошедшие после первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017a) у морских черепах, сильно различаются: одни популяции переживают положительный рост, а другие – катастрофический упадок.
- У большинства популяций морских змей и морской игуаны статус сохранности после первой «Оценки» не изменился, хотя сохраняются колоссальные пробелы в данных.
- Главные угрозы для морских пресмыкающихся по-прежнему сродни тем, которые были зафиксированы в первой «Оценке». Наиболее серьезную угрозу представляет собой прилов, однако такие процессы, как специализированный промысел, загрязнение моря, утрата местообитаний, прибрежная застройка, болезни и изменение климата, тоже сильно угрожают этим животным.

1. Введение

В главе 39 первой «Оценки» излагались (по состоянию на 2012 год) статус сохранности морских пресмыкающихся, или рептилий, главные угрозы для входящих в них таксонов и наиболее остро стоящие задачи по их сохранению (United Nations, 2017b).

В настоящей главе представлена обновленная оценка в глобальном масштабе и освещается региональная динамика в статусе сохранности морских черепах и морских змей, причем акцент делается на изменениях, происшедших со времени первой «Оценки». Кроме того, данная глава имеет касательство к другим главам настоящей «Оценки», в частности главам 4, 7 и 15.

1.1. Оценочные параметры

Основными оценочными параметрами, использованными в первой «Оценке» для анализа состояния морских пресмыкающихся, были оценки из Красного списка Международного союза охраны природы (МСОП) и портфель природоохранных приоритетов Группы специалистов МСОП по морским черепахам (Wallace and others, 2010). В настоящей главе применен аналогичный подход, а в случаях, когда актуализированных сведений о статусе сохранности не имелось, была привлечена свежая информация из региональных отчетов Группы специалистов по морским черепахам и из рецензируемых публикаций.

2. Статус сохранности морских пресмыкающихся

2.1. Морские черепахи

За период после первой «Оценки» обновлен статус двух глобальных популяций и четырех субпопуляций морских черепах (таблица 1). Глобальный статус логгерхеда (*Caretta caretta*), основанный на данных по 90 процентам общемировой гнездящейся популяции (с охватом 6 из 10 признанных субпопуляций), улучшился: этот вид переместился из категории «Находящиеся в опасности» в категорию «Уязвимые» (таблица 1). Вместе с тем его субпопуляции сильно различаются по категориям, к которым они отнесены: здесь и «Вызывающие наименьшую озабоченность» (северо- и юго-западная части Атлантического океана, Средиземноморье и северная

часть Тихого океана), и «Близкие к угрожаемому» (юго-западная и юго-восточная части Индийского океана), и «Находящиеся в опасности» (северо-восточная часть Атлантического океана), и «Находящиеся в критической опасности» (северо-западная и северо-восточная части Индийского и южная часть Тихого океанов) (Casale and Tucker, 2017).

Атлантическая ридлея (*Lepidochelys kempii*) переведена из категории «Находящиеся в опасности» в категорию «Находящиеся в критической опасности», так как по сравнению с ранее отмечавшимися размерами ее общая популяция сократилась более чем на 80 процентов. После восстановительных процессов, наблюдавшихся

в 1990-е и 2000-е годы, произошел регресс, причины которого неизвестны, но могут иметь отношение к попаданию особей в прилов и к разливу нефти с *Deerwater Horizon* (Wibbels and Bevan, 2019). В свою очередь, субпопуляция кожистой черепахи (*Dermochelys coriacea*) в Северо-Западной Атлантике переведена из категории «Вызывающие наименьшую озабоченность» в категорию «Находящиеся в опасности» (Northwest Atlantic Leatherback Working Group, 2019). Этот шаг был вызван в первую очередь обновленным анализом региональных трендов в гнездовых популяциях.

Впервые оценены субпопуляции зеленой черепахи (*Chelonia mydas*) в северной части Индийского океана (категория «Уязвимые») и южной части Атлантического океана (категория «Вызывающие наименьшую озабоченность») (Mancini and others, 2019; Broderick and Patricio, 2019). Ее гавайская субпопуляция, подвергшаяся повторной оценке, оставлена в категории «Вызывающие наименьшую озабоченность» (Chaloupka and Pilcher, 2019). За период после первой «Оценки» МСОП не подвергал зеленую черепаху повторной оценке в глобальном масштабе, однако в Соединенных Штатах Америки в соответствии с Законом об угрожаемых видах была выполнена собственная глобальная оценка, в которой риск приблизиться к исчезновению в следующие 100 лет был сочтен для большинства субпопуляций весьма маловероятным (Semionoff and others, 2015). Из оцененных субпопуляций наиболее подверженной риску исчезновения была сочтена средиземноморская.

2.2. Морские змеи

За период после первой «Оценки» обновлен статус 26 из 71 ныне признанного вида морских змей, причем было охвачено 3 из 4 недавно описанных видов. Два вида (*Aipysurus apraefrontalis* и *A. foliosquama*), которые ранее включались в категорию «Находящиеся в критической опасности», были из-за изменений в их известном ареале переведены в категорию «Недостаточно данных» (D'anastasi and others, 2016; Udyawer and others, 2020).

Упадок численности бурой морской змеи (*Aipysurus fuscus*) на рифе Ашмор привел к сужению

ее известного ареала до трех рифовых систем в Тиморском море. В сузившемся ареале этого вида, отнесенного в настоящее время к категории «Находящиеся в опасности», у него происходит сильная гибридизация с более распространенным видом *A. laevis*, и степень происходящей интрогрессии вызывает озабоченность (Sanders and others, 2014).

Вообще же появилось больше литературы по морским змеям, где приводятся актуализированные сведения о видовых скоплениях и глобальных ареалах (Rasmussen and others, 2014; Rezaie-Atagholipour and others, 2016; Sarker and others, 2017; Buzás and others, 2018; Ganesh and others, 2019). За время после первой «Оценки» благодаря расширенному генетическому анализу видов по всему их глобальному ареалу удалось провести филогенетическую реорганизацию подсемейства *Hydrophiinae* (Sanders and others, 2013), реклассифицировать криптические виды (Sanders and others, 2013; Ukuwela and others, 2013; Ukuwela and others, 2014; Lukoschek, 2018) и описать четыре новых вида (Ukuwela and others, 2012; Sanders and others, 2012; Nankivell and others, 2020).

В 2018 году по линии Красного списка МСОП была выполнена повторная оценка 26 видов австралийских морских змей. У 5 видов, указанных в приведенной ниже таблице, статус изменился, а у 21 вида – остался прежним. Ни один из остальных 45 видов морских змей, не относящихся к австралийским, за период после первой «Оценки» повторно не оценивался.

2.3. Морская игуана

Морская игуана (*Amblyrhynchus cristatus*) была в 2020 году повторно оценена по линии Красного списка МСОП и оставлена в категории «Уязвимые» (MacLeod and others, 2020). Недавно с опорой на морфологическую и генетическую информацию был проведен таксономический обзор этого вида, и по его итогам осуществлена реклассификация 2 подвидов в 1 подвид и добавлено 5 новых подвидов, в результате чего подвидов стало насчитываться 11 (Miralles and others, 2017).

Таблица 1
Виды морских черепах и морских змей, статус которых в Красном списке МСОП после первой «Оценки» изменился

Таксон	Латинское название	Изменение статуса в Красном списке МСОП
Морские черепахи	<i>Caretta caretta</i>	В 2015 году вид переведен из категории EN в категорию VU (категории субпопуляций варьируются от CR до LC)
	<i>Chelonia mydas</i>	В 2019 году гавайская субпопуляция была оценена и оставлена в категории LC. В 2019 году североиндоокеанская субпопуляция отнесена к категории VU, а южноатлантическая — к категории LC. Остальные части глобальной популяции фигурируют в категории EN (без изменений; см., однако, Seminoff and others, 2015)
	<i>Lepidochelys kempii</i>	В 2019 году вид переведен из категории EN в категорию CR
	<i>Dermochelys coriacea</i>	В 2019 году субпопуляция Северо-Западной Атлантики переведена из категории LC в категорию EN. Глобальная популяция не оценивалась с 2013 года и остается в категории VU, хотя все остальные субпопуляции принадлежат к категории CR или DD (без изменений)
Морские змеи	<i>Aipysurus apraefrontalis</i>	В 2018 году вид переведен из категории CR в категорию DD
	<i>Aipysurus foliosquama</i>	В 2018 году вид переведен из категории CR в категорию DD
	<i>Aipysurus mosaicus</i>	В 2018 году вид отнесен к категории DD
	<i>Aipysurus pooleorum</i>	В 2018 году вид отнесен к категории DD
	<i>Hydrophis donaldi</i>	В 2018 году вид отнесен к категории DD

Сокращения: CR — находящиеся в критической опасности; DD — недостаточно данных; EN — находящиеся в опасности; LC — вызывающие наименьшую озабоченность; NT — близкие к угрожаемым; VU — уязвимые.

Примечание. Другие виды морских черепах за период после первой «Оценки» повторно не оценивались. В 2018 году по линии Красного списка МСОП была выполнена повторная оценка 26 видов австралийских морских змей. У 5 видов, указанных в приведенной выше таблице, статус изменился, а у 21 вида — остался прежним. Ни один из остальных 45 видов морских змей, не относящихся к австралийским, за период после первой «Оценки» повторно не оценивался.

3. Региональные тренды

Информация о локальных и региональных трендах в популяциях черепах и морских змей поступает из самых разных источников. Поскольку способы освещения популяционных трендов в этих источниках сильно различаются, в таблице 2 дается сжатое резюме со ссылками на литературу, из которой можно подробнее узнать о методах, применявшихся для проведения оценки и сообщения о ее результатах. Если есть данные о популяционном тренде для регионального природопользовательского блока в целом, приведены ссылки на отчеты по более мелким

регионам внутри блока. В некоторых случаях более мелкие пляжи или участки для гнездования могут отличаться по направленности тренда от всего блока, и тогда они указаны отдельно. Поскольку таблица 2 включает данные о трендах только за период после первой «Оценки», она опирается на источники, опубликованные с 2015 по январь 2020 года. Другие данные, неизвестные составителям или опубликованные после января 2020 года, могут скорректировать сообщаемые ниже тренды.

Таблица 2

Региональные тренды численности и распространения морских черепах и морских змей

Регион	Черепахи	Морские змеи
Северная часть Атлантического океана и Карибское и Средиземное моря	<p>Улучшающиеся тренды (гнездовые популяции)</p> <p>СС: РПБ в северо-западной части Атлантического океана (Ceriani and Meylan, 2017; Mazaris and others, 2017; Nalovic and others, 2018) и РПБ в Средиземном море (Casale, 2015a; Mazaris and others, 2017; Casale and others, 2018)</p> <p>СМ: РПБ в северо-западной части Атлантического океана (Mazaris and others, 2017; Nalovic and others, 2018; Valdivia and others, 2019; National Marine Fisheries Service, 2019), отчетливый популяционный сегмент в южной части Атлантического океана (Valdivia and others, 2019) и Средиземное море (Casale and others, 2018)</p> <p>ЕI: РПБ в западной части Атлантического океана (Mazaris and others, 2017; Nalovic and others, 2018; Valdivia and others, 2019)</p> <p>Стабильные тренды (гнездовые популяции)</p> <p>СС: восстановительный блок у полуострова Флорида (Соединенные Штаты) (Valdivia and others, 2019)</p> <p>ЛК: после первой «Оценки» отмечалось быстрое восстановление, затем тренды существенно выровнялись (Wibbels and Bevan, 2019)</p> <p>Ухудшающиеся тренды (гнездовые популяции)</p> <p>ДС: РПБ в северо-западной части Атлантического океана (Northwest Atlantic Leatherback Working Group, 2019)</p> <p>ЕI: Мексика (Valdivia and others, 2019)</p>	
Южная часть Атлантического океана	<p>Улучшающиеся тренды (гнездовые популяции)</p> <p>СС: РПБ в юго-западной части Атлантического океана (Casale and Marcovaldi, 2015)</p> <p>СМ: РПБ в южной части Атлантического океана (Mazaris and others, 2017; Broderick and Patricio, 2019)</p> <p>ДС: Бразилия; улучшающийся тренд проявляется неодинаково (Colman and others, 2019)</p> <p>ЛО: РПБ в западной части Атлантического океана (Mazaris and others, 2017)</p> <p>Стабильные тренды (гнездовые популяции)</p> <p>ЛО: Французская Гвиана (Франция) (Nalovic and others, 2018)</p> <p>Ухудшающиеся тренды (гнездовые популяции)</p> <p>ЛО: РПБ в восточной части Атлантического океана (Mazaris and others, 2017)</p>	Потенциальное расширение ареала из-за изменения климатических условий (Lillywhite and others, 2017)
Индийский океан, Аравийское море и Персидский залив	<p>Улучшающиеся тренды (гнездовые популяции)</p> <p>СС: РПБ в юго-западной части Индийского океана (Mazaris and others, 2017)</p> <p>СМ: РПБ в юго-западной части Индийского океана (Mazaris and others, 2017)</p> <p>ЛО: РПБ в северо-восточной части Индийского океана (Mazaris and others, 2017)</p> <p>Стабильные тренды (гнездовые популяции)</p> <p>СМ: Египет и Кувейт (Phillott and Rees, 2018)</p> <p>ДС: Индия (Phillott and Rees, 2018)</p> <p>ЕI: Катар и Кувейт (Phillott and Rees, 2018)</p> <p>ЛО: Индия; два крупных гнездовья и одно мелкое; наблюдается либо стабильность, либо улучшение (Phillott and Rees, 2018)</p> <p>Ухудшающиеся тренды (гнездовые популяции)</p> <p>СС: РПБ в северо-западной части Индийского океана (Casale, 2015b)</p> <p>СМ: РПБ в северной части Индийского океана (Mancini and others, 2019)</p>	

Регион	Черепахи	Морские змеи
Северная часть Тихого океана	<p>Улучшающиеся тренды (гнездовые популяции) CC: РПБ в северной части Тихого океана (Casale and Matsuzawa, 2015) CM: РПБ в центрально-северной части Тихого океана (Mazaris and others, 2017; Chaloupka and Pilcher, 2019) и Северные Марианские острова (Summers and others, 2018)</p> <p>Ухудшающиеся тренды (гнездовые популяции) CM: РПБ в северо-западной части Тихого океана (Mazaris and others, 2017) DC: РПБ в западной части Тихого океана (Tiwari and others, 2013; Mazaris and others, 2017) и РПБ в восточной части Тихого океана (Wallace and others, 2013, Mazaris and others, 2017)</p> <p>Тренды отсутствуют (отдельные особи) CM: Гуам; подсчитанное число особей в океане (Valdivia and others, 2019)</p>	<p>Новые данные говорят о расширении географического ареала на север (Park and others, 2017)</p> <p>Ухудшающиеся тренды, обусловливаемые нерегулируемым промыслом в Сиамском заливе (Van Cao and others, 2014)</p>
	<p>Улучшающиеся тренды (гнездовые популяции) CC: Австралия (Limpus and others, 2013)</p> <p>Стабильные тренды (гнездовые популяции) ND: север Австралии (Groom and others, 2017)</p> <p>Ухудшающиеся тренды CM: Рейн-Айленд (Австралия); генетический анализ может указывать на резкое сокращение вылупляемости (Jensen and others, 2016) EI: Австралия; гнездовые популяции (Bell and others, 2020) ND: РПБ в юго-западной части Тихого океана (Mazaris and others, 2017)</p> <p>Трендов не прослеживается (гнездование) ND: восток Австралии (Limpus and others, 2017)</p>	<p>Новые данные указывают на расширение ареала (D'anastasi and others, 2016; Udyawer and others, 2020)</p>

Сокращения: РПБ – региональный природопользовательский блок; CC – *Caretta caretta* (логгерхед); CM – *Chelonia mydas* (зеленая черепаха); DC – *Dermochelys coriacea* (кожистая черепаха); EI – *Eretmochelys imbricata* (бисса); LK – *Lepidochelys kempii* (атлантическая ридлея); LO – *Lepidochelys olivacea* (оливковая ридлея); ND – *Natator depressus* (плоскоспинная черепаха).

4. Угрозы

Несмотря на то, что многие морские пресмыкающиеся охраняются законом и во многих регионах развернуты усилия по их сохранению, в глобальном масштабе угрозы для морских пресмыкающихся во многом совпадают с теми, которые были названы в первой «Оценке». Значительной угрозой для морских черепах и морских змей остается смертность от прилова при рыболовстве – как регулируемом, так и незаконном, несообщаемом и нерегулируемом (Lewison and others, 2014; Rees and others, 2016; Riskas and others, 2018). К серьезным угрожающим факторам, влияющим на морских пресмыкающихся, относятся также нерегулируемая добыча, загрязнение моря, утрата местообитаний, прибрежная застройка, болезни и изменение климата.

За период после первой «Оценки» улучшилось понимание воздействий, которые изменение климата и загрязнения моря оказывают на морских пресмыкающихся, однако воздействия на популяционном уровне остаются в целом не выясненными.

4.1. Морские черепахи

Наиболее значительными угрозами для популяций черепах во всем мире являются, скорее всего, прилов этих животных и оставление такого прилова. Вместе с тем исследования, проведенные со времени первой «Оценки», позволили сформировать представление об угрозах, порождаемых изменением климата и загрязнением.

Выдвинута гипотеза о том, что к самым значительным последствиям изменения климата для морских черепах относятся феминизация их популяции и повышенная эмбриональная смертность, вызываемая более высокими температурами в гнездах (Fuentes and Cinner, 2010). Исходные показатели соотношения полов на ряде пляжных гнездовий говорят о том, что подавляющее большинство детенышей — это самки (например, Laloë and others, 2016; Jensen and others, 2018). Однако некоторые модели позволяют предположить, что на самом деле феминизация может в краткосрочной перспективе привести к повышению репродуктивного успеха, поскольку самцы могут спариваться чаще самок (Hays and others, 2014). Если же говорить об эмбрионах, то они могут оказаться более устойчивыми к высоким температурам, чем считалось ранее (Howard and others, 2014), но в конечном итоге повышение температур ведет к гибели детенышей (Laloë and others, 2017). Есть предположения о том, что изменение климата может сказываться на популяционных трендах в региональном масштабе: в районах с умеренным климатом репродуктивный успех повышается, что может компенсировать снижение численности вылупляющихся особей в тропических регионах (Montero and others, 2018). При этом тревожным для черепаховых популяций фактором являются и другие последствия изменения климата — от подъема уровня моря и связанной с этим утраты местообитаний до учащения циклонов, приводящих к затоплению гнезд и к береговой абразии (Fuentes and Cinner, 2010).

В 2010 году разлив нефти с Deepwater Horizon привел к тому, что сотни тысяч зеленых черепах, логгерхедов и атлантических ридлей подверглись в различной степени воздействию нефти (Deepwater Horizon Natural Resource Damage Assessment Trustees, 2016; Putman and others, 2015). Долгосрочные последствия этого инцидента для численности популяций еще предстоит оценить, но уже можно констатировать видимое уменьшение количества гнезд логгерхедов и атлантических ридлей в результате как непосредственной гибели взрослых особей, так и отпугивания черепах от гнездования на пляжах из-за проводимых там очистительных работ (Gallaway and others, 2016; Lauritsen and others, 2017). По итогам глобальных

оценок риска контактирования морских черепах с морским мусором сочтено вероятным, что более чем 50 процентам морских черепах доводилось проглатывать мусор (Schuyler and others, 2016), причем наблюдались случаи, когда биссы заглатывали до 8,8 г пластика на 1 кг веса тела (Lynch, 2018). Морской мусор, как и другие загрязнители, оказывает явно пагубное влияние на особей, однако воздействие загрязнителей на морских черепах, проявляющееся на экосистемном и популяционном уровнях, ждет пока дальнейшего изучения (Nelms and others, 2016; Wilcox and others, 2018).

В Карибском бассейне вырисовывается новая потенциальная угроза: прибрежное скапливание водорослей Sargassum, беспрецедентно распространившихся. Если в открытом океане маты Sargassum становятся для морских черепах критически значимыми местами нагула, то скапливание Sargassum на берегу может (как подсказывают недавние исследования) препятствовать гнездованию и мешать расселению рождающихся особей, а гниение стогов водорослей может изменять кислородный уровень и температурный режим (Maurer and others, 2015). Поскольку это массовое высыпание водорослей на берег является новым феноменом, особенно для восточной части Карибского бассейна, его прямое воздействие на гнездование морских черепах остается в значительной степени неизвестным. Деграция пляжных гнездовий в результате прибрежной застройки, отмечавшаяся в первой «Оценке», продолжает снижать количество и качество гнездовых участков, которыми могут воспользоваться самки (Broderick and Patricio, 2019; Casale and Tucker, 2017).

4.2. Морские змеи

В Сиамском заливе зафиксированы высокие уровни прилова морских змей при локальном промысле кальмаров. Морские змеи являются коммерчески важным продуктом прилова для вьетнамских рыбаков, действующих в Сиамском заливе, а добыча этих змей в настоящее время не регулируется и в значительной степени не документируется (Van Cao and others, 2014). Благодаря фоновым съемкам прослеживается сокращение добываемого количества морских змей с 2008 по 2012 год (Van Cao and others, 2014). По-

являющиеся устройства для сокращения прилова, например внедряемые на австралийских предприятиях тралового рыболовства, могут способствовать сокращению высоких уровней случайного прилова морских змей на тропических промыслах, где принимаются меры по митигации прилова, но востребованность таких устройств там, где коммерческий прилов является добавочным источником дохода, может оказаться слабой (Lobo and others, 2010).

У морских змей в непосредственной близости от ведущихся в их ареале работ по добыче полезных ископаемых зафиксированы высокие концентрации микрочастиц тяжелых металлов, что превращает загрязнение моря в новую угрозу для популяций этих животных (Rezaie-Atagholipour and others, 2012; Sereshk and Bakhtiari, 2015; Gillett and others, 2017; Goiran and others, 2017).

4.3. Морская игуана

В первой «Оценке» основными угрозами для морской игуаны были наряду с загрязнением названы экстремальные климатические проявления Эль-Ниньо, туризм и интродукция видов (Wikelski and others, 2002). Однако с тех пор не опубликовано никакой информации о прямом воздействии какого-либо из этих стрессоров на численность популяции. Расчеты популяционного размера, основанные на молекулярных подходах, позволяют предположить, что популяции недавно предложенных подвидов обычно невелики и обладают пониженным эволюционным потенциалом, а это делает их уязвимыми к

угрозам (Frankham and others, 2014; MacLeod and Steinfartz, 2016).

Дальнейшие исследования угроз для морской игуаны показали, что туристическая деятельность вызывает физиологический стресс и подавляет иммунную систему (French and others, 2017). Рост человеческого населения, туризма и экономики сопровождается увеличением спроса на ресурсы (Benitez-Capistros and others, 2014; Walsh and Mena, 2016; Pizzitutti and others, 2017), которое может создавать потенциальные угрозы для морских игуан. Однако со времени первой «Оценки» не проводилось исследований по анализу того, как отражается на популяциях морских игуан загрязнение, вызываемое разливами нефти, сельскохозяйственными пестицидами и пластиком.

С 1980-х годов действуют программы по контролю и искоренению интродуцированных видов (Barnett and Rudd, 1983; Carrión, 2016), но эффективность таких программ применительно к популяциям морских игуан не оценивалась.

За период после первой «Оценки» удалось в целом улучшить регулирование и контроль иммиграции, туризма и ввоза товаров, что способно привести к ослаблению кумулятивных нагрузок, которым популяции морских игуан подвергаются из-за изменения климата, загрязнения, туризма и интродукции хищников, но за этими нагрузками необходимо постоянно следить, чтобы противостоять продолжающемуся упадку популяций (Dirección del Parque Nacional Galápagos, 2014; Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2015; MacLeod and others, 2020).

5. Экономические и социальные последствия изменений в популяциях морских пресмыкающихся

Опубликовано мало литературы об экономических и социальных последствиях изменений в популяциях морских пресмыкающихся. Особенно мало информации об экономической и социальной роли морских змей во многих областях их глобального ареала. Непростым вызовом остается достижение баланса между экономическим ростом за счет развития туризма и защитой популяций морских пресмыкающихся, особенно если речь идет о морской игуане.

Увеличение нескольких популяций зеленой черепахи вызвало растущий интерес к изучению вопроса о том, возможно ли ведение или расширение легального промысла на рачительной основе, в частности группами, для которых такой промысел значим как часть культуры или жизненного уклада (Chaloupka and Balazs, 2007; Rees and others, 2016).

Плохо изучена зависимость рыбаков из развивающихся стран от такого источника доходов,

как добыча морских змей, попадающих к ним в прилов (например, Van Cao and others, 2014). Между тем поддержание высокого объема такого прилова может становиться способом получить заработок в условиях всё меньшей прибыльности прибрежного рыболовства в Южной и Юго-Восточной Азии (Lobo and others, 2010).

Со времени первой «Оценки» о морских змеях стали больше говорить и их стали больше исследовать, в связи с чем во многих местах происходит

рост общественного интереса, благодаря которому налаживаются долгосрочные программы по сбору данных о морских змеях, осуществляемые в формате гражданской науки (например, Goiran and Shine, 2019). Люди стали чаще сообщать об обнаруживаемых ими морских змеях, выброшенных на берег, что дало возможность собирать данные о здоровье этих животных, позволяющие выяснять причины этого явления и изменения в ареалах (Udyawer and others, 2018).

6. Основные пробелы в знаниях и в формировании потенциала

6.1. Морские черепахи

Как отмечалось в первой «Оценке», изменчивость демографических характеристик у различных субпопуляций морских черепах и угрожающие процессы, сказывающиеся на этих животных, высвечивают необходимость в постоянном анализе видов и региональных субпопуляций. В рамках недавно выполненного обзора сделан вывод о сохранении основных пробелов в тех знаниях, которые нужны для продуманного управления популяциями морских черепах (Rees and others, 2016). Вообще говоря, не хватает знаний по таким вопросам, как репродуктивная биология, включая выбор гнездовья, физическое состояние детенышей и вылупляемость; места кормления, включая степень их соединенности; демографические показатели; патогенез заболеваний; риски популяционного масштаба, вызываемые такими угрозами, как загрязнение, прилов, изменение климата и потенциальные неумышленные последствия соответствующих митигационных мер.

6.2. Морские змеи

Большая часть глобального ареала морских змей характеризуется нехваткой фундаментальной информации о них и долгосрочного наблюдения за ними. Опрос, проведенный недавно среди экспертов, выявил крупные пробелы в знаниях, необходимых для выяснения исходных параметров и совершенствования управления популяциями морских змей (Udyawer and others, 2018). Вообще говоря, не хватает знаний по таким вопросам, как географическое распространение, включая

передвижение, расселение и соединенность популяций; выявление ключевых местообитаний, в частности в прибрежных районах; количественное определение степени выносливости к экологическим возмущениям (например, эпизодам морской жары и обесцвечивания кораллов) и реакций на такие угрозы, как прилов и изменение климата (Fry and others, 2001; Gillett and others, 2014; Heatwole and others, 2016).

Кроме того, в настоящее время не выяснено, как могут сказаться на здоровье популяций новые угрозы, например загрязнители (Rezaie-Atagholipour and others, 2012; Sereshk and Bakhtiari, 2015; Goiran and others, 2017).

Учащаются сообщения о том, что в охраняемых лагунах Новой Каледонии (Франция) обнаруживаются погибшие кольчатые эмидоцефалы (*Emydocephalus annulatus*) без очевидной причины смерти; это подчеркивает необходимость выяснять распространенность болезней, восприимчивость к ним и их потенциальную взаимосвязь с изменением климата (Udyawer and others, 2018).

Разнообразие субъектов, которые могут контактировать с морскими змеями (различные отрасли промышленности, рекреационные пляжи, пользователи океана и др.), и наличие потенциальных рисков (например, опасность укусов) подводят к мысли о том, что сто́ит, пожалуй, задействовать возможности для просвещения населения и ведения мониторинга. Силами общест­венности ведется как спонтанный, так и оформляемый в рамках гражданской науки сбор данных, варьирующийся от сообщений о мор-

ских змеях, выбросившихся на берег (Gillett and others, 2017; Gillett, 2017), до более деятельных, структурированных и систематических исследований (Goiran and Shine, 2019).

6.3. Морская игуана

Нехватка свежих данных о численности подвидов морской игуаны сдерживает всякий анализ популяционных трендов, соотносимых с возникающими угрозами и принимаемыми

хозяйственными мерами. Последние достижения в популяционной генетике и таксономии морской игуаны могут послужить ориентиром для будущих природоохранных исследований и хозяйственных задач. Кроме того, анализ популяционных трендов и уязвимости морской игуаны в будущем мог бы облегчиться благодаря формированию местного потенциала и выделению ресурсов на комплексный долгосрочный мониторинг.

Справочная литература

- Asamblea Nacional de la República del Ecuador (2015). LOREG: Ley Orgánica del Régimen Especial de Galápagos. www.turismo.gob.ec/wp-content/uploads/2016/04/LOREG-11-06-2015.pdf.
- Barnett, Bruce D., and Robert L. Rudd (1983). Feral dogs of the Galapagos Islands: impact and control. *International Journal for the Study of Animal Problems*, vol. 4, No. 1.
- Bell, I.P., and others (2020). Twenty-eight years of decline: nesting population demographics and trajectory of the north-east Queensland endangered hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*). *Biological Conservation*, vol. 241, 108376. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108376>.
- Benitez-Capistros, Francisco, and others (2014). Environmental impacts on the Galapagos Islands: identification of interactions, perceptions and steps ahead. *Ecological Indicators*, vol. 38, pp. 113–23. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.019>.
- Broderick, A, and Ana Patricio (2019). Green Turtle: *Chelonia mydas* (South Atlantic subpopulation). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2019*. e.T142121866A142086337. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T142121866A142086337.en>.
- Buzás, Balázs, and others (2018). The sea snakes (Elapidae: Hydrophiinae) of Fujairah. *Tribulus*, vol. 26.
- Carrión, Víctor (2016). Control y erradicación de animales introducidos: el peligro de las especies invasoras – Parte I: Animales. 4 October 2016. www.carlospi.com/galapagospark/parque_nacional-especies_invasoras_animales.html.
- Casale, P. (2015a). *Caretta caretta* (Mediterranean subpopulation). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2015*. e.T83644804A83646294.
- _____ (2015b). *Caretta caretta* (North West Indian Ocean subpopulation). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2015*. e.T84127873A84127992.
- Casale, P., and M.A. Marcovaldi (2015). *Caretta caretta* (South West Atlantic subpopulation). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2015*. e.T84191235A84191397.
- Casale, P., and Y. Matsuzawa (2015). *Caretta caretta* (North Pacific subpopulation). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2015*. e.T83652278A83652322.
- Casale, P., and A.D. Tucker (2017). *Caretta caretta*. In *The IUCN Red List of Threatened Species 2017*. e.T3897A119333622.
- Casale, P., and others (2018). Mediterranean sea turtles: current knowledge and priorities for conservation and research. *Endangered Species Research*, vol. 36, pp. 229–267.
- Ceriani, S.A., and A. Meylan (2017). *Caretta caretta* (North West Atlantic subpopulation) (amended version of 2015 assessment). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2017*. e.T84131194A119339029.

- Chaloupka, M., and George Balazs (2007). Using Bayesian state-space modelling to assess the recovery and harvest potential of the Hawaiian green sea turtle stock. *Ecological Modelling*, vol. 205, Nos. 1 and 2, pp. 93–109.
- Chaloupka, M., and N.J. Pilcher (2019). *Chelonia mydas* (Hawaiian subpopulation). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2019*. e.T16285718A142098300.
- Colman, Liliana P., and others (2019). Thirty years of leatherback turtle *Dermochelys coriacea* nesting in Espírito Santo, Brazil, 1988–2017: reproductive biology and conservation. *Endangered Species Research*, vol. 39, pp. 147–158.
- D’anastasi, B.R., and others (2016). New range and habitat records for threatened Australian sea snakes raise challenges for conservation. *Biological Conservation*, vol. 194, pp. 66–70.
- Deepwater Horizon Natural Resource Damage Assessment Trustees (2016). *Deepwater Horizon oil spill: Final Programmatic Damage Assessment and Restoration Plan and Final Programmatic Environmental Impact Statement*. Retrieved from www.gulfspillrestoration.noaa.gov/restoration-plan-ning/gulf-plan.
- Dirección del Parque Nacional Galápagos (2014). *Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir*.
- Frankham, Richard, and others (2014). Genetics in conservation management: revised recommendations for the 50/500 rules, Red List criteria and population viability analyses. *Biological Conservation*, vol. 170, pp. 56–63.
- French, Susannah S., and others (2017). Too much of a good thing? Human disturbance linked to ecotourism has a “dose-dependent” impact on innate immunity and oxidative stress in marine iguanas, *Amblyrhynchus cristatus*. *Biological Conservation*, vol. 210, pp. 37–47.
- Fry, G.C., and others (2001). The reproductive biology and diet of sea snake bycatch of prawn trawling in northern Australia: characteristics important for assessing the impacts on populations. *Pacific Conservation Biology*, vol. 7, No. 1, pp. 55–73.
- Fuentes, M.M.P.B., and J.E. Cinner (2010). Using expert opinion to prioritize impacts of climate change on sea turtles’ nesting grounds. *Journal of Environmental Management*, vol. 91, No. 12, pp. 2511–2518.
- Galloway, Benny J., and others (2016). Evaluation of the status of the Kemp’s ridley sea turtle after the 2010 Deepwater Horizon oil spill. *Gulf of Mexico Science*, vol. 33, No. 2, pp. 192–205.
- Ganesh, S.R., and others (2019). Marine snakes of Indian coasts: historical resume, systematic checklist, toxinology, status, and identification key. *Journal of Threatened Taxa*, vol. 11, No. 1, pp. 13132–13150.
- Gillett, Amber K. (2017). An investigation into the stranding of Australian sea snakes.
- Gillett, Amber K., and others (2014). An antemortem guide for the assessment of stranded Australian sea snakes (Hydrophiinae). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, vol. 45, No. 4, pp. 755–765.
- Gillett, Amber K., and others (2017). Postmortem examination of Australian sea snakes (Hydrophiinae): Anatomy and common pathologic conditions. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, vol. 29, No. 5, pp. 593–611.
- Goiran, C., and others (2017). Industrial melanism in the seasnake *Emydocephalus annulatus*. *Current Biology*, vol. 27, No. 16, pp. 2510–2513.
- Goiran, C., and Richard Shine (2019). Grandmothers and deadly snakes: an unusual project in “citizen science”. *Ecosphere*, vol. 10, No. 10. e02877.
- Groom, Rachel A., and others (2017). Estimating long-term trends in abundance and survival for nesting flatback turtles in Kakadu National Park, Australia. *Endangered Species Research*, vol. 32, pp. 203–211.
- Hays, Graeme C., and others (2014). Different male vs. female breeding periodicity helps mitigate offspring sex ratio skews in sea turtles. *Frontiers in Marine Science*, vol. 1, art. 43.

- Heatwole, Harold, and others (2016). Physiological, ecological, and behavioural correlates of the size of the geographic ranges of sea kraits (Laticauda; Elapidae, Serpentes): A critique. *Journal of Sea Research*, vol. 115, pp. 18–25.
- Howard, Robert, and others (2014). Thermal tolerances of sea turtle embryos: current understanding and future directions. *Endangered Species Research*, vol. 26, No. 1, pp. 75–86.
- Jensen, Michael P., and others (2016). Spatial and temporal genetic variation among size classes of green turtles (*Chelonia mydas*) provides information on oceanic dispersal and population dynamics. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 543, pp. 241–256.
- Jensen, Michael P., and others (2018). Environmental warming and feminization of one of the largest sea turtle populations in the world. *Current Biology*, vol. 28, No. 1, pp. 154–159.
- Laloë, Jacques-Olivier, and others (2016). Sand temperatures for nesting sea turtles in the Caribbean: Implications for hatchling sex ratios in the face of climate change. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 474, pp. 92–99.
- Laloë, Jacques-Olivier, and others (2017). Climate change and temperature-linked hatchling mortality at a globally important sea turtle nesting site. *Global Change Biology*, vol. 23, No. 11, pp. 4922–4931.
- Lauritsen, Ann Marie, and others (2017). Impact of the Deepwater Horizon oil spill on loggerhead turtle *Caretta caretta* nest densities in northwest Florida. *Endangered Species Research*, vol. 33, pp. 83–93.
- Lewis, Rebecca L., and others (2014). Global patterns of marine mammal, seabird, and sea turtle bycatch reveal taxa-specific and cumulative megafauna hotspots. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, No. 14, pp. 5271–5276.
- Lillywhite, Harvey B., and others (2017). Why are there no sea snakes in the Atlantic? *BioScience*, vol. 68, No. 1, pp. 15–24.
- Limpus, C.J., and others (2013). Monitoring of Coastal Sea Turtles: Gap Analysis 1. Loggerhead turtles, *Caretta caretta*, in the Port Curtis and Port Alma Region, Australia. Report produced for the Ecosystem Research and Monitoring Program Advisory Panel as part of Gladstone Ports Corporation's Ecosystem Research and Monitoring Program.
- Limpus, C.J., and others (2017). Estimation of population size and comparison of the benefits of mid-season census and whole of breeding season census of flatback turtle reproduction in eastern Australia. Report produced for the Ecosystem Research and Monitoring Program Advisory Panel as part of Gladstone Ports Corporation's Ecosystem Research and Monitoring Program.
- Lobo, Aaron Savio, and others (2010). Commercializing bycatch can push a fishery beyond economic extinction. *Conservation Letters*, vol. 3, No. 4, pp. 277–285.
- Lukoschek, Vimoksalehi (2018). Congruent phylogeographic patterns in a young radiation of live-bearing marine snakes: Pleistocene vicariance and the conservation implications of cryptic genetic diversity. *Diversity and Distributions*, vol. 24, No. 3, pp. 325–340.
- Lynch, Jennifer M. (2018). Quantities of marine debris ingested by sea turtles: global meta-analysis highlights need for standardized data reporting methods and reveals relative risk. *Environmental Science & Technology*, vol. 52, No. 21, pp. 12026–12038.
- MacLeod, Amy, and others (2020). *Amblyrhynchus cristatus*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2020: e.T1086A499235.
- MacLeod, Amy, and Sebastian Steinfartz (2016). The conservation status of the Galápagos marine iguanas, *Amblyrhynchus cristatus*: a molecular perspective. *Amphibia-Reptilia*, vol. 37, No. 1, pp. 91–109.
- Mancini, A., and others (2019). *Chelonia mydas* (North Indian Ocean subpopulation). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2019*. e.T142121108A142122995.
- Maurer, Andrew S., and others (2015). Sargassum accumulation may spell trouble for nesting sea turtles. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 13, No. 7, pp. 394–395.

- Mazaris, Antonios D., and others (2017). Global sea turtle conservation successes. *Science Advances*, vol. 3, No. 9, e 1600730.
- Miralles, Aurélien, and others (2017). Shedding light on the Imps of Darkness: an integrative taxonomic revision of the Galápagos marine iguanas (genus *Amblyrhynchus*). *Zoological Journal of the Linnean Society*, vol. 181, No. 3, pp. 678–710.
- Montero, Natalie, and others (2018). Influences of the local climate on loggerhead hatchling production in North Florida: implications from climate change. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 262.
- Nalovic, Michel, and others (2018). *Sea Turtles in the North-West Atlantic & Caribbean Region: MTSG Annual Regional Report 2018*. Draft report of the IUCN-SSC Marine Turtle Specialist Group.
- Nankivell, J.H., and others (2020). A new species of turtle-headed sea Snake (*Emydocephalus*: Elapidae) endemic to Western Australia. *Zootaxa*. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4758.1.6>.
- Nelms, Sarah E., and others (2016). Seismic surveys and marine turtles: an underestimated global threat? *Biological Conservation*, vol. 193, pp. 49–65.
- National Marine Fisheries Service (2019). *Recovering Threatened and Endangered Species, FY 2017-2018. Report to Congress*.
- Northwest Atlantic Leatherback Working Group (2019). *Dermochelys coriacea* (Northwest Atlantic Ocean subpopulation). *The IUCN Red List of Threatened Species 2019*. e.T46967827A83327767.
- Park, Jaejin, and others (2017). Northward dispersal of sea kraits (*Laticauda semifasciata*) beyond their typical range. *PLoS One*, vol. 12, No. 6, e 0179871.
- Phillott, A.D., and A. Rees, eds. (2018). *Sea Turtles in the Middle East and South Asia Region: MTSG Annual Regional Report 2018*. Draft report of the IUCN-SSC Marine Turtle Specialist Group.
- Pizzitutti, Francesco, and others (2017). Scenario planning for tourism management: a participatory and system dynamics model applied to the Galapagos Islands of Ecuador. *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 25, No. 8, pp. 1117–1137.
- Putman, Nathan F., and others (2015). Deepwater Horizon oil spill impacts on sea turtles could span the Atlantic. *Biology Letters*, vol. 11, No. 12, 20150596.
- Rasmussen, Arne Redsted, and others (2014). Sea snakes in Australian waters (Serpentes: subfamilies Hydrophiinae and Laticaudinae) – a review with an updated identification key. *Zootaxa*, vol. 3869, No. 4, pp. 351–371.
- Rees, A.F., and others (2016). Are we working towards global research priorities for management and conservation of sea turtles? *Endangered Species Research*, vol. 31, pp. 337–382.
- Rezaie-Atagholipour, Mohsen, and others (2012). Metal concentrations in selected tissues and main prey species of the annulated sea snake (*Hydrophis cyanocinctus*) in the Hara Protected Area, north-eastern coast of the Persian Gulf, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 64, No. 2, pp. 416–421.
- Rezaie-Atagholipour, Mohsen, and others (2016). Sea snakes (Elapidae, Hydrophiinae) in their westernmost extent: an updated and illustrated checklist and key to the species in the Persian Gulf and Gulf of Oman. *ZooKeys*, No. 622, pp. 129–164.
- Riskas, Kimberly A., and others (2018). Evaluating the threat of IUU fishing to sea turtles in the Indian Ocean and Southeast Asia using expert elicitation. *Biological Conservation*, vol. 217, pp. 232–239.
- Sanders, Kate L., and others (2012). *Aipysurus mosaicus*, a new species of egg-eating sea snake (Elapidae: Hydrophiinae), with a redescription of *Aipysurus eydouxii* (Gray, 1849). *Zootaxa*, No. 3431, pp. 1–18.
- Sanders, Kate L., and others (2013). Multilocus phylogeny and recent rapid radiation of the viviparous sea snakes (Elapidae: Hydrophiinae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, vol. 66, No. 3, pp. 575–591.
- Sanders, Kate L., and others (2014). High rates of hybridisation reveal fragile reproductive barriers between endangered Australian sea snakes. *Biological Conservation*, vol. 171, pp. 200–208.

- Sarker, Mohammad Abdur Razzaque, and others (2017). Sea snakes of Bangladesh: a preliminary survey of Cox's Bazar District with notes on diet, reproduction, and conservation status. *Herpetological Conservation and Biology*, vol. 12, No. 2, pp. 384–393.
- Schuyler, Qamar A., and others (2016). Risk analysis reveals global hotspots for marine debris ingestion by sea turtles. *Global Change Biology*, vol. 22, No. 2, pp. 567–576.
- Seminoff, Jeffrey Aleksandr, and others (2015). Status review of the green turtle (*Chelonia mydas*) under the Endangered Species Act. United States.
- Sereshk, Zahra Heydari, and Alireza Riyahi Bakhtiari (2015). Concentrations of trace elements in the kidney, liver, muscle, and skin of short sea snake (*Lapemis curtus*) from the Strait of Hormuz Persian Gulf. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 22, No. 20, pp. 15781–15787.
- Summers, Tammy M., and others (2018). Endangered Green Turtles (*Chelonia mydas*) of the Northern Mariana Islands: Nesting Ecology, Poaching, and Climate Concerns. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 428.
- Tiwari, M., and others (2013). *Dermochelys coriacea* (West Pacific Ocean subpopulation). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2013*. e.T46967817A46967821.
- Udyawer, Vinay, and others (2018). Future directions in the research and management of marine snakes. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 399.
- Udyawer, Vinay, and others (2020). Prioritising search effort to locate previously unknown populations of endangered marine reptiles. *Global Ecology and Conservation*, vol. 22, e01013.
- Ukuwela, Kanishka D.B., and others (2012). *Hydrophis donaldi* (Elapidae, Hydrophiinae), a highly distinctive new species of sea snake from northern Australia. *Zootaxa*, vol. 3201, No. 1, pp. 45–57.
- Ukuwela, Kanishka D.B., and others (2013). Molecular evidence that the deadliest sea snake *Enhydrina schistosa* (Elapidae: Hydrophiinae) consists of two convergent species. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, vol. 66, No. 1, pp. 262–269.
- Ukuwela, Kanishka D. B., and others (2014). Multilocus phylogeography of the sea snake *Hydrophis curtus* reveals historical vicariance and cryptic lineage diversity. *Zoologica Scripta*, vol. 43, No. 5, pp. 472–484.
- United Nations (2017a). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017b). Chapter 39: Marine reptiles. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Valdivia, Abel, and others (2019). Marine mammals and sea turtles listed under the US Endangered Species Act are recovering. *PloS One*, vol. 14, issue 1, e0210164
- Van Cao, Nguyen, and others (2014). Sea snake harvest in the Gulf of Thailand. *Conservation Biology*, vol. 28, No. 6, pp. 1677–1687.
- Wallace, Bryan P., and others (2010). Regional management units for marine turtles: a novel framework for prioritizing conservation and research across multiple scales. *PloS One*, vol. 5, issue 12, e15465.
- Wallace, B., and others (2013). *Dermochelys coriacea* East Pacific Ocean subpopulation. In *The IUCN Red List of Threatened Species*. e.T46967807A46967809.
- Walsh, Stephen J., and Carlos F. Mena (2016). Interactions of social, terrestrial, and marine sub-systems in the Galapagos Islands, Ecuador. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, No. 51, pp. 14536–14543.
- Wibbels, T., and E. Bevan (2019). *Lepidochelys kempii*. In *The IUCN Red List of Threatened Species 2019*. e.T11533A142050590.
- Wikelski, Martin and others (2002). Galapagos islands: marine iguanas die from trace oil pollution. *Nature*, vol. 417, pp. 607–608.
- Wilcox, Chris and others (2018). A quantitative analysis linking sea turtle mortality and plastic debris ingestion. *Scientific Reports*, vol. 8, art. 12536.

Глава 6F

Морские птицы

Участники: Мартин Крайер (координатор), Игор Дебски, Мария Диаш, Клио Смолл, Грейм Тейлор, Каролина Хазин, Пак Чхуль (ведущий участник, ответственный за главу) и Кэрен Эванс (ведущий участник, ответственный за подглаву).

Ключевые тезисы

- Со времени первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017) глобальный статус сохранности морских птиц ухудшился, продолжая давнюю тенденцию.
- В настоящее время 31 процент видов находится под угрозой исчезновения, тогда как в 2010 году этот показатель равнялся 28 процентам.
- Доля видов, затрагиваемых нагрузками, которые связаны с рыболовством (прилов и истощение кормовой базы), стала сейчас больше, а доля видов, затрагиваемых загрязнением, — меньше. Вместе с тем намечается такая угроза, как замусоривание моря, особенно пластиком, и последствия этой проблемы слабо изучены.
- Инвазивные чужеродные виды и изменение климата тоже остаются крупными причинами упадка популяций морских птиц, сказывающимися (как и в 2010 году) на состоянии нескольких видов таких птиц.
- Ныне имеющиеся возможности и ресурсы не позволяют полноценно оценивать, каковы последствия действующих и намечающихся угроз на популяционном уровне и как они воздействуют на экосистемные услуги.

1. Введение

Морские птицы [определяемые как виды птиц, значительная доля популяции которых зависит от морской среды как минимум часть года (Croxall and others, 2012)] играют важную роль в морских экосистемах мира, являясь высшими хищниками, которые потребляют примерно столько же биомассы, сколько ее добывается всеми видами промысла, вместе взятыми (Brooke, 2004). Морские птицы встречаются во всех океанах, действуя от прибрежных районов до открытого моря, и многие виды являются далеко мигрирующими, соединяя разные морские системы или океанские бассейны (Croxall and others, 2005; Shaffer and others, 2006; Egevang and others, 2010; Dias and others, 2011).

При действующей таксономической классификации насчитывается в общей сложности 359 видов, объединяемых в 6 отрядов и 12 семейств. Кроксолл и др. (Croxall and others, 2012) обобщили такие сведения о встречающихся в мире (в разбивке по странам) видах, как видовое богатство, количество эндемиков и доля угрожаемых видов. По сравнению с большинством других морских таксонов морские птицы изучены довольно неплохо, а за период после первой «Оценки» было выполнено несколько анализов, задокументировавших статус конкретных таксономических групп и тренды, проявляемые ими в последнее время (Trathan and others, 2015; Phillips and others, 2016; Rodríguez and others, 2019).

В первой «Оценке» 97 видов морских птиц фигурировали как в той или иной степени угрожаемые (поскольку в действовавшей на 2010 год редакции Красного списка видов, находящихся под угрозой исчезновения, который составляется Международным союзом охраны природы (МСОП), они относились к категории «Находящиеся в критической опасности», «Находящиеся в опасности» или «Уязвимые»), что составляло 28 процентов от 346 видов, ранжированных по категориям на тот момент. Кроме того, особенно угрожаемыми были названы в первой «Оценке» пелагические виды морских птиц, а группами с наибольшим процентом видов, отнесенных к угрожаемым категориям в Красном списке МСОП, были названы альбатросы (семейство Diomedidae), тайфунники (семейство Procellariidae, роды *Pterodroma* и *Pseudobulweria*) и пингвины (семейство Spheniscidae). В первой «Оценке» упадок популяций морских птиц был сочтен результатом 10 главных нагрузок. В море они включали: случайный прилов (при ярусном, жаберном и траловом промысле); загрязнение среды (от разлива нефти и привнесения мусора, в том числе пластикового); истощение кормовой базы из-за промысловой деятельности; производство энергии и добыча полезных ископаемых на шельфе. Главными угрозами на суше были признаны: появление инвазивных чужеродных видов; наличие проблемных туземных видов

(например, ставших чересчур многочисленными); беспокоящее воздействие со стороны людей; промышленная и жилищная застройка; охота и

отлов. Изменение климата и суровые погодные условия были сочтены факторами, воздействующими на морских птиц и в море, и на суше.

2. Описание экологических изменений (с 2010 по 2020 год)

В таблице 1 указано количество видов морских птиц (в разбивке по их отрядам), фигурировавших в каждой из категорий Красного списка МСОП в 2018 году. За истекшее после этого время был выполнен количественный обзор угроз, затрагивающих все виды морских птиц в мире (Dias and others, 2019), с привлечением данных из более чем 900 публикаций и с применением стандартизованного оценочного подхода, основанного на Схеме классификации угроз к Красному списку МСОП (IUCN, 2019).

Подход, который взяли на вооружение в своем обзоре Диас и др. (Dias and others, 2019), сходен с подходом Кроксолла и др. (Croxall and others, 2012), так что новые результаты можно использовать для анализа изменений, происшедших за период после первой «Оценки» в состоянии морских птиц и в угрозах, с которыми они сталкиваются. За указанный период 28 видов морских птиц были переведены в более высокую ка-

тегорию (т. е. статус их сохранности ухудшился), а 11 — в более низкую (т. е. статус их сохранности улучшился) (таблица 2). Особенно заметным стало ухудшение статуса у представителей отряда Anseriformes (гусеобразные; в более высокую категорию переведено 5 видов из 18) и отряда Procellariiformes (трубноносые; в более высокую категорию переведено 11 видов из 131, в более низкую — 4 вида). Группами с наибольшей долей угрожаемых видов остаются Procellariiformes (в частности, альбатросы и тайфунники) и пингвины (см. таблицу 1). Случаи, когда после первой «Оценки» виды переводились в более низкую категорию, объясняются улучшением знаний об этих видах (например, обнаружением новых колоний или пересмотром таксономии), а не реальным улучшением их статуса.

Сравнение обзоров, выполненных Диас и др. (Dias and others, 2019) и Кроксоллом и др. (Croxall and others, 2012), также показывает, что такие

Таблица 1

Количество видов морских птиц (в разбивке по их отрядам; в общей сложности 346 видов), фигурировавших в каждой из категорий Красного списка МСОП в 2018 году и рассмотренных Кроксоллом и др. (Croxall and others, 2012) и Диас и др. (Dias and others, 2019)

Отряд морских птиц	EX	CR	EN	VU	NT	LC	DD	Всего
Procellariiformes (трубноносые)	2	13	20	27	19	47	3	131
Sphenisciformes (пингвинообразные)	0	0	5	5	3	5	0	18
Charadriiformes (ржанкообразные)	1	1	4	10	11	93	0	120
Anseriformes (гусеобразные)	0	0	0	4	2	12	0	18
Suliformes (олушеобразные)	0	2	5	8	3	26	0	44
Gaviiformes (гагарообразные)	0	0	0	0	1	4	0	5
Phaethontiformes (фаэтонообразные)	0	0	0	0	0	3	0	3
Pelecaniformes (пеликанообразные)	0	0	0	0	1	2	0	3
Podicipediformes (поганкообразные)	0	0	0	1	0	3	0	4
Всего	3	16	34	55	40	195	3	346

Сокращения: CR — находящиеся в критической опасности; DD — недостаточно данных; EN — находящиеся в опасности; EX — исчезнувшие; LC — вызывающие наименьшую озабоченность; NT — близкие к угрожаемым; VU — уязвимые.

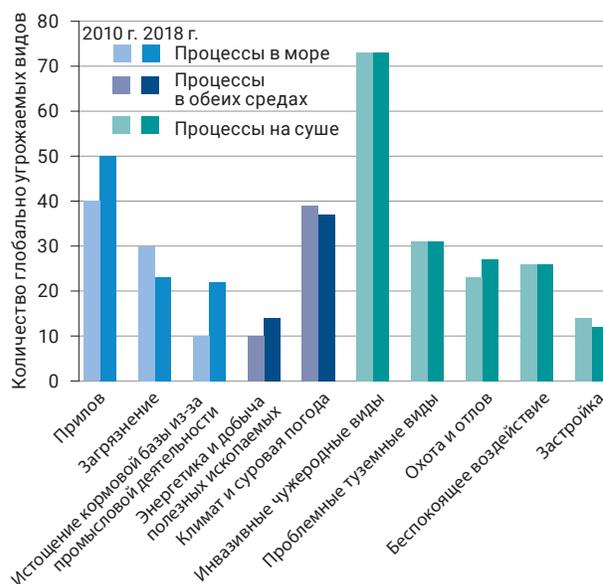
факторы, как инвазивные чужеродные виды, изменение климата и суровая погода, продолжают влиять на ряд глобально угрожаемых видов, как и в 2010 году (рисунок 1). Диас и др. (Dias and others (2019) обнаружили, что по состоянию на 2018 год увеличилось количество видов морских птиц, страдающих от промыслового прилова (50 глобально угрожаемых видов – на 10 больше, чем в 2010 году) и от истощения кормовой базы из-за промысла (22 глобально угрожаемых вида – на 12 больше, чем в 2010 году). Такое увеличение как минимум отчасти вызвано тем, что стали лучше пониматься как воздействия прилова на морских птиц, в частности при жаберном промысле (Crawford and others, 2015; см. также ниже), так и последствия конкуренции за добычу между рыболовным промыслом и морскими птицами (Crawford and others, 2015; Grémillet and others, 2018; Trathan and others, 2015). При этом упадок в состоянии видов, служащих добычей для птиц, может быть вызван не только рыболовством, но и другими факторами, в том числе изменением климата (Mitchell and others, 2020). Основные опасности, которым подвергаются угрожаемые виды, совпадают с теми, которым подвергаются все виды морских птиц (Dias and others, 2019).

Сообщается, что изменение климата уже привело к упадку популяции у почти 100 видов морских птиц (Dias and others, 2019). Например, снижение темпов роста популяции чернобрового альбатроса (*Thalassarche melanophris*) было увязано с изменением температуры морской поверхности в конце зимы, и прежде всего с таким проявлением этого изменения, как доступность добычи и последующее выживание молоди (Jenouvrier and others, 2018). В свою очередь, Кэрролл и др. (Carroll and others, 2015) обнаружили, что успех размножения в 11 колониях обыкновенной мовки (*Rissa tridactyla*) в Ирландии и в Соединенном Королевстве Великобритании и Северной Ирландии повышается, когда сезону размножения предшествует более слабая стратификация, а сам этот сезон сопровождается более низкими температурами морской поверхности.

Инвазивные чужеродные виды продолжают представлять угрозу для 73 видов (такая же цифра фиксировалась и в 2010 году), причем особую угрозу для мелких буревестникообразных, таких

Рисунок 1

Количество видов морских птиц, которые были сочтены в 2010 и 2018 годах глобально угрожаемыми, так как затрагивались опасными для них процессами, действующими в море, на суше или в обеих этих средах



Источник: Croxall and others, 2012 (данные за 2010 год); Dias and others, 2019 (данные за 2018 год).

Примечание. Указаны только процессы, рассмотренные в обеих «Оценках».

как тайфунники и качурки, представляют крысы и кошки (Rodríguez and others, 2019). В своем глобальном обзоре Джоунс и др. (Jones and others, 2016) определили 122 вида (202 популяции) морских птиц, которые выиграли (с точки зрения увеличения размера популяции или колонизации местности) от очищения островов от инвазивных млекопитающих. Показали себя полезными и другие программы по восстановлению или улучшению местообитаний морских птиц, включая высадку растительности и лесовозобновление, борьбу с сорняками, создание или повышение возможностей для гнездования и борьбу с эрозией (Beck and others, 2015; Bried and Neves, 2015; Buxton and others, 2016).

Самой большой угрозой для морских птиц Procellariiformes в море остается промысловый прилов, поражающий в основном альбатросов, других крупных буревестникообразных и буревестников (Phillips and others, 2016; Rodríguez, 2019). Задача 14.2, уточняющая цели в области

Таблица 2
Сводка изменений в статусе морских птиц согласно Красному списку МСОП с 2010 по 2018 года^а

Отряд морских птиц	Перевод в более высокую категорию	Без изменений	Перевод в более низкую категорию	Недостаточно данных	Всего
Procellariiformes	11	112	4	4	131
Sphenisciformes	1	15	2	0	18
Charadriiformes	8	108	4	0	120
Anseriformes	5	13	0	0	18
Suliformes	2	41	1	0	44
Gaviiformes	0	5	0	0	5
Phaethontiformes	0	3	0	0	3
Pelecaniformes	0	3	0	0	3
Podicipediformes	1	3	0	0	4
Всего	28	303	11	4	346

Источник: Croxall and others, 2012 (за 2010 год); Dias and others, 2019 (за 2018 год).

Примечание: «Перевод в более высокую категорию» означает ухудшение статуса сохранности в 2018 году по сравнению с 2010 годом, а «перевод в более низкую категорию» — улучшение. В колонке «Недостаточно данных» указаны виды, которые в 2010 или 2018 году присутствовали в одноименной категории Красного списка МСОП: присутствие в данной категории хотя бы в одном из этих годов делает невозможным значимую оценку изменения в статусе.

^а Сравнение ограничено 346 видами морских птиц, которые рассмотрены обоими авторскими коллективами.

устойчивого развития¹, предусматривает, что к 2020 году необходимо обеспечить рациональное использование и защиту морских и прибрежных экосистем с целью предотвратить значительное отрицательное воздействие. Чтобы продвигаться к достижению цели 12 в области устойчивого развития, нужно будет принимать во внимание воздействие на биоразнообразие. Происходила активизация усилий по сокращению промыслового прилова морских птиц: так, некоторыми странами, ведущими ярусный, траловый или жаберный промысел (при котором чаще всего возникает проблема прилова) приняты или обновлены национальные планы действий. Кроме того, в некоторых районах под национальной юрисдикцией и в некоторых акваториях открытого моря введены обязательные митигационные меры, включая, например, утяжеление ярусов, выставление снастей ночью, применение тросов,

отпугивающих птиц, и закрытие определенных участков (Brothers and others, 1999; Abraham and others, 2017). Имеются данные о том, что за последнее десятилетие более чем удвоилось количество угрожаемых видов морских птиц, пострадавших от истощения их кормовой базы из-за промысловой деятельности (Croxall and others, 2012; Dias and others, 2019). Впрочем, увеличение этого показателя как минимум отчасти вызвано тем, что данная проблема стала лучше пониматься.

С другой стороны, недавний анализ показал снижение угроз, вызываемых загрязнением моря: в настоящее время от загрязнения страдает 23 глобально угрожаемых вида, что на 7 видов меньше, чем в 2010 году. Это уменьшение обусловлено прежде всего общим сокращением загрязнения от разливов нефти за последние десятилетия

¹ См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

(Roser, 2013). Зафиксировано широкомасштабное воздействие, которое оказывает на виды морских птиц загрязнение моря пластиком (например, Wilcox and others, 2015). Задача 14.1 целей в области устойчивого развития настраивает на предотвращение и существенное сокращение любого загрязнения морской среды к 2025 году, однако ожидается, что попадание пластика в эту среду продолжит в ближайшие десятилетия сказываться на состоянии многих видов морских птиц (Kühn and others, 2015; Ryan and others, 2009; Wilcox and others, 2015). Хотя эта форма загрязнения не считается пока прямой причиной многих проявлений упадка на популяционном уровне (см., однако, Auman and others, 1997; Lavers and others, 2014), в категорию риска попадают с большой степенью вероятности такие мелкие и сильно связанные с пелагиалью виды, как качурки, китовые птички и чистики (Roman and others, 2019; Wilcox and others, 2015). Для мелких буревестникообразных представляет угрозу световое загрязнение как в колониях (Rodríguez and others, 2017; Rodríguez and others, 2019), так и от нефтяных платформ, судов и других искусственных сооружений в море (Montevecchi, 2006; Rodríguez and others, 2019), хотя воздействие этого загрязнения на популяции изучено слабо. В первой «Оценке» данная угроза не рассматривалась.

Диас и др. (Dias and others, 2019) выявили и иные новые угрозы, включая производство энергии (в частности, на шельфовых ветровых электростанциях), глубоководную добычу полезных ископаемых (Green and others, 2016) и световое загрязнение, в том числе от таких объектов морской инфраструктуры, как платформы и суда (Rodríguez and others, 2017; Rodríguez and others, 2019). Последствия, которыми эти угрозы оборачиваются на популяционном уровне, остаются слабоизученными, но существуют признаки

того, что к световому загрязнению особенно восприимчивы молодь морских птиц и особи вблизи колоний (Rodríguez and others, 2015). Как минимум для 21 вида Procellariiformes описаны такие неблагоприятные явления, как столкновение с судами и сооружениями и последующая гибель, в том числе из-за того, что птиц манит искусственное освещение на рыбопромысловых и морских нефтегазовых объектах (Montevecchi, 2006). Развитие ситуации в этих областях значимо для выполнения задачи 15.9 целей в области устойчивого развития, согласно которой к 2020 году необходимо обеспечить учет ценности экосистем и биологического разнообразия в ходе общенационального и местного планирования и процессов развития (в этом контексте затрагиваются также цели 7, 9 и 11 в области устойчивого развития).

Притом что у некоторых видов пингвинов увеличиваются размеры популяций, крупной угрозой для многих видов из этой группы признается изменение климата, причем ухудшение их состояния объясняют в первую очередь переменами в среде обитания, учащением наводнений и штормов и экстремальностью температур (Trathan and others, 2015; Dias and others, 2019). Задача 13.2 целей в области устойчивого развития предусматривает (не указывая, правда, конкретных сроков), что меры реагирования на изменение климата следует включить в политику, стратегии и планирование на национальном уровне. К настоящему времени выяснено, что значимыми стрессорами для пингвиных видов являются также прилов, конкуренция за добычу с рыболовством, загрязнение, появление инвазивных чужеродных видов и беспокоящее воздействие на колонии (Trathan and others, 2015; Crawford and others, 2017; Dias and others, 2019).

3. Последствия изменений в популяциях морских птиц для человеческих сообществ, экономик и благополучия

Изменения в популяциях морских птиц, в частности их существенный упадок, влияют на биоразнообразие, а также на обусловливаемое им функционирование морских систем и на экосистемные услуги, которые они предоставляют

(Wenny and others, 2011; Burdon and others, 2017; Tavares and others, 2019). Например, морские птицы, кормящиеся в море и гнездящиеся на берегу, могут быть источником значительной доли питательных веществ, поступающих в береговую

среду, повышая продуктивность местной фауны и флоры и прилегающих прибрежных систем (Graham and others, 2018). Изменения в переносе питательных веществ будут сильно сказываться на этих системах. Потенциальные последствия изменений в популяциях морских птиц для экосистемных услуг плохо изучены, но, скорее всего, они будут разнообразными и комплексными. Таким образом, воздействие, оказываемое на экосистемные услуги изменениями в популяциях

морских птиц, имеет прямую значимость для многих из целей в области устойчивого развития, включая цели 7 (недорогостоящая и чистая энергия), 9 (индустриализация, инновации и инфраструктура), 11 (устойчивые города и сообщества), 12 (ответственное потребление и производство), 13 (борьба с изменением климата), 14 (сохранение морских экосистем) и 15 (сохранение экосистем суши).

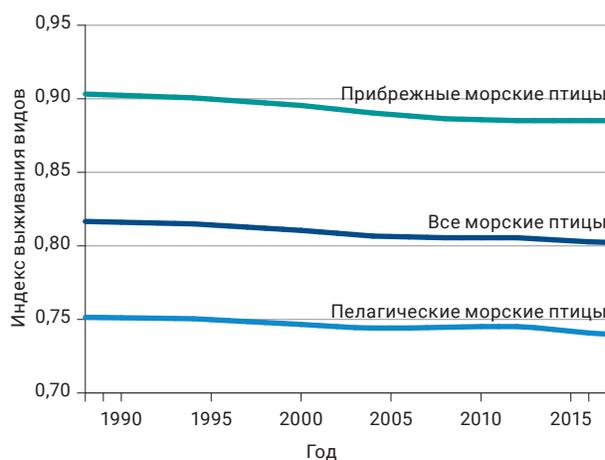
4. Перспективы

Уже давно продолжающийся упадок популяций морских птиц, который за последнее десятилетие особенно сильно проявился у пелагических видов (рисунок II), а также сохранение серьезных угроз не позволяют усматривать положительных перспектив для морских птиц на ближайшее будущее.

Скорее всего, будут продолжены текущие усилия по смягчению воздействий, оказываемых промысловым приловом и инвазивными видами, в частности в островных местообитаниях, поскольку они признаются всё более важными и приоритетными для сохранения биоразнообразия и морских птиц (Vuxton and others, 2016; Jones and others, 2016). Однако в случае усиления промысловой нагрузки на кормовую рыбу конкуренция между рыболовством и морскими птицами может усилиться, что чревато пагубными последствиями для некоторых популяций морских птиц — даже при отсутствии солидных эмпирических доказательств стойкого эффекта (Hilborn and others, 2017). Последствия потенциального усиления конкуренции могут усугубиться любым сокращением кормовой базы из-за перемен в океанографических условиях, вызванных изменением климата (Grémillet and Boulinier, 2009). В этих условиях дополнительную проблему может создать переключение промысла на более низкие трофические уровни, особенно на мезопелагические виды (St. John and others, 2016), поскольку мезопелагические рыбы являются важной частью рациона многих пелагических морских птиц (Watanuki and Thiebot, 2018).

Прогнозируется, что изменение климата будет иметь серьезные последствия для многих популяций морских птиц из-за потенциального пере-

Рисунок II
Индекс выживания видов морских птиц (согласно Красному списку) за период 1988–2017 годов



Примечание. Чтобы измерить прогнозируемую общую выживаемость видов внутри групп, в индексе используется информация из Красного списка МСОП (Butchart and others, 2007). Эта информация отражает изменение соотношения видов в каждой категории, предусматриваемой классификацией угроз, при реальном улучшении или ухудшении состояния каждого вида. Уточненный индекс масштабируется так, чтобы для всякой группы значение 1 соответствовало ситуации, когда все ее виды отнесены к категории «Вызывающие наименьшую озабоченность», а значение 0 — к категории «Исчезнувшие».

распределения кормовой базы и из-за перемен в составе морских сообществ. Непосредственные эффекты изменения климата будут, скорее всего, проявляться в следующем: усиление теплового стресса в местах колониального гнездования и ночлега; усиление беспокоящего воздействия на такие места из-за повышения частоты и

интенсивности штормов, особенно в низколежащих районах; учащение случаев затопления низколежащих мест гнездования и кормления из-за подъема уровня моря (Grémillet and Boulinier, 2009). Особенно уязвимыми к негативным последствиям изменения климата оказываются такие группы, как пингвины (Dias and others, 2019), и прежде всего виды, привыкшие к паковому льду или специфическим условиям обитания, которые при изменении климата вполне могут ухудшиться (Ainley and others, 2010). Отрицательные последствия климатических изменений прогнозируются и для многих других видов (BirdLife International and National Audubon Society, 2015), однако для некоторых видов прогнозируются также положительные эффекты, проявляющиеся в расширении ареала или увеличении размера популяции. Так, в результате увеличения площади гнездовий по мере отступления ледников ожидается рост популяций королевского пингвина (*Aptenodytes patagonicus*) и чернобрового альбатроса, гнездящихся на австралийском острове Херд (Chambers and others, 2011).

В условиях, когда во всем мире продолжает расширяться техническое освоение возобновляемых источников энергии (ветер, вода и волны), вероятен рост риска контактов морских птиц с соответствующими сооружениями. Скорее всего, эти контакты будут происходить преимущественно у прибрежных видов, таких как гагары, турпаны, крачки и бакланы (Garthe and Hüppop, 2004), и создавать больше проблем для высокоомобильных видов, таких как буревестники (Busch and Garthe, 2018). Риск повышенного воздействия можно снизить путем размещения объектов в менее посещаемых морскими птицами районах, которые будут определяться по данным наблюдения за местообитаниями и отслеживания того, как они используются (например, Busch and others, 2013; Winship and others, 2018).

Хотя количество крупных разливов нефти за последние десятилетия уменьшилось, следует, видимо, ожидать усиления других форм загряз-

нения, в том числе замусоривания морской среды, особенно с учетом прогнозов о значительном увеличении объема пластиковых отходов в море (Jambeck and others, 2015). Ожидается также усиление воздействий, вызываемых световым загрязнением, которое связано прежде всего с непрекращающейся активизацией морских перевозок, объем которых растет на примерно 4 процента в год (United Nations Conference on Trade and Development, 2018). Риск пострадать от этого более силен для исчезающих и малочисленных видов (Rodríguez and others, 2019). Рост морского судоходства чреват также усилением риска разнесения чужеродных хищников или патогенов по дополнительным точкам, что может сказаться на популяциях морских птиц (Renner and others, 2018).

Новые технологии слежения за морскими птицами (см., например, Sansom and others, 2018; Zhang and others, 2019) и современное программное обеспечение для картографических и аналитических работ позволят со всё большей точностью просчитывать подверженность популяций морских птиц индивидуальным угрозам. В результате должны появиться возможности для выяснения видов, стадий жизненного цикла, угроз, мест и периодов, которые наиболее выиграют от принятия митигационных мер в отношении популяций морских птиц, и для выявления критических пробелов в знаниях. Методы количественного подсчета того, насколько создаваемые очаги воздействий и рисков пространственно совпадают с ареалами морских птиц, использовались в основном применительно к рыболовству (см., например, Tuck and others, 2011; Abraham and others, 2017; Clay and others, 2019), но в будущем их можно было бы использовать для оценки любых угроз с пространственной составляющей (об этом сообщают, например, Currey and others, 2012; Redfern and others, 2013).

5. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях

Несмотря на относительно хорошую изученность морских птиц, остается несколько пробелов в знаниях о демографии, состоянии, морских

ареалах и популяционных трендах у мелких видов, таких как качурки, тайфунники, китовые птички и чистики. Кроме того, для большинства

видов морских птиц их морские ареалы на ранних стадиях их жизненного цикла изучены хуже их ареалов в зрелом возрасте. Но, пожалуй, самые крупные пробелы касаются следующего: каковы будут вероятные последствия (на популяционном уровне) таких намечающихся угроз, как замусоривание моря (особенно пластиком), эксплуатация прибрежных и шельфовых

объектов ветровой и приливной энергетики, глубоководная добыча полезных ископаемых и световое загрязнение, и каким образом станут проявляться соответствующие изменения в экосистемных услугах, в том числе сказывающиеся на продвижении к целям в области устойчивого развития.

6. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала

Основные остающиеся пробелы в потенциале связаны с вышеуказанными пробелами в знаниях. Ныне имеющиеся возможности и ресурсы не позволяют нам полноценно отслеживать популяционные тренды, выяснять морские ареалы птиц на разных стадиях их жизни и оценивать демографические характеристики и продуктив-

ность не только наиболее активно изучаемых, но и остальных видов. Эти пробелы сильно ограничивают нашу способность оценивать, каковы последствия действующих и намечающихся угроз на популяционном уровне и как они воздействуют на экосистемные услуги.

Справочная литература

- Abraham, Edward R., and others (2017). Assessment of the risk of southern hemisphere surface longline fisheries to ACAP Species. In ACAP – Eighth Meeting of the Seabird Bycatch Working Group. SBWG8-Doc-07. Wellington.
- Ainley, David, and others (2010). Antarctic penguin response to habitat change as Earth's troposphere reaches 2° C above preindustrial levels. *Ecological Monographs*, vol. 80, No. 1, pp. 49–66.
- Auman, Heidi J., and others (1997). Plastic ingestion by Laysan Albatross chicks on Sand Island, Midway Atoll, in 1994 and 1995. *Albatross Biology and Conservation*, vol. 239244.
- Beck, Jessie, and others (2015). Año Nuevo State Park Seabird Conservation and Habitat Restoration: Report 2015. Oikonos–Ecosystem Knowledge (2015).
- BirdLife International, and National Audubon Society (2015). *The Messengers: What Birds Tell Us about Threats from Climate Change and Solutions for Nature and People*. Cambridge: BirdLife International.
- Bried, Joël, and Verónica C. Neves (2015). Habitat restoration on Praia islet, Azores archipelago, proved successful for seabirds, but new threats have emerged. *Airo*, vol. 23, pp. 25–35.
- Brooke, de L.M. (2004). The food consumption of the world's seabirds. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, vol. 271, suppl. No. 4, pp. S246–S248.
- Brothers, Nigel P., and others (1999). *The Incidental Catch of Seabirds by Longline Fisheries: Worldwide Review and Technical Guidelines for Mitigation*. FAO Fisheries Circular, No. 937, pp. 1–100.
- Burdon, Daryl, and others (2017). The matrix revisited: a bird's-eye view of marine ecosystem service provision. *Marine Policy*, vol. 77, pp. 78–89.
- Busch, Malte, and Stefan Garthe (2018). Looking at the bigger picture: The importance of considering annual cycles in impact assessments illustrated in a migratory seabird species. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 75, No. 2, pp. 690–700.

- Busch, Malte, and others (2013). Consequences of a cumulative perspective on marine environmental impacts: offshore wind farming and seabirds at North Sea scale in context of the EU Marine Strategy Framework Directive. *Ocean & Coastal Management*, vol. 71, pp. 213–224.
- Butchart, Stuart H.M., and others (2007). Improvements to the Red List Index. *PloS One*, vol. 2, No. 1, e 140.
- Buxton, Rachel T., and others (2016). Deciding when to lend a helping hand: a decision-making framework for seabird island restoration. *Biodiversity and Conservation*, vol. 25, pp. 467–484.
- Carroll, Matthew, and others (2015). Effects of sea temperature and stratification changes on seabird breeding success. *Climate Research*, vol. 66, pp. 75–89.
- Chambers, Lynda E., and others (2011). Observed and predicted effects of climate on Australian seabirds. *Emu-Austral Ornithology*, vol. 111, pp. 235–251.
- Clay, Thomas A., and others (2019). A comprehensive large-scale assessment of fisheries by-catch risk to threatened seabird populations. *Journal of Applied Ecology*, vol. 56, pp. 1882–1893.
- Crawford, Robert J.M., and others (2015). A changing distribution of seabirds in South Africa: the possible impact of climate and its consequences. *Frontiers in Ecology and Evolution*, vol. 3, art. 10.
- Crawford, Rory, and others (2017). Tangled and drowned: a global review of penguin by-catch in fisheries. *Endangered Species Research*, vol. 34, pp. 373–396.
- Croxall, John P., and others (2005). Global circumnavigations: tracking year-round ranges of nonbreeding albatrosses. *Science*, vol. 307, No. 5707, pp. 249–250.
- Croxall, John P., and others (2012). Seabird conservation status, threats and priority actions: a global assessment. *Bird Conservation International*, vol. 22, No. 1, pp. 1–34.
- Currey, Rohan J.C., and others (2012). *A Risk Assessment of Threats to Maui's Dolphins*. New Zealand Ministry for Primary Industries and Department of Conservation.
- Dias, Maria P., and others (2011). Breaking the routine: individual Cory's shearwaters shift winter destinations between hemispheres and across ocean basins. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 278, No. 1713, pp. 1786–1793.
- Dias, Maria P., and others (2019). Threats to seabirds: a global assessment. *Biological Conservation*, vol. 237, pp. 525–537.
- Egevang, Carsten, and others (2010). Tracking of Arctic terns *Sterna paradisaea* reveals longest animal migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, No. 5, pp. 2078–2081.
- Garthe, Stefan, and Ommo Hüppop (2004). Scaling possible adverse effects of marine wind farms on seabirds: developing and applying a vulnerability index. *Journal of Applied Ecology*, vol. 41, No. 4, pp. 724–734.
- Graham, Nicholas A.J., and others (2018). Seabirds enhance coral reef productivity and functioning in the absence of invasive rats. *Nature*, vol. 559, pp. 250–253.
- Green, Rhys E., and others (2016). Lack of sound science in assessing wind farm impacts on seabirds. *Journal of Applied Ecology*, vol. 53, No. 6, pp. 1635–1641.
- Grémillet, David, and others (2018). Persisting worldwide seabird-fishery competition despite seabird community decline. *Current Biology*, vol. 28, No. 24, pp. 4009–4013.
- Grémillet, David, and Thierry Boulinier (2009). Spatial ecology and conservation of seabirds facing global climate change: a review. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 391, pp. 121–137.
- Hilborn, Ray, and others (2017). When does fishing forage species affect their predators? *Fisheries Research*, vol. 191, pp. 211–221.
- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) (2019). Threats Classification Scheme (version 2019-3). *The IUCN Red List of Threatened Species*. www.iucnredlist.org/en.
- Jambeck, Jenna R., and others (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, vol. 347, No. 6223, pp. 768–771.

- Jenouvrier, Stéphanie, and others (2018). Climate change and functional traits affect population dynamics of a long-lived seabird. *Journal of Animal Ecology*, vol. 87, pp. 906–920.
- Jones, Holly P., and others (2016). Invasive mammal eradication on islands results in substantial conservation gains. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, pp. 4033–4038.
- Kühn, Susanne, and others (2015). Deleterious effects of litter on marine life. In *Marine Anthropogenic Litter*. Cham, Switzerland: Springer, pp. 75–116.
- Lavers, Jennifer L., and others (2014). Plastic ingestion by Flesh-footed Shearwaters (*Puffinus carneipes*): implications for fledgling body condition and the accumulation of plastic-derived chemicals. *Environmental Pollution*, vol. 187, pp. 124–129.
- Mitchell, Ian, and others (2020). Impacts of climate change on seabirds, relevant to the coastal and marine environment around the United Kingdom. *MCCIP Science Review 2020*, pp. 382–399. <https://doi.org/10.14465/2020.arc17.sbi>.
- Montevecchi, William A. (2006). Influences of Artificial Light on Marine Birds. In *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, pp. 94–113.
- Phillips, Richard A., and others (2016). The conservation status and priorities for albatrosses and large petrels. *Biological Conservation*, vol. 201, pp. 169–183.
- Redfern, J.V., and others (2013). Assessing the risk of ships striking large whales in marine spatial planning. *Conservation Biology*, vol. 27, No. 2, pp. 292–302.
- Renner, Martin, and others (2018). The risk of rodent introductions from shipwrecks to seabirds on Aleutian and Bering Sea islands. *Biological Invasions*, vol. 20, No. 9, pp. 2679–2690.
- Rodríguez, Airam, and others (2015). GPS tracking for mapping seabird mortality induced by light pollution. *Scientific Reports*, vol. 5, art. 10670. <https://doi.org/10.1038/srep10670>.
- Rodríguez, Airam, and others (2017). Seabird mortality induced by land-based artificial lights. *Conservation Biology*, vol. 31, No. 5, pp. 986–1001.
- Rodríguez, Airam, and others (2019). Future directions in conservation research on petrels and shearwaters. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 94.
- Roman, Lauren, and others (2019). Ecological drivers of marine debris ingestion in Procellariiform Seabirds. *Scientific Reports*, vol. 9, art. 916.
- Roser, Max (2013). Our World in Data. Oil Spills. <https://ourworldindata.org/oil-spills>.
- Ryan, Peter G., and others (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 364, No. 1526, pp. 1999–2012.
- Sansom, Alex, and others (2018). Comparing marine distribution maps for seabirds during the breeding season derived from different survey and analysis methods. *PloS one*, vol. 13, No. 8, e0201797.
- Shaffer, Scott A., and others (2006). Migratory shearwaters integrate oceanic resources across the Pacific Ocean in an endless summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 103, No. 34, pp. 12799–12802.
- St. John, Michael A., and others (2016). A dark hole in our understanding of marine ecosystems and their services: perspectives from the Mesopelagic community. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 31.
- Tavares, Davi Castro, and others (2019). Traits shared by marine megafauna and their relationships with ecosystem functions and services. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 262.
- Trathan, Phil N., and others (2015). Pollution, habitat loss, fishing, and climate change as critical threats to penguins. *Conservation Biology*, vol. 29, No. 1, pp. 31–41.
- Tuck, Geoffrey N., and others (2011). An assessment of seabird: fishery interactions in the Atlantic Ocean. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 68, No. 8, pp. 1628–1637.

- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- United Nations Conference on Trade and Development (2018) = Конференция Организации Объединенных Наций по торговле и развитию (2018). *Обзор морского транспорта*. Издание Организации Объединенных Наций.
- Watanuki, Yutaka, and Jean-Baptiste Thiebot (2018). Factors affecting the importance of myctophids in the diet of the world's seabirds. *Marine Biology*, vol. 165, No. 4, art. 79.
- Wenny, Daniel G., and others (2011). The Need to Quantify Ecosystem Services Provided by Birds. *The Auk*, vol. 128, No. 1, pp. 1–14.
- Wilcox, Chris, and others (2015). Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive, and increasing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 112, No. 38, pp. 11899–11904.
- Winship, Arliss J., and others (2018). *Modeling At-Sea Density of Marine Birds to Support Atlantic Marine Renewable Energy Planning: Final Report*. OCS Study BOEM 2018-010. Sterling, Virginia: United States Department of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management, Office of Renewable Energy Programs.
- Zhang, Jingjing, and others (2019). GPS telemetry for small seabirds: using hidden Markov models to infer foraging behaviour of common diving petrels (*Pelecanoides urinatrix urinatrix*). *Emu – Austral Ornithology*, vol. 119, No. 2, pp. 126–137.

Глава 6G

Морские растения и макроводоросли

Участники: Наир С. Ёкоя, Ильконида Калумпонг и Хью Керкман (совместные координаторы), а также Нахид Абдель Рахим Осман, Франсиана Пеллиццари, Элизабет Синклэр, Джейсон М. Холл-Спенсер и Пак Чхуль (ведущий участник, ответственный за главу).

Ключевые тезисы

- Около 90 процентов видового состава мангров, морских трав и маршевых растений оценены как рискующие исчезнуть; 19 процентов мангров, 21 процент видов морских трав и 1 вид маршевых растений внесены в Красный список видов, находящихся под угрозой исчезновения, который ведется Международным союзом охраны природы (МСОП).
- Что касается макроводорослей, то 1 вид красных водорослей из Австралии (*Vanvoorstia bennettiana*) отнесен к категории «Исчезнувшие», 10 видов (6 видов красных водорослей и 4 вида бурых) — к категории «Находящиеся в критической опасности», 1 вид бурых водорослей — к категории «Находящиеся в опасности» и 4 вида (3 вида красных водорослей и 1 вид бурых) — к категории «Уязвимые». Количество макроводорослевых видов, оцененных и внесенных в Красный список МСОП, составляет менее 1 процента от общего количества видов, включенных в Информационную систему по океаническому биоразнообразию. Все угрожаемые виды, которых насчитывается 15, эндемичны для островов Галапагос, а из средиземноморских видов 47 оценены как рискующие исчезнуть. Налицо пробел в знаниях относительно макроводорослей.
- Что касается эндемизма макроводорослей, то на первом месте находится Антарктика (27 процентов эндемиков), за которой следуют Южная Америка (22 процента) и крупная морская экосистема «Красное море» (9 процентов).
- Для идентификации видов и выяснения филогенетических отношений разработаны новые методы, например из сферы геномики. Ожидаемым результатом этого является увеличение количества видов, особенно макроводорослевых, однако из-за региональной неравномерности кадровых и инфраструктурных возможностей некоторые регионы окажутся изученными менее других.

1. Введение

В настоящей главе рассматриваются таксономия, статус сохранности и популяционные тренды морских растений, причем особое внимание уделяется манграм, растительности соленых маршей, морским травам и макроводорослям (или просто «водорослям»), которые включают красные, зеленые и бурые макроводоросли. Мангровым зарослям, соленым маршам и лугам морских трав были отдельно посвящены главы 48, 49 и, соответственно, 47

первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017), а в настоящей «Оценке» им посвящены главы 7H, 7I и, соответственно, 7G, однако там они рассматриваются в экосистемном масштабе, а не на видовом уровне. Макроводоросли тоже разбирались в первой «Оценке», но в качестве источника пищи (в гл. 14) и в качестве экосистемы (в гл. 47 и 50, посвященных водорослевым лесам и, соответственно, Саргассовому морю).

2. Мангры

Мангровые заросли состоят из кустарников и деревьев, которые повсеместно растут в прибрежном поясе тропических и субтропических зон. У них развились характерные особенности, позволяющие им выживать в солоноватых и мелководных морских ареалах, как то: а) короткие боковые отростки корней под названием «пневматофоры», которые растут вверх из илистых и аноксичных (бескислородных) субстратов

и позволяют поглощать кислород из воздуха; б) разветвленная система стеблей, именуемая «воздушными (или ходульными) корнями», и опорные корни, помогающие лучше закрепиться в мягких субстратах и переносить сильные ветры или волны; в) суккулентные листья с тканями для внутреннего запаса воды; г) поддерживающие осмотический баланс механизмы для выведения или непропускания солей, например соле-

выводящие железы в листьях некоторых видов; е) вивипария (живорождение), при которой семя превращается в проросток (сеянец), оставаясь при этом прикрепленным к материнскому растению, образует грубый продолговатый корень, падает в какой-то момент непосредственно в субстрат и там укореняется. Нетронутые леса отмечаются четкой зональностью, и в каждой зоне преобладают характерные для нее виды.

2.1. Таксономическая трактовка

В общемировой базе данных о манграх (Dahdouh-Guebas, 2020) перечислено 65 «валидных», или корректных, названий мангровых таксонов из 14 семейств, считая пять гибридов и не считая трех видов мангровых папоротников *Acrostichum* и двух видов мангрового бобового растения *Synometra*. За последнее десятилетие новых мангровых видов не описано, однако с использованием молекулярных методов идентифицированы новые гибриды, в результате чего их нынешнее количество достигло восьми (Ragavan and others, 2017; Ono and others, 2016). По сравнению с другими группами растений, такими как папоротники или травы, количество видов нельзя считать большим, но при этом мангровые таксоны присутствуют в широкой выборке из 16 семейств цветковых растений, а три вида принадлежат к семейству папоротников. Из 16 семейств только 2 (*Pellicieraceae* и *Rhizophoraceae*) содержат исключительно морские виды.

2.2. Текущее состояние и тенденции

В главе 48 первой «Оценки» сообщалось, что в зависимости от строгости критериев, используемых для определения того, какие виды являются «истинно» мангровыми, количество таких видов (включая гибриды) варьируется от 70 до 73. Также было подчеркнуто, что в результате таксономических исследований меняются видовые группировки. Например, род *Sonneratia*, который раньше принадлежал к семейству *Sonneratiaceae*, теперь классифицируется как часть семейства *Lythraceae* (Little and others, 2004), а сами *Sonneratiaceae* низведены до уровня подсемейства.

С 1998 по 2018 год МСОП оценил риск исчезновения для 64 видов. По состоянию на 19 ноября 2019 года 3 вида (*Sonneratia griffithii* (Duke and others, 2010a), *Bruguiera hainesii*¹ (Duke and others, 2010b) и *Sonneratia hainanensis* (World Conservation Monitoring Centre, 1998) сочтены «находящимися в критической опасности»; 3 вида, принадлежащих к семейству *Malvaceae* (*Camptostemon philippinensis* (Duke and others, 2010c), *Heritiera fomes* (Kathiresan and others, 2010) и *H. globosa* (Sukardjo, 2010), – «находящимися в опасности»; 5 видов (*Aegialitis rotundifolia* (Ellison and others, 2010a), *Aegiceras floridum* (Ellison and others, 2010b), *Ceriops decandra* (Duke and others, 2010d), *Sonneratia ovata* (Salmo and others, 2010) и *Rhizophora samoensis* (Ellison and Duke, 2010) – «близкими к угрожаемому»; 5 видов (*Avicennia lanata* (Chua, 1998), *A. integra* (Duke, 2010a), *A. rumphiana* (Duke and others, 2010e), *A. bicolor* (Duke, 2010b) и *Pelliciera rhizophorae* (Ellison and others, 2010c) – «уязвимыми»; 47 – «вызывающими наименьшую озабоченность». Ярлык «Недостаточно данных» был присвоен только одному виду – *Excoecaria indica* (Ellison and others, 2010d).

На рисунке I показано распределение этих видов по морским регионам, установленным МСОП. В Северной Атлантике мангры не встречаются. Все виды, глобально относимые к «находящимся в критической опасности», встречаются в восточной части Индийского океана и в северо- и центрально-восточной частях Тихого океана, а глобально относимые к «находящимся в опасности» – в восточной части Индийского океана и центрально-западной части Тихого океана. Виды, считающиеся «близкими к угрожаемому», встречаются в восточной части Индийского океана и центрально-западной части Тихого океана. Основными угрозами являются жилищная и коммерческая застройка, аквакультура и сельское хозяйство, использование биологических ресурсов (например, вырубка для заготовки строительных материалов или дров), изменение климата, вызывающее смещение местообитаний и перемены в них, загрязнение, добыча пещка и вытеснение инвазивными видами.

¹ В 2016 году Оно и др. (Ono and others, 2016) по молекулярным маркерам идентифицировали этот вид как гибрид *Bruguiera cylindrica* и *B. gymnorhiza*.

При этом некоторые виды, отнесенные к «вызывающим наименьшую озабоченность», могут сталкиваться с различными угрозами в региональном масштабе. Например, в крупной морской экосистеме «Красное море» вид *Avicennia marina* находится в особенно угрожающем состоянии (Sherman and Hempel, 2008), так как сильно выедается животными и заготавливается на животноводческий корм, будучи съедобен, в частности, для верблюдов, коз и крупного рогатого скота (Nawata, 2013) благодаря пониженному содержанию растворенных танинов. Товары и услуги, предлагаемые мангровыми экосистемами, и происходящие в этих системах изменения детально изложены в главе 48 первой «Оценки».

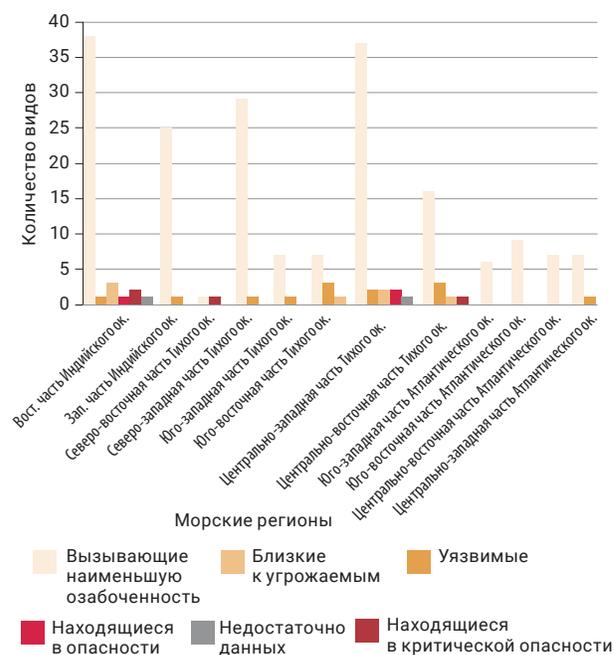
На глобальное распространение, разнообразие и численность мангров влияет изменение климата, например перемены в температуре и режиме осадков (Donato and others, 2011; Ward and others, 2016; Friess and Webb, 2013). Ожидается, что более теплые зимы и подъем уровня моря создадут условия для экспансии к полюсам в ущерб соленым маршам. Вместе с тем экспансии вблизи определенных краев ареала могут препятствовать факторы, сдерживающие расселение мангровых видов и доступность местообитаний для них. Ожидается, что вдоль засушливых и

3. Растения соленых маршей

Растения соленых маршей составляют основную растительность в приливно-отливных зонах и во внутренних засоленных ареалах умеренного пояса. Речь идет о пышных и высокопродуктивных «затопляемых лугах» (соленых маршах) с четко выраженной зональностью, которая обусловлена сильными физическими градиентами, например концентрацией соли свыше 500 миллимоляров (Yuan and others, 2019). Они обладают высокой способностью фильтровать питательные вещества, что повышает качество воды в близлежащих прибрежных системах, подвергающихся воздействию городских, аквакультурных и сельскохозяйственных стоков, и накапливать углерод. Они защищают прибрежные сообщества от штормов и береговой абразии и повышают благополучие людей, выступая в качестве критически значимых мест нагула для рыб и других морских организмов, добываемых

полузасушливых побережий уменьшение количества осадков будет приводить к сокращению мангровых площадей, а его увеличение — к их расширению.

Рисунок 1
Распределение мангровых видов по категориям и морским регионам, установленным МСОП



для продовольственных нужд. Важнейшие экосистемные товары и услуги, предлагаемые солеными маршами, приносят пользу миллионам людей и оцениваются в 10 000 долл. США на 1 га в год (Barbier and others, 2011; Hopkinson and others, 2012; Möller and others, 2014).

В отличие от мангров, где преобладают деревья, растительность соленых маршей обычно представлена травами или кустарником. Как и мангры, они развились и адаптировались в обстановке, характеризующейся сильной соленостью, затоплениями и обезвоживанием, а также аноксией.

3.1. Таксономическая трактовка

В глобальном масштабе видовое богатство растений в маршах поразительно велико: известно более 500 видов маршевых растений. При этом большинство из них встречается в

пресноводных озерах и реках, простирающихся до солоноватой водной среды и занимающих во всем мире примерно 45 000 км² (Greenberg and others, 2006). Солевыносливые виды, обитающие в соленых маршах, принадлежат к трем основным семействам: Chenopodiaceae (два вида хеноподов: *Salicornia veneta* и *S. rubra*), Poaceae (три вида травы *Spartina* (*S. alterniflora*, *S. gracilis* и *S. maritima*) и множество видов из рода *Phragmites*) и Juncaceae (многочисленные виды). Что же касается видов, обитающих исключительно в прибрежной зоне, то их известно всего два: хенопод *Salicornia veneta* и трава *Spartina alterniflora*. Остальные населяют пресноводные озера, реки и болота, и их ареалы простираются до «искусственных» солоноватых и морских местообитаний, таких как аквакультурные пруды и каналы. *Salicornia* и *Spartina* встречаются по всей умеренной зоне Северной Америки, причем ареал *Salicornia* простирается до Мексики. *Salicornia* встречается также кое-где в Европе и на севере Азии.

3.2. Текущее состояние и тенденции

Во всем мире до половины прибрежных водно-болотных угодий утрачено из-за ведения сельского

хозяйства или аквакультуры и иных антропогенных изменений в землепользовании (Pendleton and others, 2012). Такие антропогенные явления, как изменение климата, ухудшение качества воды и изменения в скорости поступления наносов, продолжают влиять на оставшиеся в мире водно-болотные угодья, к которым относятся соленые марши (Kirwan and Megonigal, 2013).

Единственным угрожаемым видом, занесенным в Красный список МСОП, является *Salicornia veneta* (Foggi and others, 2011): он попал в категорию «Уязвимые». Он встречается на итальянском побережье Адриатического моря и занимает площадь менее 500 км². Такие размеры не являются для ареала распространения необычными, однако сообщается, что видовая популяция сокращается в результате прибрежной застройки, жизнедеятельности населенных пунктов и туризма. Указанный вид находится под защитой национального законодательства, причем один из участков объявлен охраняемой территорией. Вид *Spartina alterniflora* отнесен к категории «Вызывающие наименьшую озабоченность» (Maiz-Tome, 2016).

4. Морские травы

Морские травы — это морские цветковые растения, населяющие литоральную и сублиторальную морскую среду. Им требуется обилие света, и обычно их много на мелководье, где они являются продуктивными компонентами прибрежной среды, обеспечивая пищей и укрытием многие экономически значимые виды (Heck and Orth, 1980).

Морские травы — одни из старейших растений на Земле; их ископаемые остатки считаются восходящими к плиоцену (Tuva and others, 2017). Проявлениями их адаптации для выживания в своей конкретной нише (Parembrock, 2012) являются: в основном тонкие, сплюснутые, продолговатые или ремневидные листья, которые обеспечивают гибкость в водах с сильными волнами и течениями и газовую диффузию (у морских трав нет устьиц); обширная система корней и корневищ, позволяющих им закрепляться на илистых и песчаных субстратах (так, виды умеренной зоны из рода *Phyllospadix* имеют крючки, с помощью

которых они цепляются за камни); способность выживать при высокой и зачастую изменчивой солености; пыльца в студенистых трубках или плавающих пакетах для опыления под водой или на поверхности воды; у некоторых видов — вивипария или криптовивипария, позволяющая им конкурировать с другими видами (Green and Short, 2003).

Распространение морских трав отчасти зависит от распространения плодов, семян, проростков и семян океанскими течениями. С помощью сочетания методов популяционной генетики и прогнозов распространения на основе гидродинамической модели было предсказано, что 60 процентов плодов *Posidonia australis* распространились в радиусе 20 км (Sinclair and others, 2018). Это исследование дало представление о роли физического переноса в распространении плодов на большие расстояния и о его последствиях для пространственно-генетической структуры лугов морских трав.

4.1. Таксономическая трактовка

Морские травы — это цветковые растения, принадлежащие к классу Liliopsida. По состоянию на 2011 год признано 72 вида, относящихся к 6 семействам и 15 родам (Short and others, 2011). Они распространены по всему миру, кроме Антарктики. К настоящему времени как минимум два вида описаны по молекулярным признакам: *Thalassodendron johnsonii*, ставший новым видом (Duarte and others, 2012), и (*Halophila major*), выделенный из комплекса *Halophila ovalis* (Nguyen and others, 2014). Кроме того, с применением методов штрихкодирования идентифицированы субпопуляции (Nguyen and others, 2015).

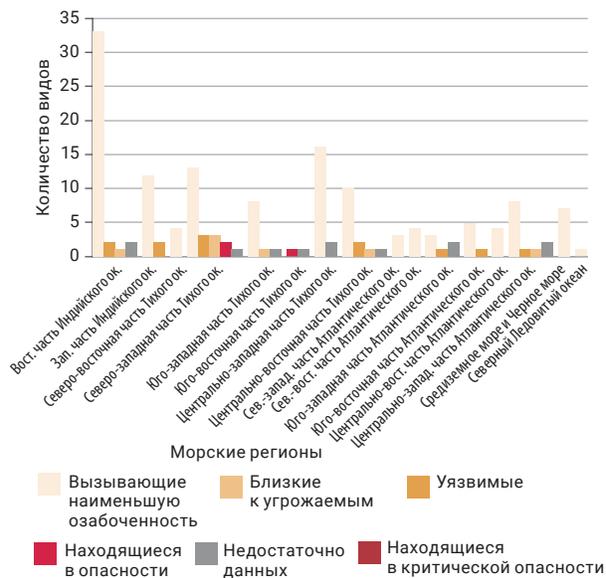
4.2. Текущее состояние и тенденции

В главе 47 первой «Оценки» сообщалось, что по состоянию на 2011 год 31 процент от общемирового количества видов (т. е. 22 из 72 видов) отмечался упадком популяций, у 5 процентов проявлялись тенденции к увеличению популяций, а состояние 22 процентов было невыясненным. Там же отмечалось, что с 1980 года морские травы исчезали со скоростью 110 км² в год и что с 1879 года, когда были впервые зарегистрированы ареалы таких трав, известная площадь этих ареалов сократилась на 29 процентов, причем выросли среднегодовые темпы этого упадка: если за период до 1940 года они составляли 0,9 процента, то с 1990 года они равняются 7 процентам.

В глобальном масштабе с 2011 года не проводилось никаких дальнейших оценок риска исчезновения видов. Из 72 видов 3 вида, принадлежащие к семейству Zosteraceae (*Phyllospadix japonicus*, *Zostera chilensis* и *Z. geojeensis*), остаются в установленной МСОП категории «Находящиеся в опасности» и характеризуются сокращением популяций (Short and Waycott, 2010a, b, c). *P. japonicus* и *Z. geojeensis* встречаются на северо-западе, а *Z. chilensis* — на юго-востоке Тихого океана (рисунок II).

Пять видов отнесены к категории «Близкие к угрожаемому» и характеризуются сокращением популяций (Short and Waycott, 2010d, e, f). При этом *Posidonia australis* (Short and others, 2010a) встречается как в восточной части Индийского океана, так и в юго-западной части Тихого океана, а *Zostera asiatica* (Short and Waycott,

Рисунок II
Распределение видов морских трав по категориям и морским регионам, установленным МСОП



2010d) — в северо-западной и центрально-восточной частях Тихого океана. Каждый из остальных видов встречается только в одном морском регионе: *Halophila engelmanni* (Short and others, 2010b) — в центрально-западной части Атлантического океана, а *H. nipponica* (Short and others, 2010c) и *Zostera caulescens* (Short and Waycott, 2010e) — в северо-западной части Тихого океана (рисунок II).

Семь видов отнесены к категории «Уязвимые» и характеризуются сокращением популяций. Они принадлежат к трем семействам: Posidoniaceae (*Posidonia sinuosa* (Short and others, 2010d), Hydrocharitaceae (*Halophila baillonii* (Short and others, 2010e), *H. beccarii* (Short and others, 2010f) и *H. hawaiiiana* (Short and others, 2010g) и Zosteraceae (*Phyllospadix iwatensis*, *Zostera caespitosa* (Short and Waycott, 2010f, g) и *Z. capensis* (Short and others, 2010h). Если *H. beccarii* и *Z. capensis* встречаются в двух морских регионах каждый (первый вид — в Индийском и Тихом океанах; второй — в Индийском и Атлантическом), то остальные ограничены в своем распространении: *Posidonia sinuosa* встречается только в восточной части Индийского океана; *Zostera caespitosa* — в северо-восточной, *Halophila hawaiiiana* — в центральной и *Phyllospadix iwatensis* — в северо-восточной частях Тихого океана; *Halophila baillonii* — в юго- и центрально-западной частях Атлантического океана.

Как указано в Красном списке, основными угрозами для морских трав являются жилищная и коммерческая застройка, перемены в естественной системе, вызывающие утрату местообитаний, сельское хозяйство и аквакультура, загрязнение, производство энергии, транспортные и сервисные коридоры, появление инвазивных видов и болезней, а также наступление климатических изменений и суровых погодных явлений, вызывающих видоизменение и смещение местообитаний. Эндемичная для Средиземного моря *Posidonia oceanica* является примером вида, на котором негативно отразились эти угрозы. В Южной Атлантике наблюдалась направленная к полюсу экспансия тропических видов, включая *Halophila decipiens* (Gorman and others, 2016) и *Halodule wrightii* (Ferreira and others, 2015).

Девять видов, присутствующих в Красном списке МСОП по причине их отнесения к категории «Недостаточно данных» (Short and Waycott, 2010n, o, p, q, r, s, t, u, v), до сих пор не изучены. Из них два вида принадлежат к семейству Zannichelliaceae: *Lepilaena australis* встречается в восточной части Индийского океана и в юго- и центрально-западных частях Тихого океана; *L. marina* — только в восточной части Индийского океана (Short, 2010a, b). Четыре вида принадлежат к семейству Cymodoceaceae: *Halodule beaudettei* (Short and others, 2010i) и *H. emarginata* (Short and others, 2010j) встречаются в восточной части Индийского океана; *H. bermudensis* (Coates and others, 2010) — в юго- и центрально-западных частях Атлантического океана и восточной части Индийского океана; *H. ciliata* (Short, 2010c) — в центрально-восточной части Тихого океана. Два вида принадлежат к

семейству Hydrocharitaceae: *Halophila euphlebia* (Short and others, 2010k) встречается в северо-западной части Тихого океана; *H. sulawesii* (Short, 2010d) — в центрально-западной его части. Один вид (*Ruppia filifolia*) принадлежит к семейству Ruppiales и встречается в юго-восточной части Тихого океана и юго-западной части Атлантического океана (рисунок II).

Некоторые виды могут сталкиваться с различными угрозами регионального масштаба. Например, *Enhalus acoroides* имеет очень ограниченное распространение в крупной морской экосистеме «Красное море» (El Shaffai, 2016) и может быть подвержен выеданию животными, тем более что в этом ареале обитает значительная популяция дюгоной (Shawky, 2019; Nasr and others, 2019). Дюгоны выедают траву выборочно, изменяя не только структуру сообщества и популяции, но и видовой состав зарослей морских трав. Появление на атлантическом побережье Канады европейского зеленого краба (*Carcinus maenas*), который является инвазивным и некоренным для этого региона, негативно сказывается на взморнике (Matheson and others, 2016).

Имеются сообщения об общем сокращении или увеличении зарослей морских трав в некоторых ареалах их распространения, например о сокращении площадей *Zostera marina* в Новой Шотландии и в заливе Святого Лаврентия и об их увеличении в Ньюфаундленде (Канада) (Bernier and others, 2018). По сообщениям, из восточного Средиземноморья на запад распространяется некоренной вид *Halophila stipulacea* (Sghaier and others, 2011), а недавно в одной из точек Эгейского моря была зарегистрирована *H. decipiens* (Gerakaris and others, 2020).

5. Макроводоросли

Под термином «макроводоросли» (или просто «водоросли») понимаются нецветковые растениеподобные организмы, которые растут прикрепленными к субстрату прибрежных акваторий, за исключением некоторых видов *Sargassum*, которые растут в плавучем состоянии, главным образом в Саргассовом море (см. гл. 7Q). Они выработали множество адаптационных свойств, позволивших им колонизировать самые разные местообитания: от полярных до экваториальных

областей и от мелководных районов до самых больших глубин, вплоть до пределов эвфотической зоны. К числу этих свойств относятся разнообразная пигментация для улавливания света, различные морфологии и модели жизненного цикла для усиления выживаемости, а также выработка соединений, которые отпугивают травоядных животных во избежание выедания. Наличие этих свойств используется для групповой и видовой идентификации и категоризации.

Местообитания морских водорослей, такие как ламинариевые и иные водорослевые заросли, являются самыми обширными и продуктивными из прибрежных местообитаний, покрытых растительностью. Они повсеместно встречаются в таких прибрежных средах, как скалистые берега и биогенные рифы, занимают по общей площади примерно 3,4 млн км², поддерживают глобальную чистую первичную продукцию в объеме около 173 тераграммов углерода в год (Krause-Jensen and Duarte, 2016), а также являются объектом добычи и разведения для продовольственных и других нужд (подробнее см. гл. 17). Их нередко используют как индикаторы качества воды и здоровья рифов. Например, зеленые водоросли из рода *Ulva* используются в качестве индикаторов загрязнения тяжелыми металлами и эвтрофикации (Alp and others, 2012).

Группа красных водорослей, у которых в клеточной стенке содержится карбонат кальция (за сходство с жесткими кораллами их называют кораллинами), способна покрыть больше сублиторального скалистого субстрата, чем любая другая группа макроорганизмов в фотической зоне, от приливно-отливных местообитаний до глубины 270 м. Из всех зафиксированных макроводорослей эта группа наиболее глубоководная. Большинство из этих сильно обызвествленных красных водорослей вкрапляются в скалистые или иные субстраты, но некоторые виды растут в неприкрепленном состоянии, образуя значимые комплексные местообитания — «пласты маэрля» или «родолитовые пласты», которые формируются тысячами лет (Riosmena-Rodríguez, 2017). Эти свободноживущие кораллиновые водоросли покрывают обширные прибрежные участки морского дна и часто встречаются в ископаемых морских карбонатных отложениях. Наибольшее непрерывное широтное распространение родолитовых пластов отмечается у берегов Бразилии, где оно способствует формированию мезофотических рифов на обширных участках континентального шельфа, на вершинах подводных гор, а также вокруг океанских островов и атоллов (Amado-Filho and others, 2017). Свободноживущие талломы кораллиновых водорослей растут медленно (по несколько миллиметров в год) и могут становиться долгожителями (>100 лет). Они служат трехмерным обызвествленным местообитанием, привлекающим новых особей

в бентос и предоставляющим убежище для моллюски коммерчески значимых моллюсков и ракообразных.

5.1. Таксономическая трактовка

В настоящее время макроводоросли квалифицируются как протисты (царство Protista). Однако недавние филогенетические исследования с использованием пластид позволяют предположить, что красные и зеленые водоросли имеют общего предка из царства Plantae, а бурые водоросли — из царства Chromista (Delwiche, 2007). Макроводоросли представляют собой разномастную группу, подразделяемую на три основных отдела по признаку доминирующей пигментации: красные водоросли (Rhodophyta); бурые водоросли, которые раньше относились к отделу Phaeophyta, а недавно были выделены в самостоятельный класс в отделе Ochrophyta; зеленые водоросли (Chlorophyta). Они содержат хлорофилл и осуществляют фотосинтез. Многие из них являются по своему облику «растениеподобными», но имеют простое тело, именуемое талломом, и не обладают водопроводящей системой, наблюдаемой у сухопутных растений. В отличие от морских трав они не цветут.

По состоянию на 2012 год в списке у Гайри (Guiry, 2012) насчитывался 12 471 вид водорослей, относящихся к этим трем отделам; из них 6131 вид относился к красным водорослям, 1792 — к бурым и 4548 — к зеленым. При этом количество не описанных пока видов (включая макроводоросли и микроводоросли, обитающие в неморских средах) оценивается в примерно в 27 000. В Информационной системе по биоразнообразию океана (Ocean Biodiversity Information System (OBIS), 2020; см. также таблицу ниже), куда заносятся только морские виды, насчитывается 3065 видов красных водорослей (Rhodophyta), 879 видов бурых водорослей (Phaeophyceae) и 844 вида зеленых водорослей (Chlorophyta). Для низших таксонов (т. е. подвидов или таксонов невыясненного ранга) эти цифры выше: 3406, 1070 и, соответственно, 1164 (см. также таблицу ниже). У зеленых водорослей количество видов (в том числе учтенных в соответствующих записях) ниже, чем у красных и бурых водорослей, поскольку большинство зеленых водорослей встречается в пресноводных средах.

Записи по красным (Rhodophyta), бурым (Phaeophyceae) и зеленым (Chlorophyta) водорослям в Информационной системе по биоразнообразию океана

Данные	Rhodophyta	Phaeophyceae	Chlorophyta
Записи о встречаемости	614 096	568 806	392 594
Повидовые записи	449 392	477 331	209 396
Виды	3 065	879	844
Низшие таксоны	3 406	1 070	1 164
Наборы данных	266	234	371
Временной диапазон	1865–2019 годы	1869–2019 годы	1778–2019 годы

Источник: OBIS, 2020.

5.2. Текущее состояние и тенденции

5.2.1. Красные водоросли (Rhodophyta)

У красных водорослей насчитывается больше видов, чем у бурых и зеленых водорослей (см. таблицу выше). Они распространены главным образом в морских акваториях от тропических до умеренных (рисунок III.A), и лишь немногие их виды присутствуют в пресноводных экосистемах. Они встречаются в акваториях, где температура морской поверхности составляет от 5 до 30 °С, соленость — от 5 до 35 единиц практической солености (ЕПС), а глубина — в основном от 0 до 20 м (рисунок III.B), хотя зафиксировано присутствие некоторых родолитов и на гораздо больших глубинах.

5.2.2. Бурые водоросли (Phaeophyceae)

Бурые водоросли, у которых видов насчитывается меньше всего (см. таблицу выше), являются чисто морскими и имеют широкое распространение, главным образом в холодных и умеренных водах Тихого, Атлантического и Индийского

океанов, а также в Южном океане (рисунок IV.A). Они растут обычно в акваториях с температурой морской поверхности от 5 до 30 °С (притом что они способны переносить и низкие температуры, от –5 до 5 °С) и соленостью от 5 до 35 ЕПС и встречаются в основном на глубинах от 0 до 20 м (рисунок IV.B).

5.2.3. Зеленые водоросли (Chlorophyta)

По количеству видов зеленые водоросли занимают промежуточное место между красными и бурыми водорослями (см. таблицу выше). Они имеют широкое распространение, но главным образом в Северном полушарии (рисунок V.A). Они растут в разных средах — от суши до океанов и морей с температурой морской поверхности от 5 до 30 °С (притом что они способны переносить и низкие температуры, от –5 до 5 °С) и соленостью от 0 до 35 ЕПС — и встречаются в основном на глубинах от 0 до 20 м (рисунок V.B).

Рисунок III.A

Глобальное распространение красных водорослей (Rhodophyta)

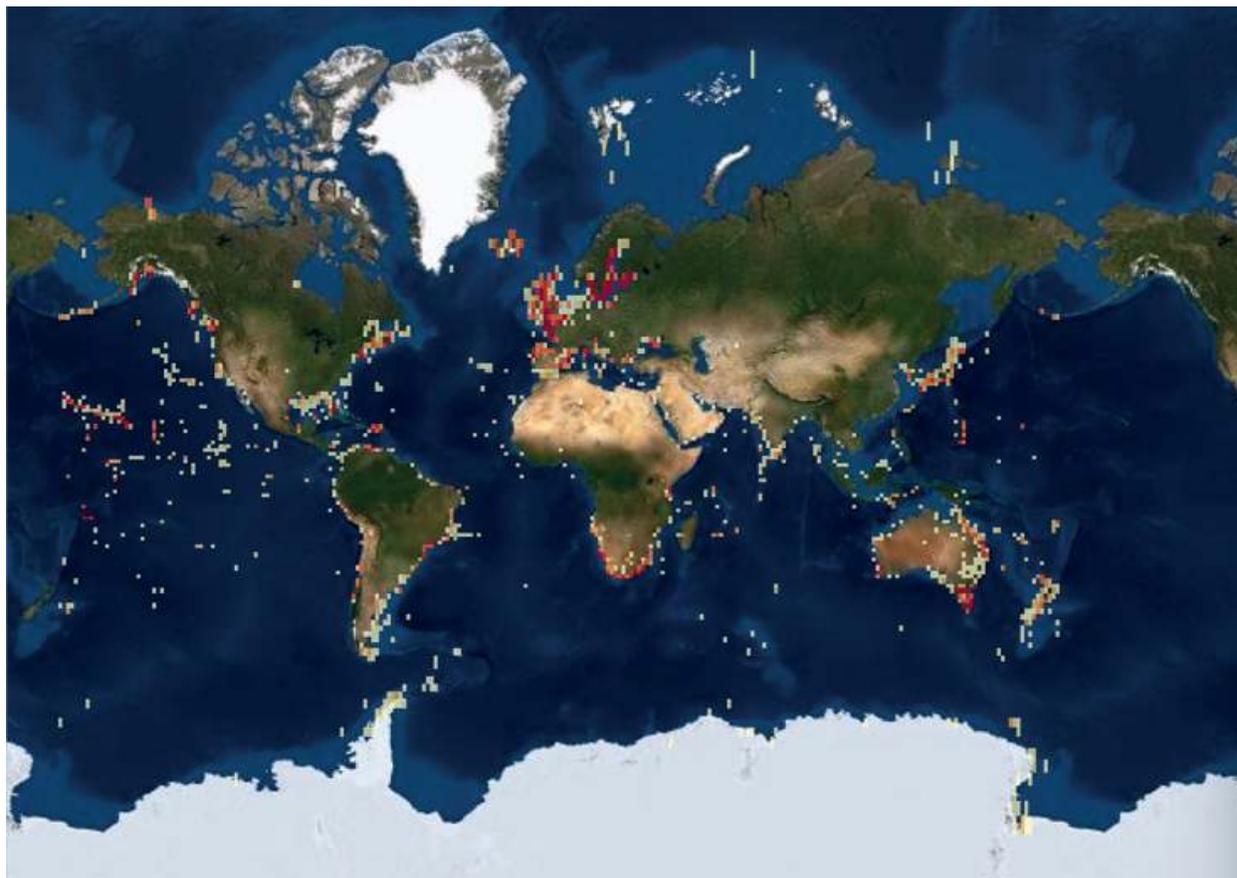
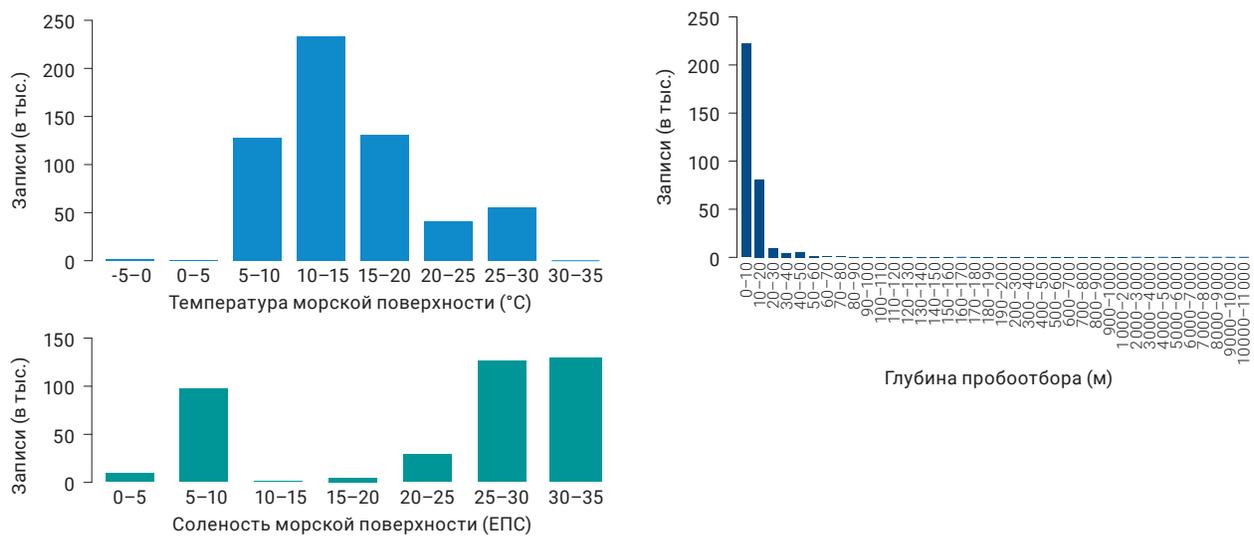


Рисунок III.B

Окружающие условия (температура, соленость морской поверхности и глубина), при которых красные водоросли встречаются в мире



Источник: OBIS (2020), <https://mapper.obis.org/?taxonid=852>.

Рисунок IV.A

Глобальное распространение бурых водорослей (Phaeorhysae)

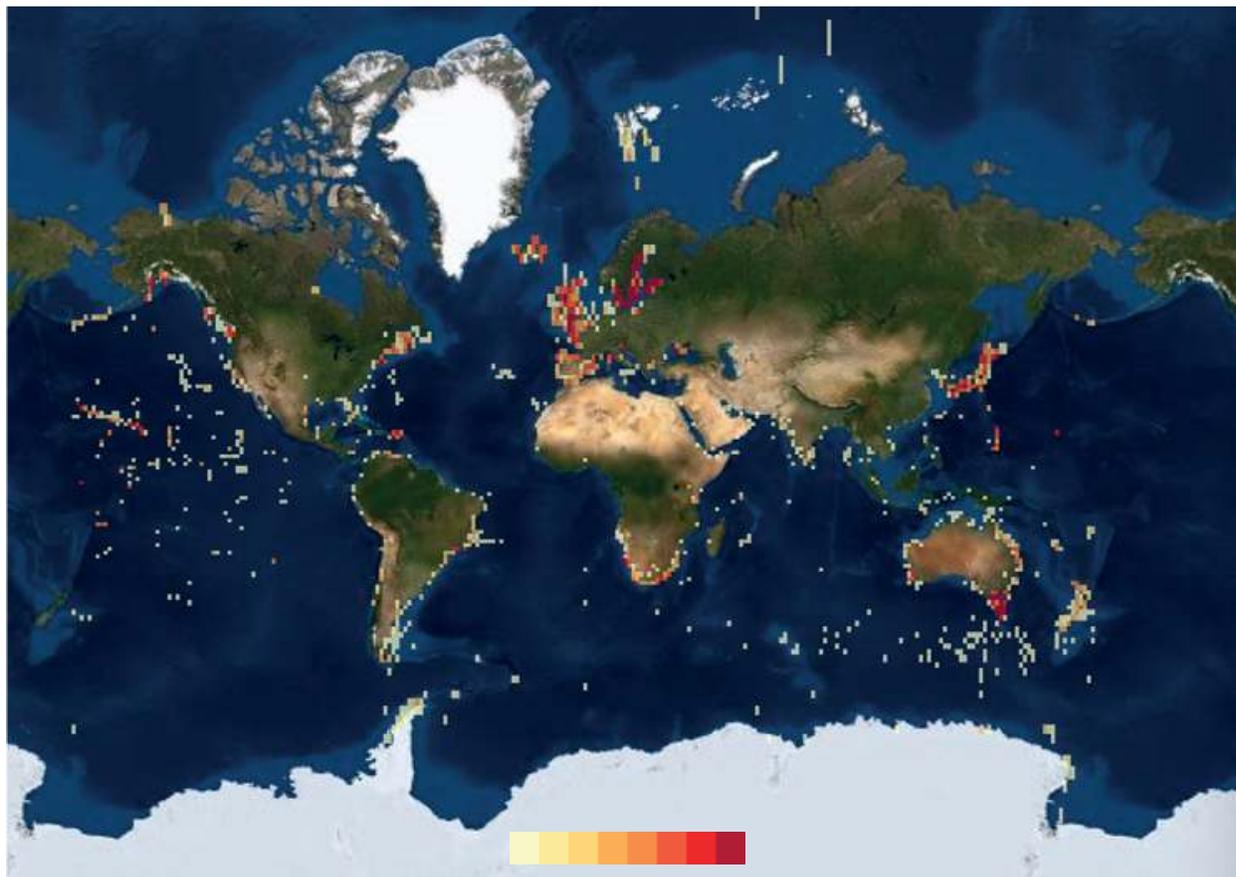
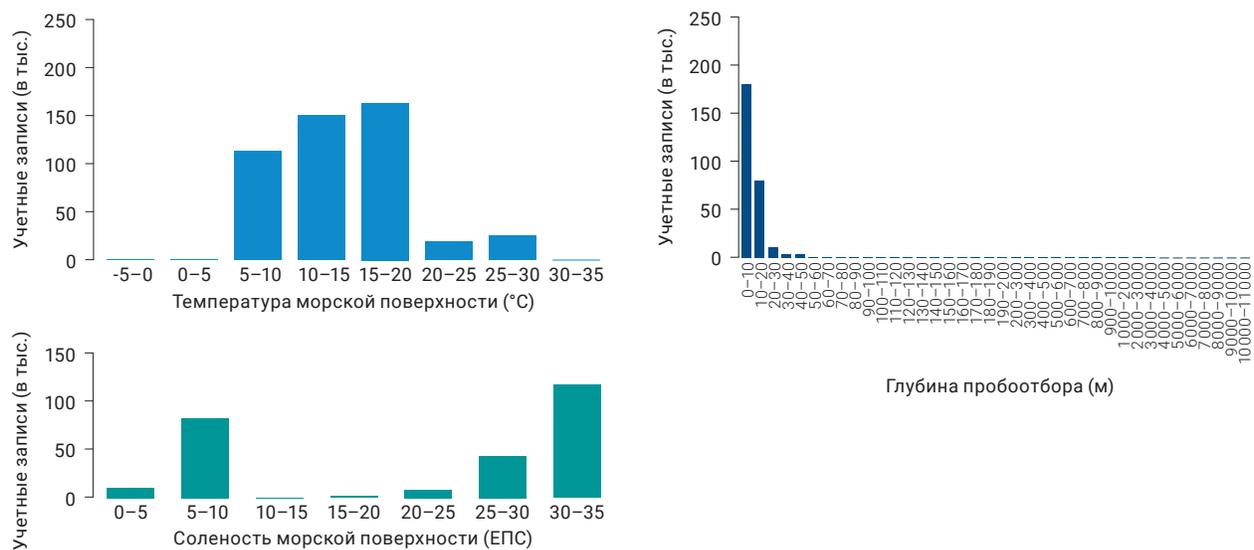


Рисунок IV.B

Окружающие условия (температура, соленость морской поверхности и глубина), при которых бурые водоросли встречаются в мире



Источник: OBIS (2020), <https://mapper.obis.org/?taxonid=830>.

Рисунок V.A

Глобальное распространение зеленых водорослей (Chlorophyta)

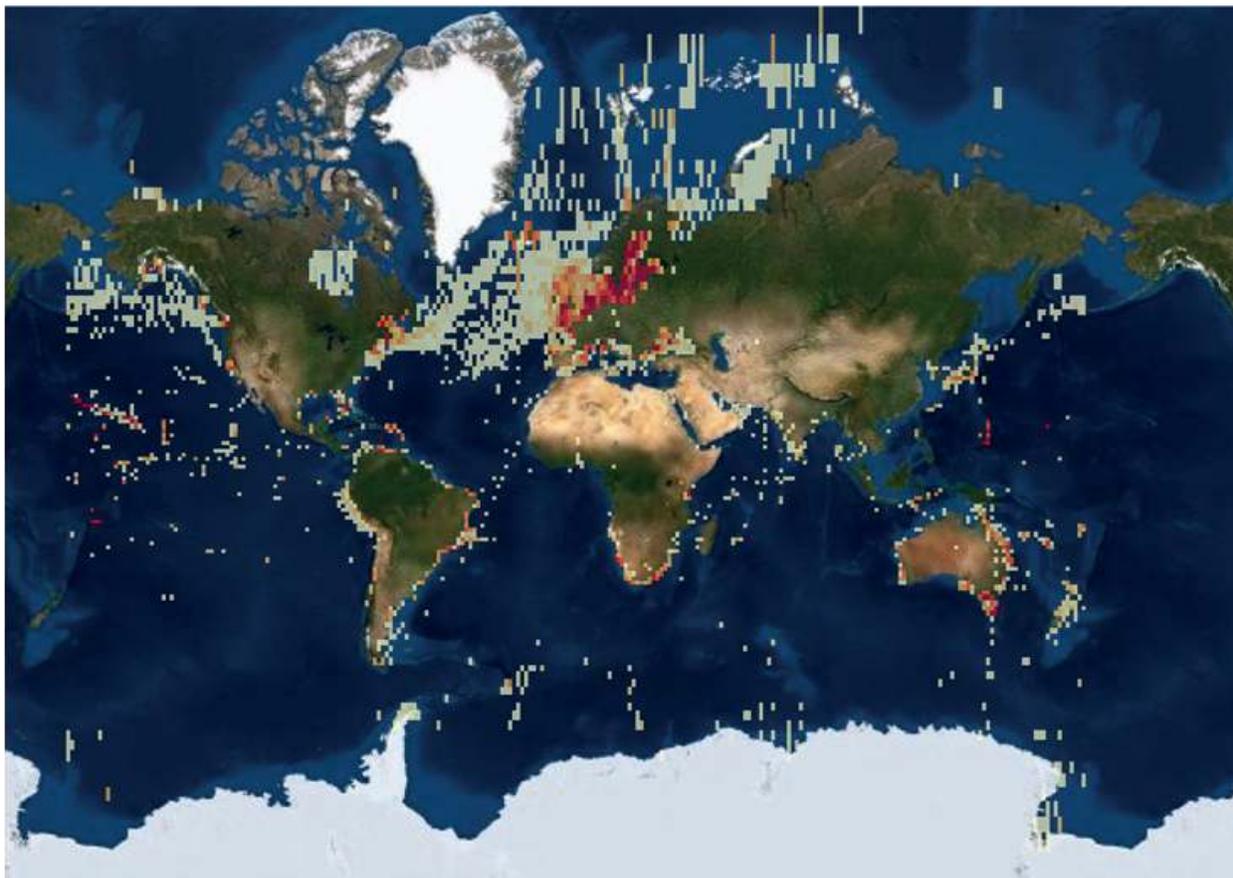
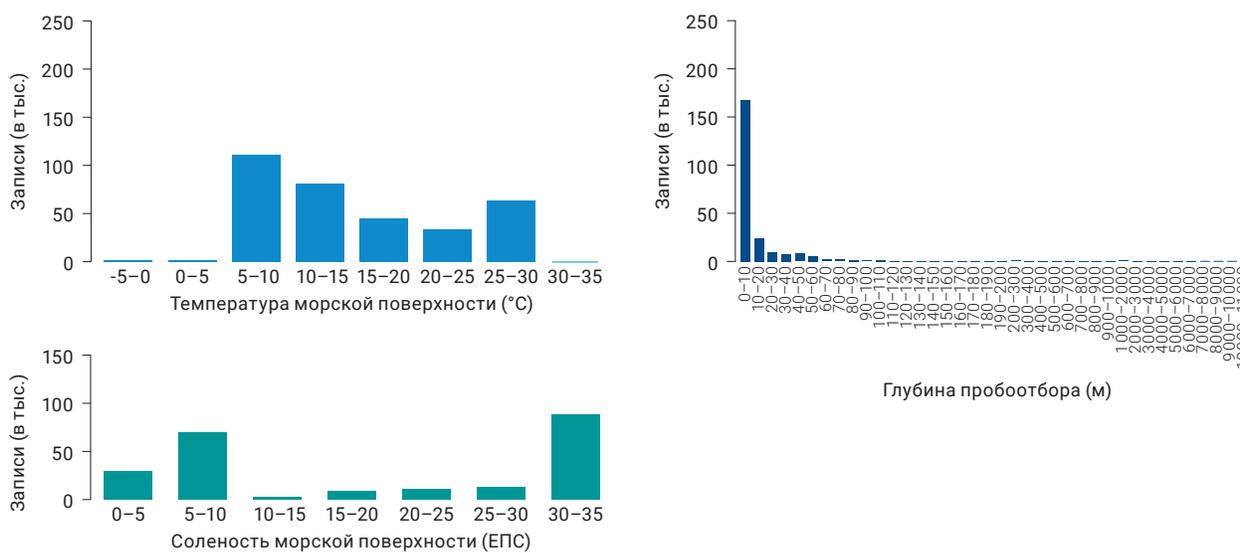


Рисунок V.B

Окружающие условия (температура, соленость морской поверхности и глубина), при которых зеленые водоросли встречаются в мире



Источник: OBIS (2020), <https://mapper.obis.org/?taxonid=801>.

В 2007 году была выполнена оценка риска исчезновения водорослей (Guiry and Guiry, 2020), которая охватывала лишь небольшое количество видов, а именно 125. Это не покрывает даже 1 процента от общего количества видов, инвентаризированных на сегодняшний день.

Один вид красных водорослей отнесен к категории «Исчезнувшие», а 15 видов красных и бурых водорослей числятся среди угрожаемых; во всех случаях речь идет о видах, встречающихся в юго-восточной части Тихого океана и эндемичных для островов Галапагос (IUCN, 2019).

К категории «Исчезнувшие» отнесена водоросль *Vanvoorstia bennettiana*² из семейства *Delesseriaceae* (*Rhodophyta*) (Millar, 2003). В 1855 году Уильям Гарвей впервые обнаружил ее ареал в Сиднейской бухте залива Порт-Джэксон (Австралия). В 1886 году ее образцы были повторно собраны в примерно 8 км к востоку от типовой местности (Millar, 2001). Несмотря на интенсивные поиски, более чем за столетие не удалось заметить или собрать ее образцы; считается, что утрата местообитания в результате человеческой деятельности привела к исчезновению этого вида (Guiry and Guiry, 2020).

Десять видов отнесены к категории «Находящиеся в критической опасности» (Miller and others, 2007a–o): шесть из типа *Rhodophyta* (*Galaxaura barbata*, *Gracilaria skottsbergii*, *Laurencia oppositoclada*, *Myriogramme kylinii*, *Phycodrina elegans* и *Schizymenia ecuadoreana*) и четыре из класса *Phaeophyceae* (*Bifurcaria galapagensis*, *Desmarestia tropica*, *Dictyota galapagensis* и *Spatoglossum schmittii*). «Находящиеся в критической опасности» виды красных водорослей принадлежат к семействам *Galaxauraceae*, *Gracilariaceae*, *Delesseriaceae* и *Schizymeniaceae*, а бурых — к семействам *Sargassaceae*, *Desmarestiaceae* и *Dictyotaceae*. Период с 1970 года был отмечен значительными изменениями в популяциях макроводорослей на островах Галапагос во время эпизодов Эль-Ниньо в 1982–1983 и 1997–1998 годах, затронувших эндемичную для Галапагоса бурюю макроводоросль *Bifurcaria galapagensis*, которая обитает в мелководных литоральных и сублиторальных средах (Garske, 2002).

Один из видов бурых водорослей — *Sargassum setifolium*, принадлежащий к семейству *Sargassaceae*, — отнесен к категории «Находящиеся в опасности» (IUCN, 2019).

Четыре вида отнесены к категории «Уязвимые»: три вида красных водорослей (*Austrofolium equatorianum*, *Acrosorium papenfussii* и *Pseudolaingia hancockii*) и один вид бурых водорослей (*Eisenia galapagensis*) (IUCN, 2019).

Четыре вида (все они принадлежат к красным водорослям) отнесены к категории «Вызывающие наименьшую озабоченность», а 54 вида — к категории «Недостаточно данных» (IUCN, 2019). Что касается зеленых водорослей, то ни один из оцененных их видов к угрожаемым не отнесен, и лишь *Rhizoclonium robustum* включен в категорию «Недостаточно данных».

На первом месте среди основных угроз, упомянутых в отчетах МСОП, стоят «климатические изменения и суровые погодные явления»; далее следуют «инвазивные и другие проблемные виды». Реже упоминались «жилищная и коммерческая застройка», «транспортные и сервисные коридоры», «использование биологических ресурсов» и «загрязнение».

В региональном масштабе проведены оценки биоразнообразия морских водорослей, различавшиеся по своему типу и уровню.

По линии Средиземноморского плана действий Конвенции о защите морской среды и прибрежного региона Средиземноморья³ (там в качестве угрожаемых перечислено 47 видов) была проведена оценка риска исчезновения средиземноморских видов. Типичными примерами угрожаемых видов являются «формирующие среду обитания» представители рода *Cystoseira*, за исключением вида *C. compressa*, который пребывает в упадке, а на определенных участках вообще вымер (Mancuso and others, 2018; Thibaut and others, 2015). Вместе с тем Верлак и др. (Verlaque and others, 2019) считают, что в этот список попали виды, которые отнюдь не являются угрожаемыми и даже считаются инвазивными (например, *Caulerpa prolifera*), и рекомендуют перепроверять позиции списка на индивидуальной основе, про-

² Снимки *Vanvoorstia bennettiana* и таксономическую информацию об этом виде см. URL: www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=23738.

³ United Nations, *Treaty Series*, vol. 1102, No. 16908.

вода повторную оценку. Средиземноморским водорослям, особенно многолетним и медленнорастущим, угрожают главным образом коммерческая и промышленная застройка (United Nations Environment Programme, 2015; Mansour and others, 2007; Husain and Khalil, 2013), прибрежные сбросы (Mohorjy and Khan, 2006; Peña-García and others, 2014; Fabbrizzi and others, 2020), изменение климата (Piñeiro-Corbeira and others, 2018) и интродукция экзотических и инвазивных видов через Суэцкий канал (Galil and others, 2019). Израэль и др. (Israel and others, 2020) сообщили, что 16 процентов морской флоры Израиля считаются инвазивными или экзотическими.

Милославич и др. (Miloslavich and others, 2011) проанализировали морское биоразнообразие Южной Америки и обнаружили, что в тропической восточной части Тихого океана видовое богатство выше, чем в тропической Западной Атлантике, и что система Перуанского течения богаче патагонского шельфа. Анализ эндемизма показал, что 22 процента южноамериканских видов являются эндемиками и что 75 процентов видов фиксируются только в одном из южноамериканских субрегионов. В Южной Атлантике локальные стрессоры и прибрежная урбанизация приводят к существенной утрате биоразнообразия среди морских водорослей. Водорослевое богатство в урбанизированных районах на 26 процентов меньше, чем в районах с более высоким растительным покровом (Schermer and others, 2013). Среди глобальных стрессоров особого внимания заслуживает морская жара, которая представляет крупную угрозу для таких чувствительных к температуре видов, как экологически и биотехнологически значимая красная водоросль *Laurencia catarinensis*. Во время эпизода такой жары, длившегося с 8 октября по 13 ноября 2014 года, превышение порогового значения, рассчитанного для этих календарных дней, реальной температурой составило 2,66°, и названный вид потерял около 50 процентов своей общей биомассы (Gouvêa and others, 2017).

В Красном море уровень макроводорослевого эндемизма составляет около 9 процентов (Persga, 2003), но в ходе будущих исследований этот показатель, вероятно, возрастет, так как в настоящее время красноморские макроводоросли являются одними из наименее изученных, несмотря на длительную (восходящую к XVII веку) исто-

рию научных исследований (Sheppard and others, 1992). Согласно ранее зафиксированным данным (Walker, 1987), в Красном море обитало около 485 макроводорослевых видов, которые были по своему распространению циркум- и субтропическими и встречались на обширных пространствах Индо-Тихоокеанского, Средиземноморского и Карибского регионов. Судя по всему, состав, распространение и разнообразие макроводорослей Красного моря определяются естественным широтным градиентом солености, температуры и богатства нутриентов (Kürten and others, 2014), и разнообразие в северной и южной частях красноморской акватории выше, чем в центральной ее части (Walker, 1987; Sheppard, 1992).

Антарктические макроводоросли характеризуются низким (по сравнению с другими регионами мира) видовым богатством, а также высоким эндемизмом, который первоначально оценивался в примерно 33 процента (Wiencke and Clayton, 2002; Wiencke and others, 2014), но с тех пор опустился до 27 процентов (Oliveira and others, 2020). На первом месте по эндемизму стоят бурые водоросли (35,3 процента); далее следуют красные (29,4 процента) и зеленые (12,5 процента) водоросли (Oliveira and others, 2020).

У антарктических макроводорослей замечена обратная зависимость между видовым разнообразием и широтой (Wiencke and Clayton, 2002). Если в акватории Южных Шетландских островов было идентифицировано в общей сложности 104 таксона (Pellizzari and others, 2017), то у острова Аделейд – 41 таксон (Cormaci and others, 1992), а в заливе Терра-Нова (море Росса, за 70° ю. ш.) – 17 таксонов (Mystikou and others, 2014).

Мюллер и др. (Müller and others, 2009) оценили воздействие потепления океана на распространение антарктических водорослей и пришли к выводу, что повышение температуры не может напрямую влиять на широтное распределение некоторых антарктических водорослей. Однако Пеллиццари и др. (Pellizzari and others, 2020) высказались за необходимость мониторинга разнообразия макроводорослей в Антарктике, прежде всего в окрестностях Антарктического полуострова, поскольку этот район подвержен интродукции видов, а также метеорологическим и океанографическим изменениям (Hughes and Ashton, 2017).

6. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия

Утрата таких видов мангров, растений соленых маршей, морских трав и водорослей, из которых складываются основные прибрежные и океанские экосистемы либо которые становятся объектом добычи для непосредственного использования или других нужд, может иметь для общества крупные здравоохранительные и экономические последствия.

Прямое влияние утраты видов на экономику и благополучие демонстрируется исчезновением видов ламинариевых, относящихся к бурым водорослям и образующих в умеренных океанских акваториях огромные леса. Эти виды добываются для продовольственных, промышленных, косметических, медицинских и иных нужд. Ламинариевые сильно страдают от повышения океанских температур, так как для размножения и роста им требуется холодная вода. Наблюдаемый эффект наиболее заметен на самом севере и самом юге ареала их распространения (Reed and others, 2016). По мере повышения океанских температур некоторые популяции ламинариевых стали смещаться в южных широтах на юг, а в северных широтах на север, и в последние десятилетия произошло географическое смещение ассоциированных с ними популяций таких поедателей водорослей, как морские ежи (Wahl and others, 2015). Вернберг и др. (Wernberg and others, 2019) показали траектории изменений в численности ламинариевых на основе многолетней записи данных о биомассе (рисунок VI).

Значителен также ущерб, который причиняет рыболовству воздействие климатических изменений на рифообразующие кораллиновые водоросли и на родолиты, образующие пласты маэрля. Некоторые публикации (Barberá and others, 2003; Riosmena-Rodríguez and others, 2010), посвящен-

ные статусу сохранности местообитаний маэрля и родолитов в водах Атлантики, Средиземноморья и Калифорнийского залива, показывают, что во многих уголках планеты здоровье этих местообитаний ухудшается. Такие виды деятельности, как дноуглубительные работы (например, для добычи почвоулучшителей или прорытия судоходных каналов), хищническое рыболовство (например, путем драгирования или траления) и рыбководство, способны приводить к снижению комплексности и биоразнообразия этих местообитаний, равно как и к нашествию инвазивных видов, например брюхоногого моллюска *Crepidula fornicata* (Peña and others, 2014). Есть сообщения о том, что пласты маэрля подвергаются не только таким прямым воздействиям, но и нагрузкам, вызываемым потеплением и закислением океана, поскольку медленнорастущие кораллиновые водоросли сильно уязвимы к антропогенным выбросам CO₂ (Martin and Hall-Spencer, 2017; Cornwall and others, 2019). Европейские пласты маэрля находятся под охраной, поскольку обеспечивают широкий спектр экологических ниш для ассоциированной флоры и фауны.

Когда выполняются современные оценки уязвимости лугов морских трав, в качестве индикаторов их выносливости используются такие пионерные виды, как *Halophila ovalis*, *Halodule uninervis* и *Cymodocea rotundata*. Некоторые моретравяные виды, например, *Halophila ovalis* и *H. minor* (Ahmad and others, 2015), используются в качестве биоиндикаторов загрязнения тяжелыми металлами, тогда как *Thalassia hemprichii*, *Enhalus acoroides* и *Cymodocea rotundata* служат потенциальными биоиндикаторами содержания кадмия в отложениях и цинка в морской воде (Li and Xiaoping, 2012).

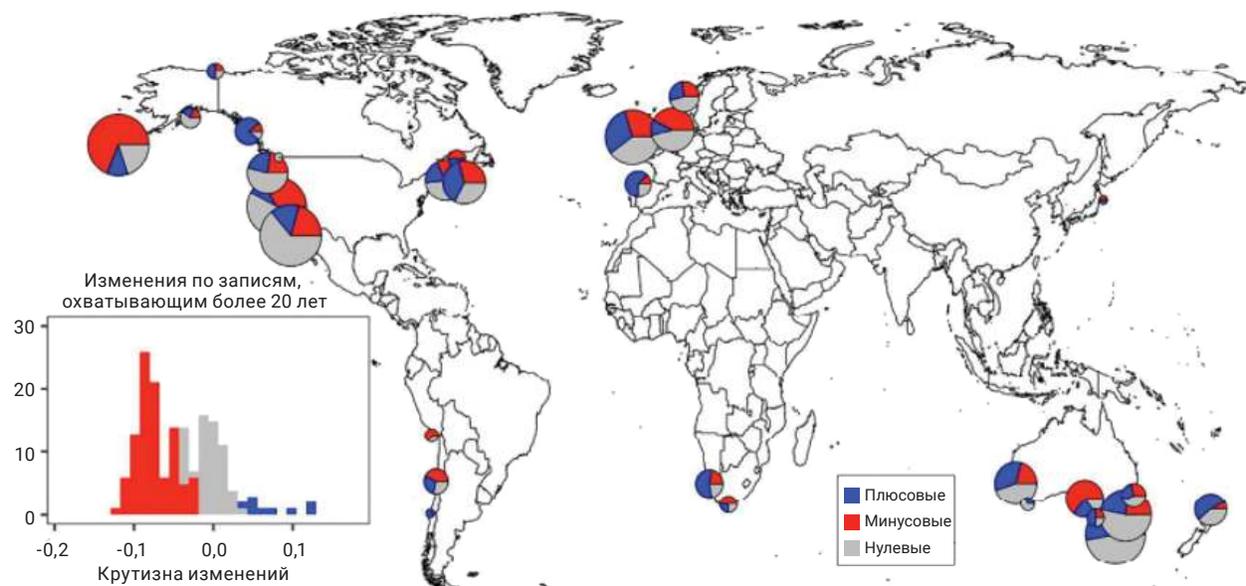
7. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала

Притом что разработаны новые методы (например, из сферы геномики) для идентификации видов и выяснения филогенетических отношений, во многих регионах до сих пор

недостает кадровых и инфраструктурных возможностей. Мало кто учится на систематиков, еще меньше — на альгологов (специалистов по таксономии водорослей). Таксономические и

Рисунок VI

Траектория изменений, прослеживаемая по записям о численности ламинариевых



Источник: Wernberg, and others, 2019, воспроизводится с авторского разрешения.

систематизирующие исследования — это важные инструменты для мониторинга морского биоразнообразия, являющегося фундаментом для развития, особенно в малых островных государствах и архипелажных странах. Поэтому они согласуются с целью 14 в области устойчивого развития, в частности с задачей 14.а⁴. Ожидается, что с развитием новых способов видовой

идентификации количество видов, особенно макроводорослей, возрастет. Однако в зависимости от имеющихся возможностей некоторые регионы будут оставаться изученными слабее других. Кроме того, не оценена уязвимость большинства видов растений, включая макроводоросли, к меняющимся климатическим и океанским условиям⁵.

8. Перспективы

Изменение климата признается сейчас одним из основных факторов нагрузки на популяции. Для некоторых видов оно может становиться возможностью расширить свое распространение (как в случае с определенными мангровыми или маршевыми растениями), тогда как для других оно будет приводить к большим ограничениям или даже к исчезновению (как в случае с некоторыми ламинариевыми). Например, Пержан и др. (Pergent and others, 2014) спрогнозировали, что эндемичная для Средиземноморья морская

трава *Posidonia oceanica*, которая плохо переносит изменения солености и температуры, придет, вероятно, в упадок, прежде всего в Левантийском море, где ожидается повышение температуры и солености морской поверхности. *Zostera marina*, которая растет при более низких температурах, может сначала стать более замкнутой и изолированной на северных окраинах Средиземноморья, а затем исчезнуть. Кроме того, эти два вида могут не выдержать конкуренции с такими видами, как *Cymodocea nodosa* и *Halophila stipulacea*,

⁴ См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

⁵ См. www.fisheries.noaa.gov/national/climate/climate-vulnerability-assessments.

которые хорошо растут в более теплом климате, что может привести к снижению структурной комплексности местообитаний.

Согласно некоторым прогнозам в отношении утраты водорослевых видов к 2100 году, сделанным с помощью моделирования местообитаний на основе репрезентативных траекторий концентраций (РТК) выбрасываемых парниковых газов, можно ожидать, что в Австралии нынешнее распространение 15 видных представителей ламинариевых и пологообразующих водорослей умеренного пояса сократится при наиболее консервативном (РТК 2.6) сценарии выбросов в

среднем на 62 процента (с разбросом значений от 27 до 100 процентов), а в Северной Атлантике 8 водорослевых видов утратят 50 процентов своего ареала. С другой стороны, прогнозируется, что некоторые виды водорослей расширят пределы своего распространения (речь идет, например, о расширении трех из восьми североатлантических видов в Арктику), вытеснят другие виды или сформируют новые леса. Ожидается также, что на популяциях макроводорослей отразятся перемены в популяциях травоядных животных из-за изменения климата (см. Wernberg and others, 2019).

Справочная литература

- Ahmad F., and others (2015). Tropical seagrass as a bioindicator for metal accumulation. *Sains Malaysiana*, vol. 44, No. 2, pp. 203–210. [10.17576/JSm²015-4402-06](https://doi.org/10.17576/JSm%2015-4402-06).
- Alp Mehmet Tahir, and others . Determination of heavy metal levels in sediment and macroalgae (*Ulva* sp. and *Enteromorpha* sp.) on the Mersin Coast (2012). *Ekoloji*, vol. 21, No. 82, pp. 47–55.
- Amado-Filho, Gilberto M., and others (2017). South Atlantic rhodolith beds: latitudinal distribution, species composition, structure and ecosystem functions, threats and conservation status. In *Rhodolith/Maërl Beds: A Global Perspective*, Rafael Riosmena-Rodríguez, Wendy Nelson, and Julio Aguirre, eds. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, pp. 299–317. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29315-8_12.
- Barberá, C., and others (2003). Conservation and management of northeast Atlantic and Mediterranean maerl beds. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 13, No. S1, pp. S65–S76. <https://doi.org/10.1002/aqc.569>.
- Barbier, Edward B., and others (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, vol. 81, No. 2, pp. 169–93. <https://doi.org/10.1890/10-1510.1>.
- Bernier, R.Y., and others, eds. (2018). *State of the Atlantic Ocean Synthesis Report*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, No. 3167. Ottawa: Department of Fisheries and Oceans Canada.
- Chua, L.S.L. (1998). *Avicennia lanata*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T31819A9662485.en>.
- Coates, K., and others, 2010. *Halodule bermudensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173374A7002336. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173374A7002336.en>.
- Cormaci, M., and others (1992). Observations taxonomiques et biogéographiques sur quelques espèces du genre *Cystoseira* C. Agardh. *Bulletin de l'Institut océanographique (Monaco)*, pp. 21–35.
- Cornwall, Christopher E., and others (2019). Impacts of ocean warming on coralline algal calcification: meta-analysis, knowledge gaps, and key recommendations for future research. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 186. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00186>.
- Dahdouh-Guebas, F., ed. (2020). World Mangroves database and Herbarium. Mangroves: the forgotten habitat in the middle of everywhere. www.vliz.be/vmdcdata/mangroves.
- Delwiche, Charles F. (2007). Algae in the warp and weave of life: bound by plastids. In *Unravelling the Algae. The Past, Present, and Future of Algal Systematics*. Juliet Brodie and Jane Lewis, eds. The Systematics Association Special Volume Series, No. 75. Boca Raton, Florida: CRC Press, pp. 7–20.
- Donato, Daniel C., and others (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, vol. 4, No. 5, pp. 293–297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>.

- Duarte, M.C., and others (2012). Systematics and ecology of a new species of seagrass (*Thalassodendron*, Cymodoceaceae) from Southeast African Coasts. *Novon: A Journal for Botanical Nomenclature*, vol. 22, No. 1, pp. 16–24.
- Duke, N. (2010a). *Avicennia integra*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178844A7624677. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178844A7624677.en>.
- _____ (2010b). *Avicennia bicolor*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178847A7625682. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178847A7625682.en>.
- Duke, N., and others (2010a). *Sonneratia griffithii*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178799A7609832. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178799A7609832.en>.
- Duke, N., and others (2010b). *Bruguiera hainesii*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178834A7621565. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178834A7621565.en>.
- Duke, N., and others (2010c). *Campostemon philippinense*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178808A7612909. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178808A7612909.en>.
- Duke, N., and others (2010d). *Ceriops decandra*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178853A7627935. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178853A7627935.en>.
- Ellison, J., and others (2010a). *Aegialitis rotundifolia*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*, e.T178839A7623021. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178839A7623021.en>.
- Ellison, J., and others (2010b). *Aegiceras floridum*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*, e.T178856A7628795. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178856A7628795.en>.
- Ellison, J., and others (2010c). *Pelliciera rhizophorae*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*, e.T178833A7621318. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178833A7621318.en>.
- Ellison, J., and others (2010d). *Excoecaria indica*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*, e.T178836A7622053. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178836A7622053.en>.
- Ellison, J., and J. Duke (2010). *Rhizophora samoensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178831A7620672. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178831A7620672.en>.
- El Shaffai, A. (2016). *Field Guide to Seagrasses of the Red Sea*. 2nd ed. Anthony Roupheal and Ameer Abdulla, eds. Gland, Switzerland: IUCN.
- Fabbrizzi, E., and others (2020). Modeling macroalgal forest distribution at Mediterranean scale: present status, drivers of changes and insights for conservation and management. *Frontiers in Marine Science*, vol. 7, art. 20. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00020>.
- Ferreira, Chirle, and others (2015). Anatomical and ultrastructural adaptations of seagrass leaves: an evaluation of the southern Atlantic groups. *Protoplasma*, vol. 252, No. 1, pp. 3–20. <https://doi.org/10.1007/s00709-014-0661-9>.
- Foggi, B., and others (2011). *Salicornia veneta*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T164320A5824288. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-1.RLTS.T164320A5824288.en>.
- Galil, B.S., and others (2019). Invasive biota in the deep-sea Mediterranean: an emerging issue in marine conservation and management. *Biological Invasions*, vol. 21, pp. 281–88.
- Garske L.E. (2002). Macroalgas marinas. In *Reserva Marina de Galápagos: Línea Base de la Biodiversidad*. Eva Danulat and Graham J. Edgar, eds. Santa Cruz, Galápagos, Ecuador: Fundación Charles Darwin/Servicio Parque Nacional Galápagos, pp. 419–439.
- Gerakaris, V., and others (2020). First record of the tropical seagrass species *Halophila decipiens* Ostenfeld in the Mediterranean Sea. *Aquatic Botany*, vol. 160, 103151. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2019.103151>.
- Gouvêa, L.P., and others (2017). Interactive effects of marine and eutrophication on the ecophysiology of a widespread and ecologically important macroalga. *Limnology and Oceanography*, vol. 62, No. 5, pp. 2056–2075. <https://doi.org/10.1002/lno.10551>.
- Gorman, Daniel, and others (2016). Population expansion of a tropical seagrass (*Halophila decipiens*) in the southwest Atlantic (Brazil). *Aquatic Botany*, vol. 132, pp. 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2016.04.002>.
- Green, E.P., and F.T. Short (2003). *World Atlas of Seagrasses*. Berkeley, California: University of California Press, p. 324.

- Greenberg, Russell, and others (2006). Tidal marshes: a global perspective on the evolution and conservation of their terrestrial vertebrates. *BioScience*, vol. 56, No. 8, pp. 675–85. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[675:TMAGPO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[675:TMAGPO]2.0.CO;2).
- Guiry, M. D. (2012). How many species of algae are there? *Journal of Phycology*, vol. 48, No. 5, pp. 1057–1063. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2012.01222.x>.
- Guiry, M.D., and Guiry, G.M. (2020). AlgaeBase. World-wide electronic publication. Galway: Ireland: National University of Ireland. www.algaebase.org.
- Heck, Kenneth L., and Robert J. Orth (1980). Seagrass habitats: the roles of habitat complexity, competition and predation in structuring associated fish and motile macroinvertebrate assemblages. In *Estuarine Perspectives*. V. S. Kennedy, ed. New York: Academic Press, pp. 449–464.
- Hopkinson, Charles S., and others (2012). Carbon sequestration in wetland dominated coastal systems – a global sink of rapidly diminishing magnitude. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 4, No. 2, pp. 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.03.005>.
- Hughes, Kevin A., and Gail V. Ashton (2017). Breaking the ice: the introduction of biofouling organisms to Antarctica on vessel hulls. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 27, No. 1, pp. 158–164.
- Husain, Tahir, and Ahmed Abdulwahab Khalil (2013). Environment and sustainable development in the Kingdom of Saudi Arabia: current status and future strategy. *Journal of Sustainable Development*, vol. 6, No. 12, pp. 14–30.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2019). *The IUCN Red List of Threatened Species*. www.iucnredlist.org.
- Israel, Alvaro, and others (2020). The seaweed resources of Israel in the Eastern Mediterranean Sea. *Botanica Marina*, vol. 63, No. 1, pp. 85–95. <https://doi.org/10.1515/bot-2019-0048>.
- Kathiresan, K., and others (2010). *Heritiera fomes*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, eT178815A7615342. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178815A7615342.en>.
- Kirwan, Matthew L., and J. Patrick Megonigal (2013). Tidal wetland stability in the face of human impacts and sea-level rise. *Nature*, vol. 504, pp. 53–60. <https://doi.org/10.1038/nature12856>.
- Krause-Jensen, Dorte, and Carlos M. Duarte (2016). Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nature Geoscience*, vol. 9, No. 10, pp. 737–42. <https://doi.org/10.1038/ngeo2790>.
- Kürten, Benjamin, and others (2014). Ecohydrographic constraints on biodiversity and distribution of phytoplankton and zooplankton in coral reefs of the Red Sea, Saudi Arabia. *Marine Ecology*, vol. 36, No. 4, pp. 1195–1214. <https://doi.org/10.1111/maec.12224>.
- Li, Lei, and Xiaoping Huang (2012). Three tropical seagrasses as potential bio-indicators to trace metals in Xincun Bay, Hainan Island, South China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, vol. 30, No. 2, pp. 212–224. <https://doi.org/10.1007/s00343-012-1092-0>.
- Little, Stefan A., and others (2004). Duabanga-like leaves from the Middle Eocene Princeton chert and comparative leaf histology of Lythraceae sensu lato. *American Journal of Botany*, vol. 91, No. 7, pp. 1126–1139.
- Maiz-Tome, L., ed. (2016). *Spartina alterniflora*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, eT13491788A13491792. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T13491788A13491792.en>.
- Mancuso, F.P., and others (2018). Status of vulnerable *Cystoseira* populations along the Italian infralittoral fringe, and relationships with environmental and anthropogenic variables. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 129, No. 2, pp. 762–771. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.068>.
- Mansour, Abbas M., and others (2007). Sedimentological and environmental impacts of development projects along the coast of Hurghada, Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, vol. 33, No. 1, pp. 59–84.
- Martin, Sophie, and Jason M. Hall-Spencer (2017). Effects of Ocean Warming and Acidification on Rhodolith/Maërl Beds. In *Rhodolith/Maërl Beds: A Global Perspective*, Rafael Riosmena-Rodríguez, Wendy Nelson, and Julio Aguirre, eds. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, pp. 55–85. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29315-8_3.
- Matheson, K., and others (2016). Linking eelgrass decline and impacts on associated fish communities to European green crab *Carcinus maenas* invasion. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 548, pp. 31–45.

- Millar, A.J.K. (2003). The world's first recorded extinction of a seaweed. In *Proceedings of the XVIIth International Seaweed Symposium*. Anthony Chapman and others. New York: Oxford University Press, pp. 313–318.
- Miller, K.A., and others (2007a). *Acrosorium papenfussii*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63609A12696272. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63609A12696272.en>.
- Miller, K.A., and others (2007b). *Austrofolium equatorianum*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63610A12696491. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63610A12696491.en>.
- Miller, K.A., and others (2007c). *Bifurcaria galapagensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63593A12686056. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63593A12686056.en>.
- Miller, K.A., and others (2007d). *Desmarestia tropica*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63585A12684515. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63585A12684515.en>.
- Miller, K.A., and others (2007e). *Dictyota galapagensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63587A12684867. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63587A12684867.en>.
- Miller, K.A., and others (2007f). *Eisenia galapagensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63598A12686906. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63598A12686906.en>.
- Miller, K.A., and others (2007g). *Galaxaura barbata*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63651A12703033. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63651A12703033.en>.
- Miller, K.A., and others (2007h). *Gracilaria skottsbergii*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63646A12702413. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63646A12702413.en>.
- Miller, K.A., and others (2007i). *Laurencia oppositocladia*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63622A12699120. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63622A12699120.en>.
- Miller, K.A., and others (2007j). *Myriogramme kylinii*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63612A12696918. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63612A12696918.en>.
- Miller, K.A., and others (2007k). *Phycodrina elegans*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63614A12697346. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63614A12697346.en>.
- Miller, K.A., and others (2007l). *Pseudolaingia hancockii*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63615A12697574. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63615A12697574.en>.
- Miller, K.A., and others (2007m). *Sargassum setifolium*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63596A12686555. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63596A12686555.en>.
- Miller, K.A., and others (2007n). *Schizymenia ecuadoreana*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63653A12703293. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63653A12703293.en>.
- Miller, K.A., and others (2007o). *Spatoglossum schmittii*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63591A12685707. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63591A12685707.en>.
- Miloslavich, Patricia, and others (2011). Marine biodiversity in the Atlantic and Pacific coasts of South America: knowledge and gaps. *PLOS ONE*, vol. 6, No. 1, pp. 1–43. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014631>.
- Möller, Iris, and others (2014). Wave attenuation over coastal salt marshes under storm surge conditions. *Nature Geoscience*, vol. 7, No. 10, pp. 727–731. <https://doi.org/10.1038/geo2251>.
- Mohorjy, Abdullah M., and Ahmed M. Khan (2006). Preliminary assessment of water quality along the Red Sea coast near Jeddah, Saudi Arabia. *Water International*, vol. 31, No. 1, pp. 109–115. <https://doi.org/10.1080/02508060608691920>.
- Müller, Ruth, and others (2009). Impact of oceanic warming on the distribution of seaweeds in polar and cold-temperate waters. *Botanica Marina*, vol. 52, No. 6, pp. 617–638.
- Mystikou, Alexandra, and others (2014). Seaweed biodiversity in the south-western Antarctic Peninsula: surveying macroalgal community composition in the Adelaide Island/Marguerite Bay region over a 35-year time span. *Polar Biology*, vol. 37, No. 11, pp. 1607–1619.
- Nasr, Dirar, and others. (2019). Status of Red Sea dugongs. In *Oceanographic and Biological Aspects of the Red Sea*. Najeeb M. A. Rasul and Ian C. F. Stewart, eds. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, pp. 327–354. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99417-8_18.
- Nawata, H. (2013). Relationship between humans and camels in arid tropical mangrove ecosystems on the Red Sea coast. *Global Environmental Research*, vol. 17, pp. 233–246.

- Nguyen, V.X., and others (2014). Genetic species identification and population structure of *Halophila* (Hydrocharitaceae) from the Western Pacific to the Eastern Indian Ocean. *BMC Evolutionary Biology*, vol. 14, No. 1, pp. 92. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-14-92>.
- Nguyen, V.X., and others (2015). New insights into DNA barcoding of seagrasses. *Systematics and Biodiversity*, vol. 13, No. 5, pp. 496–508.
- Ocean Biodiversity Information System (OBIS) (2020). Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. Available at <https://obis.org/> (accessed on 10 April 2020).
- Oliveira, M.C., and others (2020). Diversity of Antarctic seaweeds. In *Antarctic Seaweeds: Diversity, Adaptation and Ecosystem Services*. Iván Gómez and Pirjo Huovinen, eds. Springer, pp. 23–42. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39448-6_2.
- Ono, Junya, and others (2016). *Bruguiera hainesii*, a critically endangered mangrove species, is a hybrid between *B. cylindrica* and *B. gymnorhiza* (Rhizophoraceae). *Conservation Genetics*, vol. 17, No. 5, pp. 1137–1144. <https://doi.org/10.1007/s10592-016-0849-y>.
- Papenbrock, Jutta (2012). Highlights in seagrasses' phylogeny, physiology, and metabolism: what makes them special? *ISRN Botany*, vol. 2012, art. 103892. <https://doi.org/10.5402/2012/103892>.
- Peña, V., and others (2014). The diversity of seaweeds on maerl in the NE Atlantic. *Marine Biodiversity*, vol. 44, No. 4, pp. 533–551. <https://doi.org/10.1007/s12526-014-0214-7>.
- Peña-García, David, and others (2014). Input and dispersion of nutrients from the Jeddah Metropolitan Area, Red Sea. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 80, Nos. 1 and 2, pp. 41–51.
- Pellizzari, F., and others (2017). Diversity and spatial distribution of seaweeds in the South Shetland Islands, Antarctica: an updated database for environmental monitoring under climate change scenarios. *Polar Biology*, vol. 40, No. 8, pp. 1671–1685.
- Pellizzari F., and others (2020). Biogeography of Antarctic seaweeds facing climate changes. In *Antarctic Seaweeds: Diversity, Adaptation and Ecosystem Services*. Iván Gómez and Pirjo Huovinen, eds. Springer, pp. 83–102. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39448-6_5.
- Pendleton, Linwood, and others (2012). Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLOS ONE*, vol. 7, No. 9, e43542. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043542>.
- Pergent, G., and others (2014). Climate change and Mediterranean seagrass meadows: a synopsis for environmental managers, *Mediterranean Marine Science*, vol. 15, No. 2. <http://dx.doi.org/10.12681/mms.621>.
- Piñeiro-Corbeira, Cristina, and others (2018). Seaweed assemblages under a climate change scenario: functional responses to temperature of eight intertidal seaweeds match recent abundance shifts. *Scientific Reports*, vol. 8, art. 12978. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31357-x>.
- Ragavan, P., and others (2017). Natural hybridization in mangroves – an overview. *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 185, No. 2, pp. 208–224. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/box053>.
- Reed, Daniel, and others (2016). Extreme warming challenges sentinel status of kelp forests as indicators of climate change. *Nature Communications*, vol. 7, art. 13757. <https://doi.org/10.1038/ncomms13757>.
- Riosmena-Rodríguez, Rafael (2017). Natural history of rhodolith/maerl beds: their role in near-shore biodiversity and management. In *Rhodolith/Maerl Beds: A Global Perspective*, Rafael Riosmena-Rodríguez, Wendy Nelson, and Julio Aguirre, eds. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, pp. 3–26.
- Riosmena-Rodríguez, Rafael, and others, “Reefs that rock and roll: biology and conservation of rhodolith beds in the Gulf of California”, in *The Gulf of California: biodiversity and conservation*, R. C. Bursca, ed. (Tucson, University of Arizona and Arizona-Sonora Desert Museum Press, 2010).
- Salmo III, S.G., and others (2010). *Sonneratia ovata*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, eT178814A7615033. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178814A7615033.en>.
- Scherner, F., and others (2013). Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 76, Nos. 1 and 2, pp. 106–115.
- Sghaier, Y.R., and others (2011). Occurrence of the seagrass *Halophila stipulacea* (Hydrocharitaceae) in the southern Mediterranean Sea. *Botanica Marina*, vol. 54, No. 6, pp. 575–582. <https://doi.org/10.1515/BOT.2011.061>.

- Shawky, A.M. (2019). Evidence of the occurrence of a large dugong in the Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, vol. 45, No. 3, pp. 247–250.
- Sheppard, Charles, and others (1992). *Marine Ecology of the Arabian Region: Pattern and Processes in Extreme Tropical Environments*. London: Academic Press. Sherman, Kenneth, and Gotthilf Hempel, eds. (2008). The UNEP large marine ecosystem report: a perspective on changing conditions in LMEs of the world's regional seas. UNEP Regional Seas Report and Studies, No. 182. Nairobi, United Nations Environment Programme.
- Sinclair, Elizabeth A., and others (2018). Seeds in motion: genetic assignment and hydrodynamic models demonstrate concordant patterns of seagrass dispersal. *Molecular Ecology*, vol. 27, No. 24, pp. 5019–5034.
- Short, F.T. (2010a). *Lepilaena australis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173353A6997857. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173353A6997857.en>.
- _____ (2010b). *Lepilaena marina*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173359A6998923. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173359A6998923.en>.
- _____ (2010c). *Halodule ciliata*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173334A6993582. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173334A6993582.en>.
- _____ (2010d). *Halophila sulawesii*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173326A6991316. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173326A6991316.en>.
- Short, F.T., and M. Waycott (2010a). *Phyllospadix japonicus*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T173341A6994909. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173341A6994909.en>.
- _____ (2010b). *Zostera chilensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T173322A6990689. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173322A6990689.en>.
- _____ (2010c). *Zostera geojeensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173345A6995781. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173345A6995781.en>.
- _____ (2010d). *Zostera asiatica*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173339A6994461. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173339A6994461.en>.
- _____ (2010e). *Zostera caulescens*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173335A6993689. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173335A6993689.en>.
- _____ (2010f). *Phyllospadix iwatensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173344A6995596. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173344A6995596.en>.
- _____ (2010g). *Zostera caespitosa*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173357A6998463. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173357A6998463.en>.
- Short, F.T., and others (2010a). *Posidonia australis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173333A6993340. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173333A6993340.en>.
- Short, F.T., and others (2010b). *Halophila engelmanni*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173337A6994043. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173337A6994043.en>.
- Short, F.T., and others (2010c). *Halophila nipponica*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173381A7004341. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173381A7004341.en>.
- Short, F.T., and others (2010d). *Posidonia sinuosa*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173349A6996688. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173349A6996688.en>.
- Short, F.T., and others (2010e). *Halophila baillonii*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173382A7004500. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173382A7004500.en>.
- Short, F.T., and others (2010f). *Halophila beccarii*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173342A6995080. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173342A6995080.en>.
- Short, F.T., and others (2010g). *Halophila hawaiiiana*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173338A6994270. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173338A6994270.en>.
- Short, F.T., and others (2010h). *Zostera capensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173370A7001305. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173370A7001305.en>.
- Short, F.T., and others (2010i). *Halodule beaudettei*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173329A6992218. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173329A6992218.en>.

- Short, F.T., and others (2010j). *Halodule emarginata*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173347A6996342. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173347A6996342.en>.
- Short, F.T., and others (2010k). *Halophila euphlebia*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173325A6991162. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173325A6991162.en>.
- Short, F.T., and others (2010l). *Ruppia filifolia*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173362A6999534. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173362A6999534.en>.
- Short, F.T., and others (2011). Extinction risk assessment of the world's seagrass species. *Biological Conservation*, vol. 144, No. 7, pp. 1961–1971.
- Sukardjo, S. (2010). *Heritiera globosa*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178807A7612712. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178807A7612712.en>.
- Thibaut T., and others (2015). Decline and local extinction of Fucales in the French Riviera: the harbinger of future extinctions? *Mediterranean Marine Science*, vol. 16, No. 1, pp. 206–224.
- Tuya, Fernando, and others (2017). Seagrass paleo-biogeography: fossil records reveal the presence of *Halodule* cf. in the Canary Islands (eastern Atlantic). *Aquatic Botany*, vol. 143, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2017.08.002>.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- United Nations Environment Programme (2015). Regional Coordination Mechanism (RCM): issues brief for the Arab Sustainable Development Report. Marine Resources in the Arab Region.
- Verlaque, Marc, and others (2019). Mediterranean seaweeds listed as threatened under the Barcelona Convention: a critical analysis. In *Scientific Reports of Port-Cros National Park*, , vol. 33, pp. 179–214.
- Wahl, Martin, and others (2015). The responses of brown macroalgae to environmental change from local to global scales: direct versus ecologically mediated effects. *Perspectives in Phycology*, vol. 2, No. 1, pp. 11–29.
- Walker, Diana I. (1987). Chapter 8: benthic algae. In *Red Sea*, Alasdair J. Edwards and Stephen M. Head, eds. Key Environment Series. Amsterdam: Pergamon. pp. 152–168. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-028873-4.50013-X>.
- Ward, R.D., and others (2016). Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. *Ecosystem Health and Sustainability*, vol. 2, No. 4. e01211. <https://doi.org/10.1002/ehs2.1211>.
- Wernberg, T., and others (2019). Chapter 3: status and trends for the world's kelp forests. In *World Seas: An Environmental Evaluation*, 2nd ed., pp. 57–78. London: Academic Press.
- Wiencke, Christian, and others (2014). Macroalgae. In *Biogeographic Atlas of the Southern Ocean*. Claude de Broyer and others, eds. Cambridge, United Kingdom: Scientific Committee on Antarctic Research, pp. 66–73.
- Wiencke C., and Clayton M.N. (2002). Antarctic Seaweeds. In *Synopses of the Antarctic Benthos*, vol. 9. Johann-Wolfgang Wägele, ed. Rugell, Liechtenstein.
- World Conservation Monitoring Centre, World Conservation Monitoring Centre (1998). *Sonneratia hainanensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T32472A9709212. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T32472A9709212.en>.
- Yuan F., and others (2019) Reproductive physiology of halophytes: current standing. *Frontiers in Plant Science*, vol. 9, art. 1954. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01954>.

Глава 7

Тенденции, характеризующие состояние биоразнообразия в морских местообитаниях

Ведущий участник, ответственный за главу: Илконида Калумпонг.

Введение

Настоящая глава состоит из 17 подглав, в которых детализируется состояние прибрежных и морских местообитаний — от побережья до самых глубоких абиссальных равнин. За период после первой «Оценки состояния Мирового океана» в этих ареалах произошли изменения, которые отдельно описываются здесь для мангровых лесов, соленых маршей, эстуариев и дельт, лугов морских трав, холодноводных кораллов, тропических и субтропических коралловых рифов, Саргассова моря, высокоширотных льдов, гидротермальных источников и холодных просачиваний, а также таких подводных местообитаний, как горы, каньоны и желоба.

В подглавы, посвященные подводным каньонам, горам и желобам, включена также информация о континентальных склонах, о скалах и, соответственно, о хребтах и плато. Ламинарие-

вые леса, которые в первой «Оценке» рассматривались вместе с морскими травами, теперь включены в подглаву, посвященную морским растениям и макроводорослям. Представлены новые выкладки по песчаным и илистым субстратам, приливно-отливным зонам, атоллам и островным лагунам, абиссальным равнинам и открытому океану.

В тех случаях, когда в первой «Оценке» содержались фоновые данные о состоянии местообитания, они были взяты за основу для анализа изменений за последнее десятилетие. Определены основные угрозы для местообитаний, и разобрано их влияние на наблюдаемые изменения. При наличии соответствующих сведений освещены специфически региональные изменения. Изложен прогноз состояния местообитаний на ближайшую и среднесрочную перспективу.

Глава 7А

Приливно- отливная зона

Участники: Джулия Сигурт (координатор), Джудит Гобин, Ильконида Калумпонг (ведущий участник, ответственный за главу), Роналду Адриану Кристофолетти, Патрисия Милославич и Кэрен Эванс (ведущий участник, ответственный за подглаву).

Ключевые тезисы

- Приливно-отливная зона включает множество разных местообитаний на побережьях мира.
- Большая доля людей живет в непосредственной близости от приливно-отливной зоны.
- Человеческая деятельность влияет на приливно-отливную зону напрямую, в виде мо-

дификации побережья, и косвенно, через изменение климата.

- Несмотря на нашу тесную связь с литоральными местообитаниями, сохраняются крупные пробелы в знаниях, а развивающимся странам требуется таксономическая инфраструктура для выяснения исходных данных.

1. Введение

Приливно-отливная зона — это передний край человеческого влияния на океаны, ведь именно в ней море встречается с сушей. Мировой приливно-отливный пояс охватывает разнообразные береговые местообитания, и эти среды роднит особость их свойств, которая объясняется тем, что они не постоянно покрыты водой, а регулярно обнажаются при отливе. Смыкание сухопутных и морских факторов порождает разнообразные проявления усиливающегося влияния соленой воды, так как биологические организмы и местообитания занимают разные точки вдоль градиента солености. Это четко прослеживается в приливно-отливной полосе по вертикальной зональности скалистых берегов (рисунок I) или по переходу от дюн к соленым маршам и ваттам (рисунок II). Приливно-отливная зона также включает песчаные пляжи, мангры, коралловые останки и мелководные рифы (рисунки III и IV) и служит основной средой обитания для особо значимых представителей макрофауны, например морских пресмыкающихся (см. гл. 6D). Организмы, населяющие приливно-отливную зону, отличаются особыми адаптационными свойствами, которые позволяют им быть попеременно то на воздухе, то под водой. Приливно-отливная зона является наиболее доступной частью Мирового океана и поэтому имеет особую важность для натурального и мелкого рыболовства и промысла. Из-за такой доступности приливно-отливная зона является морским ареалом, который наиболее тесно связан с человеческой деятельностью и с которым человек взаимодействует самым непосредственным образом.

Рисунок I

Обнаженный скалистый участок приливно-отливной зоны, на котором видны горизонтальные полосы, образованные мидиями (черная полоса, ближайшая к песку), усоногими и лишайником



Фото: Дж. Сигурт.

Примечание. Юклулет, Британская Колумбия, Канада.

Рисунок II

Обнаженный ваттовый участок приливно-отливной зоны, выходящий на обжитую сельскую местность и каменную отсыпь



Фото: Дж. Сигурт.

Примечание. Ньютаунардс, Северная Ирландия, Соединенное Королевство.

Рисунок III

Участок приливно-отливной зоны, обросший растительностью в виде мангров на скалистом субстрате



Фото: Дж. Сигурт.

Примечание. Пхукет, Таиланд.

Рисунок IV

Участок приливно-отливной зоны с живыми кораллами (различимы под водной поверхностью) в районе мелководных коралловых рифов и коралловых останков, изредка подвергающемся экстремальным приливным явлениям естественного происхождения



Фото: Дж. Сигурт.

Примечание. Порт-Диксон, Малайзия.

За период, прошедший после первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017), наиболее серьезные изменения в приливно-отливных местообитаниях были вызваны изменением климата и антропогенными изменениями береговой линии. В контексте второй «Оценки состояния Мирового океана» «приливно-отливная» или «прибрежная» зона трактуется не как единое местообитание, а как среда, к которой имеет отношение множество других местообитаний, рассматриваемых в главах 6 и 7 (см. таблицу ниже), включая песчаные пляжи, скалы, высокоширотные льды, мангры, коралловые останки и мелководные рифы. Важно также уточнить, что прибрежные местообитания и сообщества являются в основном бентическими, но при этом бентос — это более широкая категория морского дна, раскинувшаяся от приливно-отливной зоны до морского глубоководья.

Действие приливов в разных регионах мира проявляется совсем не одинаково, и эта динамика влияет на флору и фауну, равно как и на человеческую деятельность в океанах. Во многих замкнутых водоемах, таких как Средиземное море, мощность приливного потока почти не заметна. Участки с очень мощным приливным потоком, например в заливе Странгфорд-Лох (Северная Ирландия, Соединенное Королевство) и заливе Сихва (Республика Корея), становятся привлекательными объектами для приливной энергетики (Leary and Esteban, 2009). Участки с менее мощным приливным потоком, включая защищенные эстуарии, часто становятся объектами портового хозяйства, связанного с крупными городами мира и глобальными центрами судоходства. По мере освоения прибрежных регионов во всем мире активизируется практика искусственных субстратов и выстроенных морских структур. Искусственные субстраты можно встретить на всех побережьях. В целом к ним относятся приращенные участки суши и выстроенные острова, а также объекты морской инфраструктуры и созданные человеком местообитания, например искусственные рифы.

Источники информации о местообитаниях, имеющих отношение к приливно-отливной зоне

Тип местообитания	Отношение к приливно-отливной зоне	Основные изменения и угрозы	Источник
Песчаные и илистые субстраты (мягкое дно)	Песчаные пляжи и ватты	Добыча песка для сооружения искусственных островов; абразия и перераспределение отложений из-за повышенной волнистости	Глава 7В
Скалистые субстраты и рифы	Скалистые берега	Расширение теплового диапазона и усиление волнистости от штормов, а также появление инвазивных видов приводят к сокращению локального биоразнообразия	Глава 7В
Атолловые и островные лагуны	Мелководные окаймляющие рифы, коралловые останки	Подъем уровня моря, потепление океана, рост высоты волн и береговая абразия	Глава 7С
Тропические и субтропические коралловые рифы	Коралловые останки, а также жестко- и мягкотелые литоральные кораллы	Обесцвечивание кораллов и физиологические реакции на потепление океана; береговая абразия и сток нутриентов	Глава 7D
Эстуарии и дельты	Приливные эстуарии	Подъем уровня моря; загрязнители и стоки с суши	Глава 7F
Ламинариевые леса и водорослевые заросли	Литоральные водоросли	Расширение теплового диапазона и усиление волнистости от штормов, а также появление инвазивных видов приводят к сокращению локального биоразнообразия	Глава 6G
Луга морских трав	Литоральные морские травы	Физическое возмущение при заякоривании судов или освоительных работах; повышение морских температур	Глава 7G
Мангры	Прибрежные мангры	Заготовка древесины и вырубка	Глава 7Н
Соленые марши	Приливные марши	Подъем уровня моря; загрязнители и стоки с суши	Глава 7I
Высокоширотные льды	Прибрежные полярные области	Обусловливаемая климатом потеря зимнего ледяного покрова усиливает возмущение, вызываемое температурными колебаниями и физическим воздействием раскола морского льда и размыва айсбергов; потеря льда также открывает пути для вторжения биологических организмов в новые районы	Глава 7K
Искусственные субстраты и выстроенные среды		Инвазивные виды, загрязнители	Глава 7А

2. Описание экологических изменений с 2010 по 2020 год

В береговой и прибрежной морской среде располагаются морские местообитания, на которых изменение климата сказывается наиболее сильно (Hoegh-Guldberg and Bruno, 2010). По всему миру добывается или культивируется множество литоральных организмов, для которых от доступа к прибрежным местообитаниям и от состояния этих местообитаний зависят такие факторы, как видовое распределение, физическое возмущение, развитие, передвижение и загрязненность. Деградация литоральной среды сильнее всего ударяет по островным и прибрежным странам, у которых на приливно-отливную зону приходится бо́льшая часть занимаемой ими территории, но прямо или косвенно затронутыми оказываются все страны (Curran and others, 2002). В результате освоения прибрежных районов были уничтожены или серьезно деградировали приливно-отливные зоны, покрытые растительностью, включая соленые марши и мангры: за последнее столетие исчезло более 50 процентов водно-болотных угодий и мангровых зарослей (Burke and others, 2000). Прибрежные среды также страдают от загрязнения стоками из источников на суше. Совокупность воздействий может приводить к изменениям как в морских ресурсах, так и в пресноводных. Человеческая деятельность продолжает модифицировать физический облик побережий как напрямую, так и опосредованно. Так, в ходе строительства происходит изменение или формирование береговой линии, влекущее за собой перемены в гидродинамике и в переносе отложений, а результатом всего этого становится изменение условий в местообитании.

Совокупный эффект от изменений в прибрежных средах состоит в сокращении доступных литоральных местообитаний и снижении качества оставшихся местообитаний. Литоральные организмы и экосистемы находятся обычно на грани толерантности к одному стрессору, и их реагирование на дополнительные стрессы, вызываемые экологическими переменами, может иметь неожиданные проявления, т. е. локальные реакции оказываются зачастую непредсказуемыми (Hewitt and others, 2016). Это ограничивает распространение и устойчивость вылавливаемых видов. Воздействие климатических изменений

включает изменение температур, а также подъем уровня моря, изменение высоты волн и учащение штормовых явлений. Подъем уровня моря снижает доступность литоральных местообитаний, поскольку на естественной среде начинают сказываться митигационные работы, например строительство морских дамб и защитных прибрежных сооружений. Это приводит к своего рода «прибрежному сжатию», когда при подъеме уровня моря морское влияние начинает ощущаться и на суше — там, где уже обустроил свою деятельность человек (Ponsee, 2013).

Антропогенное изменение береговой линии включает также урбанизацию и освоение, строительство городской и морской инфраструктуры и развитие рекреационной деятельности. Физическая инфраструктура включает мосты, дороги, морские дамбы, плотины и паводковые шлюзы, а также объекты энергетики, например преобразователи ветровой и приливной энергии. Такими структурами создается субстрат — твердое дно, возможно наподобие рифа, которое могут заселить литоральные виды, приуроченные к скалистым поверхностям. В локальном масштабе это способно привести к повышению видового разнообразия, однако совокупным эффектом всё равно будет утрата местообитаний. В последние годы масштабность антропогенного изменения побережий резко усилилась: появились крупные проекты по созданию искусственных островов и полуостровных сооружений, призванных увеличить прибрежный жилищный фонд. Проявления воздействия этих проектов на литоральные сообщества пока не выяснены, так как вместе с завозимыми извне физическими материалами, камнями и песком в затрагиваемый регион будет попадать дополнительный чужеродный биоматериал. Строительство новых островов удушает местообитание, которое раньше занимало это пространство, и изменяет локальные гидродинамические условия и седиментацию, оборачиваясь удушением еще и прилегающих местообитаний. Кроме того, новые постройки характеризуются большей плотностью заселения людьми, что дополнительно сказывается на окружающей среде.

3. Экономические и социальные последствия

Океан (и в частности, его прибрежные акватории) влияет на достижение всех целей в области устойчивого развития¹. На литоральных ареалах нагляднее всего видно, какие товары и услуги предоставляются морскими экосистемами, а прибрежные местообитания ценны как своим биоразнообразием, так и своей полезностью для человека. В сфере эксплуатации морских ресурсов силен гендерный элемент, но при этом в Европе начиная с 1990-х годов появилось несколько женских рыбацких организаций (Frangoudes and others, 2014).

Биологические виды являются, вероятно, не самым оптимальным примером конкретной экосистемной услуги; что более важно — это их вклад в региональное биоразнообразие. Например, мидии и устрицы служат фильтраторами воды и источниками пищи, но в этих таксономических семействах двустворчатых моллюсков насчитывается свыше 300 видов (World Register of Marine Species Editorial Board, 2017), многим из которых соответствует обособленная экосистемная ниша или функция. Многие из этих видов широко культивируются и потребляются. В долгосрочной перспективе неразумно выбирать какой-то один вид для крупномасштабного разведения в аквакультурных хозяйствах на всех побережьях мира. Привлечение дополнительных видов из естественных ареалов той же местности позволяет поддерживать биоразнообразие и диверсифицировать людские ресурсы.

Нынешние антропогенные перемены в береговых линиях оказывают как положительное, так и отрицательное воздействие на биоразнообразие приливно-отливной зоны. Относительные воздействия различных антропогенных

нагрузок, упомянутых в разделе 2, ощущаются в развитых и развивающихся странах по-разному. Для борьбы с береговой абразией сооружаются жесткие конструкции — каменные отсыпи, или наброски. Используемые при этом материалы включают такие, которые создают пространство под местообитание литоральных организмов; это позволяет добиться локально значимой компенсации того местообитания, которое было утрачено, и улучшить снабжение людей дополнительными благами (Chapman and Underwood, 2011). Конструкции, рассчитанные на расширение пространства под местообитания, иногда называют «живыми морскими дамбами», и они могут смягчить некоторые последствия того, что побережье снабжается жесткой защитой. Искусственные субстраты, по всей видимости, также благоприятствуют нетуземным и инвазивным морским организмам, которые вытесняют местную фауну на скалистых субстратах (Tyrrell and Byers, 2007). Такие экоиженерные подходы могут если не смягчить, то сдержать утрату местообитаний из-за коммерческого освоения побережий. Еще одной формой модификации прибрежной зоны является приращение суши, которое может оказаться благотворным для людей в краткосрочной перспективе, однако снижает способность природных систем приносить другие блага, включая естественную защиту от волн и штормов. Изменения, сказывающиеся на физической защищенности и на доступе к продовольствию, подвергают прибрежные сообщества риску и затрагивают крайне важные вопросы, связанные с достижением таких целей в области устойчивого развития, которые касаются преодоления нищеты, получения образования и наличия продовольствия.

4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)

В зависимости от локальной прибрежной морфологии определенным регионам становятся более свойственны специфические типы место-

обитаний. Например, скалистые литоральные местообитания в умеренных широтах северной части Атлантического и Тихого океанов харак-

¹ См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

теризуются очень высоким биоразнообразием, а южно-атлантическое побережье Бразилии считается точкой, изобилующей макроводорослями (Miloslavich and others, 2016). Мангровые и коралловые ареалы (простирающиеся до сублиторальных глубин) являются характерными для тропических и субтропических побережий, которым подъем уровня моря угрожает сильнее всего.

Почти повсюду в мире нам больше известно о литоральных местообитаниях, чем о сублиторальных, за исключением точек, где побережье отличается суровостью условий или наличием значительных опасностей (например, где распространены гребнистые крокодилы), и высокоширотных областей, слабо или совсем не заселенных человеком. В антарктических и арктических регионах есть участки, где до сих пор совершенно не проводился сбор образцов прибрежной флоры и фауны. В тропических регионах, в частности в Юго-Восточной Азии, обитает колоссальное количество бионтов, которые не описаны, но всё чаще признаются в качестве новых видов, в частности благодаря молекулярно-генетическому анализу. Виды, испытывающие нагрузки в менее изученных районах, подвергаются более высокому риску потенциального исчезновения, поскольку нет возможности продумать надлежащие меры по их сохранению.

5. Перспективы

Перспективы расширения базы знаний о приливо-отливных местообитаниях являются во многих отношениях неплохими, так как при проведении морских исследований делается естественный акцент на литоральные и прибрежные области — из-за их доступности в большинстве регионов и их важности для человеческой деятельности. Приливо-отливные зоны включены в некоторые охраняемые морские районы.

Продолжающиеся изменения в литоральных местообитаниях чреваты потенциально суровыми социально-экономическими последствиями. Там, где хорошо освоены обширные ватты, а местное население сильно зависит от мор-

Искусственные местообитания тоже получают дифференцированное распространение, зависящее от местных условий. Выстроенные острова встречаются в основном в неглубоких защищенных морских акваториях Аравийского залива и Юго-Восточной Азии. Каменные отсыпи встречаются во всем мире, но их значимость в качестве пространства для среды обитания наиболее изучена в Австралии, Северной Америке и Европе. Преобразователи энергии, такие как шельфовые ветровые турбины, встречаются прежде всего в Европе и стали чаще появляться в Северной Америке (см. главу 21). Всё более востребованным становится освоение прибрежной среды не только под жилую застройку и градостроительство, но и для эксплуатации прибрежных ресурсов, например в виде аквакультуры и преобразования энергии, а вместе с этим возрастают пагубные воздействия на местообитания, покрытые растительностью. В таких регионах с интенсивной прибрежной урбанизацией, как Австралия, Ближний Восток, Азия, Европа и Соединенные Штаты, кое-где более половины доступной береговой линии подверглось модификации в результате инженерно-технических работ и строительства прибрежных сооружений (Dafforn and others, 2015). Изменение климата усиливает береговую абразию, что требует строительства дополнительных инженерных сооружений для жесткой защиты, таких как морские дамбы, и ускоряет модификацию побережий (Asif and Muneer, 2007).

ских экосистемных услуг (что характерно, например, для многих прибрежных районов в азиатских странах), сокращение литорального пространства из-за «прибрежного сжатия» будет иметь серьезные последствия в виде как сокращения площадей, так и уменьшения ресурсообеспеченности. Физическая деградация побережий из-за изменения климата будет опустошительно сказываться на локальной экономике. Драматический и комплексный характер имеют последствия, вызываемые биотической деградацией в результате изменения гидродинамики, появления инвазивных видов и чрезмерной эксплуатации. Уничтожение мангров

и биотических рифов устраняет естественные защитные компоненты побережья, оберегающие населенные пункты. Инвазивные виды сокращают местное биоразнообразие. Перелов рыбы или чрезмерная ориентация аквакультуры (сосредоточенной прежде всего в литорали) на монокультурное производство снижает питательные качества продукции и ставит под угрозу людское благосостояние. В прибрежных

районах располагаются ключевые элементы общественно значимой инфраструктуры, такие как электростанции, водоочистные сооружения и объекты транспортной сети (например, аэропорты), которым тоже угрожает подъем уровня моря. Защита прибрежных ареалов местной природы и охрана биоразнообразия приливно-отливной зоны принципиально важны для надежности жизненного уклада людей.

6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях

Чтобы обеспечивать устойчивость литоральных местообитаний, необходимо обратить особенно пристальное внимание на несколько тем. Медленные, кумулятивные системные сдвиги зачастую не замечаются до тех пор, пока изменение не станет катастрофическим. После того как некой среде причинен вред, устанавливаются целевые показатели для ее сохранения; это означает, что данная среда никогда не восстановится до по-настоящему здорового и устойчивого состояния (Plumeridge and Roberts, 2017). Даже применительно к европейским морям, известным, пожалуй, самой длительной непрерывной чередой фиксируемых наблюдений, в доиндустриальные «фоновые» данные уже заложено влияние антропогенных воздействий, а в малоизученных системах и во многих развивающихся странах эта проблема стоит гораздо острее.

Физические параметры приливно-отливной зоны и изменения береговой линии, связанные с антропогенными воздействиями и подъемом уровня моря, требуют дополнительных исследований, позволяющих создавать модели прогнозирования гидродинамических воздействий и небольшие модели локального масштаба, ко-

торые выстроены вокруг аналогичных систем, так чтобы по поведению одной хорошо изученной физической системы можно было прогнозировать воздействия в другом месте. В первой «Оценке состояния Мирового океана» была подчеркнута необходимость выяснить больше информации о том, как изменения в береговой линии приводят к смене одних типов местообитаний и видовых ареалов другими, однако серьезный пробел в знаниях по этой теме сохраняется. Наконец, за всеми перечисленными проблемами стоит острая необходимость в более подробных исследованиях биоразнообразия в малоизученных районах, особенно таких, которые характеризуются значительными пробелами в знаниях и меньшей развитостью научной инфраструктуры, но при этом сильны своим видовым разнообразием (Lira-Noriega and Soberón, 2015). Многие виды, даже в хорошо изученных приливно-отливных зонах, остаются без названия и научного описания. Без идентификации видов нет возможности достоверно подсчитать биоразнообразие местообитаний или осуществлять его мониторинг.

7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала

«Прибрежное сжатие» вызывает сокращение приливно-отливной среды: по одну сторону происходит подъем уровня моря, по другую — урбанизация местности людьми. При освоении этой среды человеком следует планировать будущее таким образом, чтобы оставлять прибрежным и литоральным местообитаниям пространство

для отступления в условиях всё более частых штормовых явлений и климатических возмущений и тем саямым сохранять эти важные защитные буферы.

Страны, где наиболее широко представлены видовое богатство и значимые ареалы биоразно-

образия, в большинстве своем являются развивающимися странами (Lira-Noriega and Soberón, 2015). Крайне необходимо содействовать выполнению фоновых исследований и осуществлению мониторинга, чтобы в развивающихся странах можно было составить и обновлять долгосрочные наборы данных по типу тех, которые имеются у развитых стран, особенно в Европе и Северной Америке. В развитых странах эффективным средством расширения мониторинга могут служить инструменты гражданской науки; при дальнейшем развитии таксономического потенциала этот подход можно было бы применять более широко.

Крайне необходимо также выстраивать таксономические инфраструктуры, отвечающие требованиям таких формирующихся технологий, как выяснение экологической ДНК, путем собирания образцов и каталогизации штрихкодов, а также развивать кадры путем обучения, передачи технологий и предоставления доступа к новейшим научным ресурсам и к данным и научной литературе в стране происхождения. Там, где нет таксономической инфраструктуры, невозможно использовать такие новые технологии, как ДНК-штрихкодирование. Штрихкоды позволяют распознавать только то, что уже присутствует в базе данных. Таксономическая инфраструктура

должна также включать наличие специальных навыков, литературы и ресурсов для поддержки фундаментальной науки. Без них не обойтись в налаживании надежных процессов оценки экологического воздействия, особенно в развивающихся странах. Кроме того, из этих инструментов фундаментальной науки вырастает способность к дальнейшему развитию потенциала для проведения оценок климатической уязвимости у ключевых морских организмов и местообитаний.

Притом что приливно-отливная зона включает в себя наиболее доступные (и наиболее уязвимые) местообитания, большая часть неописанных видов беспозвоночных и водорослей встречается в тропических мелководных морских экосистемах. Отсутствие способности к таксономической идентификации местных видов приводит к тому, что факты утраты видов, случаи вторжения видов при смещении ареалов и признаки экологических возмущений потенциально остаются незамеченными, а также затрудняет правильное распознавание инвазивных видов и принятие надлежащих мер для защиты местных ресурсов (Sigwart, 2018). Научная инфраструктура закладывает основу для последующего экономического роста и для охраны ресурсов окружающей среды.

Справочная литература

- Asif, M., and T. Muneer (2007). Energy supply, its demand and security issues for developed and emerging economies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, No. 7, pp. 1388–1413. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.12.004>.
- Burke, Loretta, and others (2000). *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Coastal Ecosystems*. Washington, D.C.: World Resources Institute. www.wri.org/publication/pilot-analysis-global-ecosystems-coastal-ecosystems.
- Chapman, M.G., and A.J. Underwood (2011). Evaluation of ecological engineering of “armoured” shorelines to improve their value as habitat. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 400, Nos. 1–2, pp. 302–313. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.02.025>.
- Curran, Sara, and others (2002). Interactions between Coastal and Marine Ecosystems and Human Population Systems: Perspectives on How Consumption Mediates this Interaction. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, vol. 31, No. 4, pp. 264–268. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.4.264>.
- Dafforn, Katherine A., and others (2015). Marine urbanization: an ecological framework for designing multifunctional artificial structures. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 13, No. 2, pp. 82–90. <https://doi.org/10.1890/140050>.
- Frangoudes, Katia, and others (2014). Women’s organisations in fisheries and aquaculture in Europe: History and future prospects. *MARE Publication Series*, vol. 9, pp. 215–231. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7911-2_12.

- Hewitt, Judi E., and others (2016). Multiple stressors, nonlinear effects and the implications of climate change impacts on marine coastal ecosystems. *Global Change Biology*, vol. 22, No. 8, pp. 2665–75. <https://doi.org/10.1111/gcb.13176>.
- Hoegh-Guldberg, Ove, and John F. Bruno (2010). The Impact of Climate Change on the World's Marine Ecosystems. *Science*, vol. 328, No. 5985, pp. 1523–1528. <https://doi.org/10.1126/science.1189930>.
- Leary, David, and Miguel Esteban (2009). Renewable energy from the ocean and tides: a viable renewable energy resource in search of a suitable regulatory framework. *Carbon & Climate Law Review*, No. 4, pp. 417–25.
- Lira-Noriega, Andrés, and Jorge Soberón (2015). The relationship among biodiversity, governance, wealth, and scientific capacity at a country level: Disaggregation and prioritization. *Ambio*, vol. 44, No. 5, pp. 391–400.
- Miloslavich, Patricia, and others (2016). Chapter 3: Benthic Assemblages in South American Intertidal Rocky Shores: Biodiversity, Services, and Threats. In *Marine Benthos: Biology, Ecosystem Functions and Environmental Impact*, ed. Rafael Riosmena-Rodríguez. Nova Science Publisher.
- Plumeridge, Annabel A., and Callum M. Roberts (2017). Conservation targets in marine protected area management suffer from shifting baseline syndrome: A case study on the Dogger Bank. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 116, Nos. 1–2, pp. 395–404.
- Pontee, Nigel (2013). Defining coastal squeeze: A discussion. *Ocean & Coastal Management*, vol. 84, pp. 204–7. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.07.010>.
- Sigwart, Julia D. (2018). *What Species Mean: A User's Guide to the Units of Biodiversity*. CRC Press.
- Tyrrell, Megan C., and James E. Byers (2007). Do artificial substrates favor nonindigenous fouling species over native species? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 342, No. 1, pp. 54–60.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- World Register of Marine Species (WoRMS) Editorial Board (2017). *World Register of Marine Species*. VLIZ. www.marinespecies.org.

Глава 7В

Биогенные рифы и песчаные, илистые и скалистые береговые субстраты

Участники: Джудит Гобин и Роналду Кристофолетти (совместные координаторы), а также Фредерик Гишар, Сергей Мединец, Джулия Сигурт и Эванхелина Швиндт.

Ключевые тезисы

- Биогенные рифы и песчаные, илистые и скалистые берега поддерживают высокое биоразнообразие и широкий спектр экосистемных услуг, полезных человеческим популяциям.
- В результате изменения климата, урбанизации и ресурсопользования они оказываются под давлением многочисленных стрессоров; на роль главных побудителей выдвинулись штормы, приращение суши, загрязняющие и заражающие вещества.
- Ощущается нехватка междисциплинарных исследований и партиципативного управления, которые позволяют повышать выносливость этих местообитаний и обеспечивать их устойчивое освоение.
- Благодаря своему культурному значению и важности для туризма во всем мире эти местообитания занимают уникальное положение для того, чтобы служить флагманами в деле продвижения роли океана в реализации Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года, включая предусмотренную там цель 14¹.

1. Введение

В прибрежных средах заключено множество ценных природных ресурсов, включая песчаные, илистые и скалистые берега и рифы. Все эти местообитания отмечаются высоким биоразнообразием (см. гл. 6 настоящей «Оценки»), и растёт количество исследований, посвящённых связанным с ними закономерностям, процессам и воздействиям. Не так давно был выполнен обзор биоразнообразия скалистых берегов и антропогенного влияния на них в региональных масштабах (Hawkins and others, 2019). Однако в понимании скалистых и илистых берегов на глобальном уровне сохраняется пробел. Что касается песчаных берегов, то, как показывают последние тенденции, их видовое богатство приурочено во всем мире к экорегионам, где температурные и широтные условия говорят в пользу видового богатства, увеличивающегося от умеренной зоны к тропической (Barboza and Defeo, 2015; рисунок I). Рифы как биогенные местообитания характеризуются всесветной встречаемостью в прибрежных системах, но различаются между разными биогеографическими регионами по своей протяженности и видовому составу (Firth and others, 2016). Если в тропических регионах они обычно образуются из карбоната кальция, выделяемого рифообразующими кораллами и обызвествленными красными водорослями на мелководье (Huang and Roy, 2015),

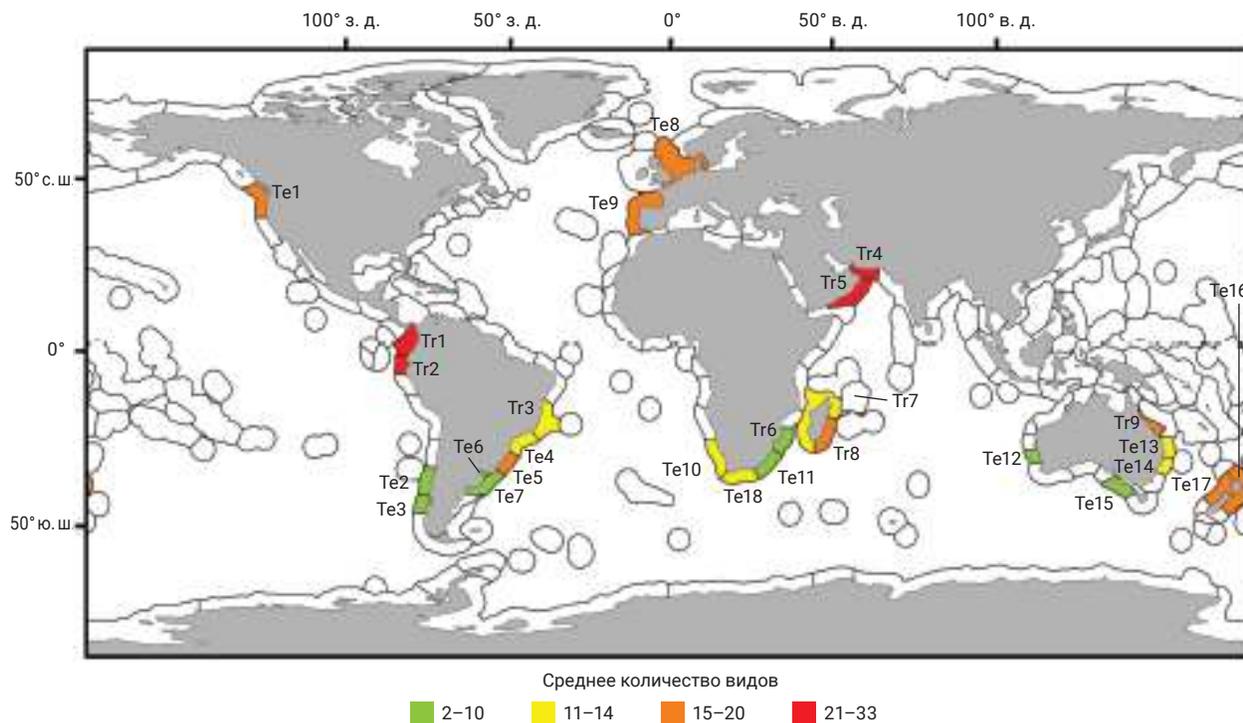
то в умеренных регионах они формируются из беспозвоночных, включая устриц, мидий и кольчатых червей (Barbier and others, 2008; Dubois and others, 2009; Firth and others, 2016; рисунок II).

В настоящей главе дается интегрированный обзор биогенных рифов и песчаных, илистых и скалистых берегов в литоральной и сублиторальной зонах: эти местообитания роднит их расположение на стыке моря с сушей. Они повсеместно встречаются в прибрежной зоне (Firth and others, 2016; Luijendijk and others, 2018; гл. 7А настоящей «Оценки») и связаны с различными экосистемами, включая атолловые и островные лагуны (гл. 7С), коралловые рифы (гл. 7D и 7Е), эстуарии и дельты (глава 7F), ламинариевые леса и водорослевые заросли (гл. 6G), луга морских трав (гл. 7G), мангры (гл. 7H) и соленые марши (гл. 7I). Они испытывают влияние многочисленных побудителей и проявлений океанографической динамики в масштабе от локального до глобального (гл. 4, 5 и 22). Чтобы свести к минимуму повторы и высветить взаимодействия, основное внимание в этой главе будет уделено биогенным рифам и песчаным, илистым и скалистым берегам. Следует отметить связь с другими главами (например, гл. 7А и 7G), в которых детализируются близкие местообитания, в особенности тропические и субтропические коралловые рифы (гл. 7D) и холодноводные кораллы (гл. 7Е).

¹ См. резолюцию 70/1 генеральной Ассамблеи.

Рисунок I

Видовое богатство песчаных пляжей в умеренных и тропических экорегионах



Источник: перепечатано из Barboza and Defeo, 2015; Spalding, M.D., and others, "Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas", Bioscience, vol. 57 (2007), pp. 573–583.

Примечание. Карта с экорегионами скачана с сайта http://maps.tnc.org/gis_data.html. Окончательный вариант карты сформирован с помощью gvSIG 1.12 (www.gvsig.org).

Сокращения: Те – умеренный экорегион; Тр – тропический экорегион; Те1 – побережье и шельф Орегона, Вашингтона и Ванкувера; Те2 – Араукания; Те3 – Чилоэ; Те4 – юго-восток Бразилии; Те5 – Риу-Гранди; Те6 – Ла-Плата; Те7 – шельф Уругвая и Буэнос-Айреса; Те8 – Северное море; Те9 – южно-европейский шельф Атлантики; Те10 – Намаква; Те11 – Натал; Те12 – Хаутмен; Те13 – Туид/Мортон; Те14 – Маннинг/Хоксбери; Те15 – к западу от Бассова пролива; Те16 – северо-восток Новой Зеландии; Те17 – центр Новой Зеландии; Те18 – банка Агульяс; Тр1 – Панамский залив; Тр2 – Гуаякиль; Тр3 – восток Бразилии; Тр4 – Оманский залив; Тр5 – запад Аравийского моря; Тр6 – Делагоа; Тр7 – запад и север Мадагаскара; Тр8 – юго-восток Мадагаскара; Тр9 – центр и юг Большого Барьерного рифа.

Биогенные рифы и песчаные, илистые и скалистые берега характеризуются высоким биоразнообразием (гл. 6) и являются источником экосистемных услуг (гл. 8 и 21), включая фильтрацию воды и круговорот питательных веществ (гл. 10 и 11). Существует тесная связь между их экосистемными услугами и урбанизацией (гл. 8), поскольку около 60 процентов людей в мире живут и зарабатывают себе на жизнь в прибрежных районах (Nicholls and others, 2007). Эти прибрежные среды, где активно развиты лодочные прогулки, рыбалка, серфинг, плавание и любование птицами (Everard and others, 2010; Rodríguez-Revelo and others, 2018), экономически

значимы для туризма, рекреационного, кустарного и коммерческого рыболовства, а также в силу их эстетической и рекреационной ценности (гл. 8 и 15). Такие среды также взаимосвязаны со многими аспектами развития, включая урбанизацию, аквакультуру и инфраструктуру (гл. 8, 14 и 16).

Широта спектра экосистемных услуг, предоставляемых такими местообитаниями, и их связь с прибрежной урбанизацией и защитой прибрежной зоны, делает их уязвимыми к воздействиям многочисленных стрессоров (гл. 25). На них продолжают негативно влиять загрязняющие и заражающие вещества, что проявляется, например, в поступлении чрезмерного объема нут-

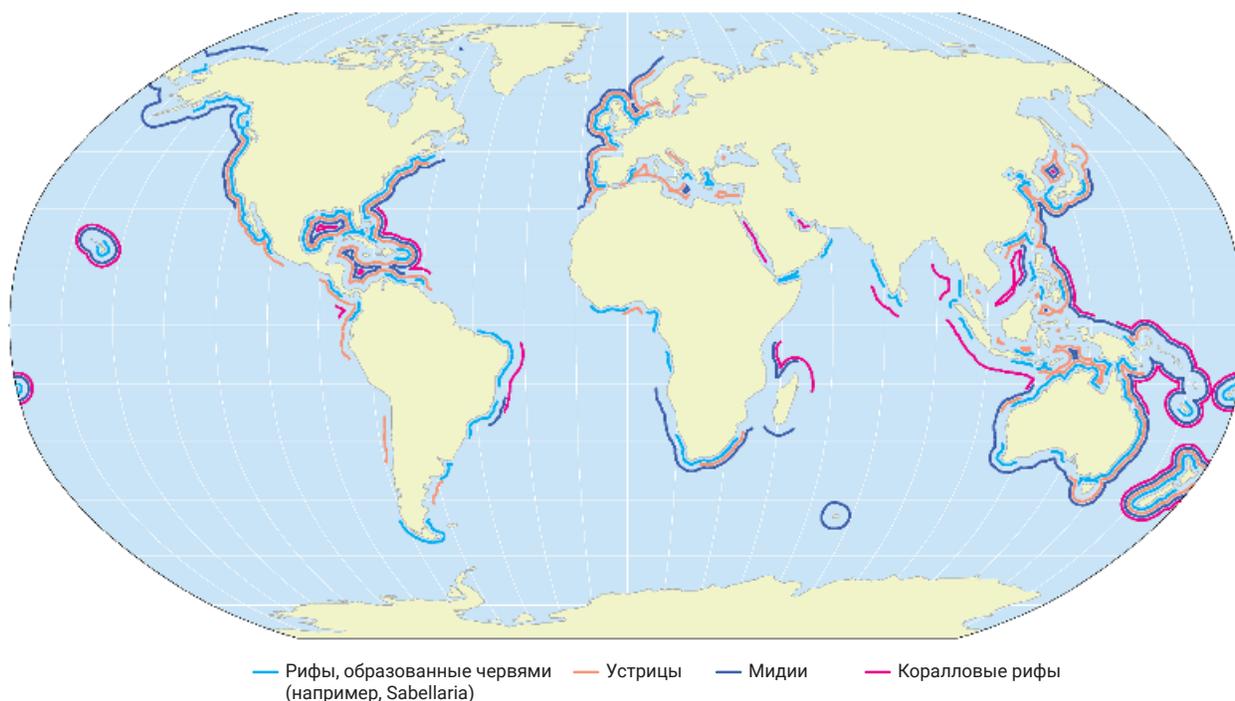
риентов из удобрений, токсичных химикатов и тяжелых металлов, сточных вод, отходов и пластика (гл. 10, 11 и 12), а также разведка и добыча полезных ископаемых, нефти и газа (гл. 11, 18 и 19); в последнее время фиксируется также угроза со стороны инвазивных видов (гл. 22). В то же время нагрузки, создаваемые изменением климата (гл. 9), приводят к усилению таких долгосрочных процессов, как седиментация и перемены в береговой абразии (гл. 13), которые способствуют сдвигам в формировании побережий, а также чреваты угрозами для жизни и имущества (Rangel-Buitrago and Anfuso, 2009; Le Duff and others, 2017).

Прибрежная зона – самый урбанизированный в мире регион: там находятся 15 из 20 мегаполисов (городов с населением свыше 10 млн человек). Как указывалось в первой «Оценке состояния Мирового океана» (United Nations, 2017), эта зона отмечается как разнообразием экосистемных услуг, предоставляемых местообитаниями,

так и конфликтом с усиливающейся урбанизацией. В настоящей главе будут рассмотрены замеченные изменения, происшедшие после первой «Оценки», в том числе приобретенные знания или прогресс в проводимой политике. В ней будет также приведен глобальный анализ песчаных берегов и указано на недостаточность общемировой информации о биогенных рифах и об илистых и скалистых берегах, которая необходима как фундамент для управления прибрежной зоной и морского пространственного планирования (гл. 26 и 27). Отмечая полезность береговой среды и те экономические блага, которые она дает, равно как и успехи в изучении песчаных берегов в глобальном масштабе, приходится констатировать, что отсутствует надежная глобальная оценка продолжительных тенденций в изменении побережий со скалистыми и илистыми субстратами и что до сих пор есть регионы, по которым очень мало информации и данных, характеризующих их экосистемы.

Рисунок II

Глобальное распространение прибрежных биогенных рифов (кораллы, мидии, устрицы, черви)



Источник: перепечатано из Firth and others, 2016. Данные заимствованы из Глобального информационного механизма по биоразнообразию (URL: www.gbif.org) и с сервиса Ocean Data Viewer, предлагаемого Всемирным центром мониторинга природоохраны Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (URL: <https://data.unep-wcmc.org>).

Примечание. Создатель карт – Шон Луин из Плимутского университета.

2. Зафиксированные изменения в состоянии биогенных рифов и песчаных, илистых и скалистых береговых субстратов

Как указывалось во введении, угрозы для биогенных рифов и песчаных, илистых и скалистых берегов могут быть вызваны множеством экологических и антропогенных побудителей (в числе экологических могут быть и экстремальные: штормовые нагоны, ураганы, землетрясения, цунами, наводнения, эпизоды жары). Такие побудители возникают и в локальном, и в региональном, и в глобальном масштабах, причем на многих этих уровнях доминируют антропогенные факторы изменений (Mentaschi and others, 2018).

На изменения в биогенных рифах и песчаных, илистых и скалистых берегах влияют различные компоненты морского ландшафта. При этом мангры, родолиты и водорослевые заросли, глубокие зоны, коралловые рифы и луга морских трав реагируют на стрессоры по-разному. Происходят также осаждение веществ из атмосферы в прибрежные зоны (Medinets and Medinets, 2010, 2012; Medinets, 2014) и сброс отложений и нутриентов из эстуариев и пресноводных акваторий в прибрежные морские системы (Teixeira and others, 2018; Oelsner and Stets, 2019). Наличие этих естественных связей (гл. 7А–7I) явно указывает на взаимосвязанность и комплексность прибрежных систем (Elliott and others, 2019; Kermagoret and others, 2019): изменения в одном местообитании будут влиять на динамику других местообитаний, включая связанные с ними экосистемные услуги (Narayan and others, 2016; Osorio-Cano and others, 2019).

За последнее десятилетие биогенные рифы и песчаные, илистые и скалистые берега стали всё сильнее затрагиваться изменением климата, которое повлияло на экологические закономерности, биоразнообразие и экосистемное функционирование. Прогнозируется дальнейшее усиление масштаба и частоты экстремальных явлений — мощных волн, эпизодов жары и аномалий температуры и осадков (Herring and others, 2018; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2018). Изменение количества дней, по которым температура превышает специфические для каждого вида пороги, или перемены в режимах дождливости и засушливости

способны приводить к сублетальному стрессу, вызывая физиологические и поведенческие изменения у организмов, в частности населяющих приливно-отливные и мелководные зоны (Pinsky and others, 2019; Rilov and others, 2019). Изменения частотности и интенсивности явлений могут подводить организмы к физиологически летальным уровням, увеличивая смертность и модифицируя биоразнообразие, ареал распространения видов и экосистемные услуги, предоставляемые такими местообитаниями (Poloczanska and others, 2013).

В экологическом контексте скальные литоральные субстраты высоких широт подвержены истиранию льдом (Scrosati and Ellrich, 2018; гл. 7А и 7К). Песчаные, илистые и скалистые берега по всему миру сталкиваются также с усилением волн и с экстремальным выпадением осадков (Mentaschi and others, 2018), что влияет на динамику отложений, абразию, перемещение каменистого материала и оползни — т. е. на факторы, способные изменять биологические сообщества песчаных и скалистых берегов в районах, подверженных воздействию волн (Petrovic and Guichard, 2008; Castelle and others, 2018). Изменения в динамике волн и учащение экстремальных погодных явлений изменяют также состав отложений (Masselink and others, 2016) и перенос личинок к берегу (Mazzucco and others, 2015). Кроме того, учащение случаев экстремального выпадения осадков в тропических и субтропических районах влияет на соленость прибрежной воды и перенос отложений, а также на привнесение питательных, загрязняющих и заражающих веществ из сухопутной и пресноводной среды (Lana and others, 2018). Кумулятивное воздействие и влияние таких стрессоров, которое можно наблюдать как у отдельных организмов, так и у сообществ, приводит к утрате биоразнообразия и к переменам в функционировании прибрежных экосистем (O’Gorman and others, 2012; Ellis and others, 2017), сказываясь на экосистемных услугах, а также на коммерческих, рекреационных и эстетических ценностях.

На рифы и песчаные, илистые и скалистые берега влияют не только изменение прибрежной

океанографической динамики и учащение экстремальных явлений в результате изменения климата (гл. 9), но и другие побудители — например, разведка морского дна (гл. 18), урбанизация (гл. 8 и 14) и искусственные прибрежные инфраструктуры (гл. 7А и 14), — которые вызывают загрязнение (гл. 10, 11 и 12) и перемены в процессах абразии и седиментации (гл. 13). Песчаные пляжи присутствуют на побережьях всего мира: их доля колеблется от 22 процентов на европейских побережьях до 66 процентов на африканских, причем их относительная распространенность возрастает в субтропиках и в нижней полосе средних широт (20–40°) и уменьшается (<20 процентов) во влажных тропиках, где из-за высоких температур и обильных осадков наиболее распространены оказываются илистые субстраты и мангры (рисунок III; Luijendijk and others, 2018). С течением времени и с ростом интенсивности выбросов парниковых газов усиливалась абразия песчаных пляжей (Vousdoukas and others, 2020). Как в региональном масштабе, так и в масштабе соседствующих участков побережья наблюдается чередование абразионных и аккреционных тенденций (Vousdoukas and others, 2020). За 1984–2016 годы более 50 процентов песчаных берегов мира пострадало от изменений хронического и острого характера, причем 24 процента берегов испытывали абразию, чьи темпы превысили 0,5 м в год, а 27 процентов — аккрецию (Luijendijk and others, 2018; рисунок IV). Если брать континентальные масштабы, то в Океании и Африке происходила в нетто-выражении абразия, а на всех других континентах — аккреция, причем наиболее высокие ее темпы (1,27 м/год) отмечались в Азии (Luijendijk and others, 2018), что вызвано, скорее всего, деятельностью по приращению суши и возведению искусственных сооружений (Luijendijk and others, 2018; гл. 14). На глобальном уровне относительно высокий процент абразии отмечается для песчаных побережий, зарегистрированных во Всемирной базе данных об охраняемых районах: абразии, темпы которой превышают 0,5 м в год, подвергаются 37 процентов охраняемых песчаных побережий (на такие побережья приходится 32 процента от всех охраняемых морских побережий), а аккреции — 32 процента (Luijendijk and others, 2018).

Перемены в абразии и седиментации, а также появление искусственных сооружений способны в различных масштабах напрямую влиять на био-

разнообразию и экосистемные услуги. Усиление прибрежной инфраструктуры, призванной избежать абразии, требует упрочения «голубой инженерии» как подхода к устойчивому развитию (Firth and others 2016; Strain and others, 2018). Высказывались предложения использовать для развития морской инфраструктуры и приращения суши коралловый бетон (Wang and others, 2018; Liu and others, 2018), однако для обеспечения устойчивого развития крайне важно понимать источник, объем необходимого кораллового материала и последствия его извлечения из окружающей среды, ведь коралловые рифы выполняют важную биологическую, химическую и физическую функцию в динамике прибрежных районов и в сценарии изменения климата (гл. 7D и 7E).

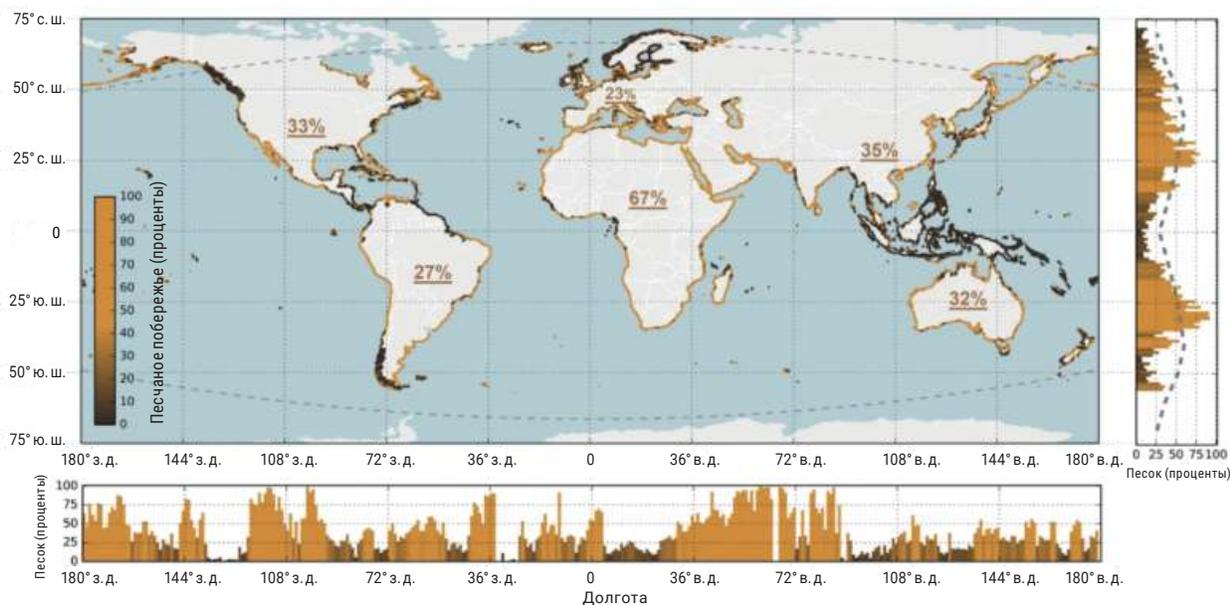
Понимание того, как урбанизация сказывается на прибрежных зонах, требует рассмотрения нескольких ключевых стрессоров (включая антропогенные побудители), которые действуют в прибрежной зоне. Во всем мире умножились инвазивные виды (гл. 22) (Seebens and others, 2017), появление которых затронуло все типы субстратов. Ожидается, что биологические инвазии участвуют в результате морских перевозок, а также разрастания в береговой зоне прибрежной инфраструктуры, образующей новый субстрат для скалистых и рифовых организмов (Ivkić and others, 2019; Sardain and others, 2019). Кроме того, недавно появившиеся наборы данных по всему миру указывают на факты загрязнения с суши (загрязнение нутриентами, агрохимикаты, сброс сточных вод, химическое заражение стойкими органическими поллютантами в виде фармацевтических препаратов, пестициды и тяжелые металлы), прибрежной урбанизации, приращения суши и разливов нефти, которые изменяют местообитания, усиливают загрязнение и порождают как сублетальные, так и летальные процессы, воздействующие на биоразнообразие илистых, песчаных и скалистых берегов и на экосистемное здоровье (Kovalova and others, 2010; Snigirov and others, 2012; Environmental Monitoring of the Black Sea (EMBLAS), 2019; Martinez and others, 2019; Zhai and others, 2020). Многие виды воздействия на берега зарождаются в морских акваториях или в глубине суши. В первом случае речь идет, например, о разливах нефти (Escobar, 2019; Soares and others, 2020); во втором — об отходах горно-обогатительных работ, которые случайно

падают в прибрежную зону через речной сток, достигают песчаных, илистых и скалистых берегов и оказывают на их биоразнообразие и экосистемные услуги масштабное и продолжительное воздействие (Queiroz and others, 2018). При этом также затрагивается местное и коренное население, выживание которого зависит от таких экосистемных услуг (Dadalto and others, 2019).

В заключение стоит отметить, что еще одним примером того, как прибрежная урбанизация сказывается на биогенных рифах и песчаных, илистых и скалистых берегах в локальном масштабе, является негативное воздействие на них туризма и человеческой эксплуатации (Mendez and others, 2017). Выяснено, что искусственное освещение по ночам изменяет структуру сообществ макробеспозвоночных на песчаных берегах (Garratt and others, 2019) и влияет на трофические взаимодействия на скалистых берегах (Underwood and others, 2017; Maggi and

Benedetti-Cecchi, 2018). В свою очередь, тень от объектов искусственной инфраструктуры может влиять на биоразнообразие и экосистемное функционирование на скалистых берегах (Pardal-Souza and others, 2017). Продемонстрировано, что на биоразнообразии песчаных, илистых и скалистых берегов негативно сказываются не только такие факторы, как замусоривание, шум и добычные работы (EMBLAS, 2019), но и вытаптывание (Leite and others, 2012; Schlacher and Thompson, 2012; Kim and others, 2018). Пластиковое и химическое загрязнение стало глобальной угрозой для морской среды, и особенно это проявляется на песчаных берегах, замусоривание которых пластиком усилилось как в результате его попадания туда из-за океанографических и метеорологических явлений (Krelling and Turra, 2019), так и в результате его прямого выбрасывания местными жителями и туристами (EMBLAS, 2019).

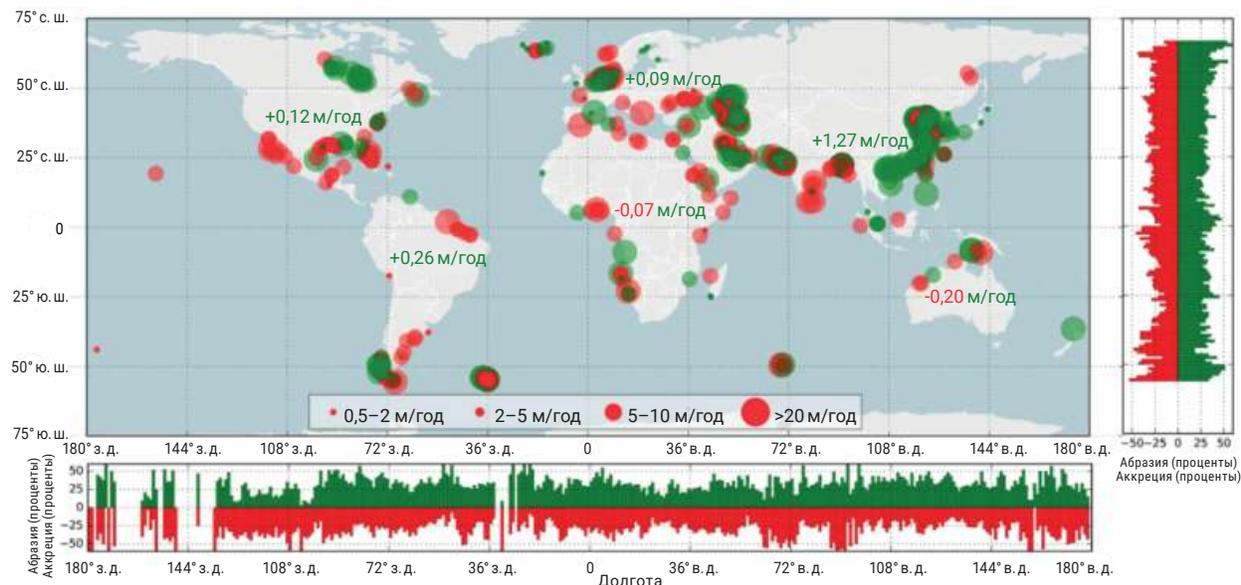
Рисунок III
Глобальное распространение песчаных побережий



Источник: перепечатано из Luijendijk and others, 2018.

Примечания. Цветные точки вдоль береговой линии мира дают представление о местной доле песчаных побережий (желтый цвет – песчаные; темно-коричневый – не песчаные). Врезка справа показывает относительную встречаемость песчаных побережий на градус широты, причем пунктирной линией изображено широтное распространение песчаных побережий (см. Hayes, M.O., “Relationship between coastal climate and bottom sediment type on the inner continental shelf”, *Marine Geology*, vol. 5, No. 2 (1967), pp. 111–132). Врезка снизу показывает относительную встречаемость песчаных побережий на градус долготы. Изогнутыми пунктирными линиями серого цвета на основной карте показаны границы свободных ото льда побережий, рассмотренных в этом анализе. Подчеркнутые процентные величины указывают на долю песчаных побережий в среднем по континенту. Карта построена с помощью Python 2.7.12 (URL: www.python.org) и с привлечением Cartopy 0.15.1 [автор: британское Метеорологическое управление; URL: <https://pypi.python.org/pypi/Cartopy/0.15.1>] и Matplotlib (Hunter, J.D., “Matplotlib: a 2D graphics environment”. *Computing in Science & Engineering*, vol. 9, No. 3 (2007)).

Рисунок IV
Глобальные очаги пляжной абразии и аккумуляции



Источник: перепечатано из Luijendijk and others, 2018.

Примечания. Красными кружками изображена береговая абразия; зелеными — береговая аккумуляция; размер кружков соответствует одному из четырех диапазонов динамики этих процессов (см. легенду). Врезка справа показывает относительную частотность абразии или аккумуляции песчаных побережий на градус широты; врезка снизу — то же на градус долготы. Цифрами на основной карте указана скорость изменения всех песчаных побережий в среднем по континенту. Карта построена с помощью Python 2.7.12 (URL: www.python.org) и с привлечением Cartopy 0.15.1 (автор: британское Метеорологическое управление; URL: <https://pypi.python.org/pypi/Cartopy/0.15.1>, and Matplotlib (Hunter, J.D., “Matplotlib: a 2D graphics environment”, *Computing in Science & Engineering*, vol. 9, No. 3 (2007)).

3. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия

Прибрежные местообитания — первая точка соприкосновения человеческого общества с океаном. Они предоставляют множество прямых и косвенных услуг, включая пространство для отдыха и спорта, налаженность химико-физические процессы в окружающей среде, наличие биологических и рыбных ресурсов и защищенность береговой линии. Человеческие популяции множеством способов исследуют рифы и песчаные, илистые и скалистые берега в полосе от литоральной до сублиторальной зоны, формируя при этом отношения, которые на протяжении веков претерпевали изменения, в последние десятилетия ускорившиеся (Biedenweg and others, 2016; Zhai and others, 2020).

Песчаные и скалистые берега предоставляют пространство и природные ресурсы для отды-

ха, спорта, обучения и научных исследований, а также для традиционных, религиозных и культурных практик, которых придерживаются коренные народы и традиционные сообщества, и выступают в качестве достопримечательностей для приезжающих горожан и туристов (Everard and others, 2010). Время, проводимое в прибрежной среде, и здоровое состояние этой среды весьма благотворны для физического, психического и духовного здоровья человека (Gascon and others, 2017; Marseille and others, 2019). Связь человека с окружающей средой выстраивается им психологически через ощущение родного места и идентичности, осознание своей причастности и принадлежности к природе, чувство гордости за свое окружение и впитывание в себя оздоравливающих свойств приятного ланд-

шафта — притом что окружающая среда влияет на людей и физически, предоставляя им такие осязаемые услуги, как снабжение пищей (Biedenweg and others, 2016). Наконец, илистые, песчаные и скалистые берега также полезны обществу экономически: урбанизированные побережья подвергаются предпринимательскому и промышленному освоению, которое может сопровождаться созданием рабочих мест и вовлечением населения в управление, способствуя тем самым гласности, коллективности и авторитетности принимаемых хозяйственных решений (Biedenweg and others, 2016).

Важность рифов и песчаных, илистых и скалистых берегов проявляется для человеческих сообществ в разных районах мира сходным образом. Данные местообитания опосредованно значимы для благополучия этих сообществ, оказывая множество таких экосистемных услуг, как фильтрация воды, биоразнообразие, биотехнология, круговорот питательных веществ, поглощение углерода, защита прибрежной зоны и влияние на пелагическую первичную продукцию (Hoerterer and others, 2020). За последнее время изучено много видов, представляющих биотехнологический интерес, что указывает на потенциал для научного и экономического развития (Park and others, 2019; Girão and others, 2019). На биогенных рифах и песчаных, илистых и скалистых берегах обитают организмы, представляющие экономический интерес, прежде всего моллюски, ракообразные и рыбы, которые особенно важны как источник белка и дохода для сообществ, чей жизненный уклад основан на традиционном рыболовстве (например, Gelsich and others, 2019).

Важность услуг, предоставляемых песчаными, илистыми и скалистыми берегами, для человеческого благополучия и экономики объясняет активность урбанизации и туризма в прибрежных регионах, получающих от этого важный экономический вклад (Nitivattananon and Srinonil, 2019). Однако чем сильнее побережье заселено, тем большей нагрузке оно подвергается. Контраст между более чистыми и более загрязненными районами делает их неравноценными для туризма или любительского и кустарного рыболовства (Qiang and others, 2019). Слабо затронутые, естественные песчаные и скалистые берега стано-

вятся важным туристическим объектом как для отдыха, так и для сноркелинга (Drius and others, 2019). Чистые и здоровые берега привлекают множество туристов, что подстегивает развитие регионального туристического сектора. Вместе с тем рекреационная и туристическая активность сильно повышает уязвимость песчаных и скалистых берегов, так как создает нагрузки в виде загрязнения и изменения естественной среды обитания многих организмов в результате появления там искусственных сооружений (Strain and others, 2018; Drius and others, 2019). Контраст между более чистыми и более загрязненными берегами приводит к разнородности морских пейзажей и разной туристической популярности объектов вдоль побережья. Усиление изменений на побережьях из-за изменения климата, других антропогенных воздействий и абразии может влиять на динамику туризма, приводя к сокращению посещаемости районов, затронутых сильнее, и к росту посещаемости районов, затронутых слабее. Такие перемены будут влиять на прибрежные сообщества и на местных жителей, работающих в секторе туризма и сопутствующих ему сферах, не только в экономическом отношении, но и в социальном, культурном и психологическом (Jarratt and Davies, 2019; You and others, 2018).

Инвестирование в планы по устойчивому развитию прибрежных районов приносит многочисленные экономические, социальные и экологические выгоды. Давление урбанизации нарастает, ибо люди стремятся улучшить свое благополучие и пользоваться преимуществами прибрежной среды. Скалистые берега, как правило, не подвергаются интенсивной эксплуатации напрямую, но они относятся к числу самых впечатляющих и привлекательных ландшафтов, по причине чего вокруг них вырастают местные сообщества, где дома нередко располагаются в пределах 100 м от берега. Илистые берега являются непростыми, но прибыльными участками для тех, кто занимается развитием рынка недвижимости, инвестированием в него и частной застройкой. По этой причине в таких районах часто ведется неумеренное строительство, и многие действующие строительные нормы и стандарты игнорируются. В результате естественным берегам наносится ущерб, в том числе огромными оползнями, негативно сказывающимися на морской экосистеме. Песчаные берега испытывают отрицательное

воздействие урбанизации в виде уничтожения прибрежной растительности и расчистки земель, что усиливает нестабильность перед лицом экстремальных явлений и абразии и ведет к ослаблению защищенности береговой линии (Defeo and others, 2009). Спрос на прибрежное жилье побудил к строительству искусственных островов. Между тем ускоренное сооружение таких объектов во многих регионах происходило без сколь-нибудь детального рассмотрения его экологических последствий как для мест, откуда в больших масштабах извлекается песок, служащий строительным материалом, так и для локальных экосистем, которые в ходе строительных работ подвергаются возмущению или вытеснению (Rahman, 2017a, 2017b).

Изменения в береговой линии, подъем уровня моря, экстремальные явления и туристическая активность приводят к переменам в восприятии окружающей среды населением и к увеличению социальных конфликтов в прибрежной зоне (Robinson and others, 2019; Whitney and Van, 2019). Можно говорить о том, что высокие волны благоприятствуют работе волновых электростанций, усиливая вырабатываемую мощность, однако продолжающееся увеличение средней высоты волны представляет угрозу для физиче-

ской генераторной инфраструктуры, конструкционная выносливость которой уже находится на пределе (Penalba and others, 2018).

Непростая картина, которая вырисовывается из того, какие экосистемные услуги предоставляются песчаными, илистыми и скалистыми берегами, какие побудители влияют на эти среды, как проявляется конфликт между их использованием и их сохранением, а также какие блага получает население и каким воздействиям оно подвергается, подчеркивает важность устойчивого развития. Сложность системы, в которой интегрируются разные местообитания, способность управлять такой системой и возникающие при этом вызовы указывают на важность морского пространственного планирования для поддержки и регулирования использования этих сред, важность Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года и предусматриваемых ею целей, в том числе цели 14, а также важность установления задач по снижению воздействий на песчаные, илистые и скалистые берега (Kidd and others, 2020; Borja and others, 2020).

4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)

По арктическим и южным регионам Мирового океана информации мало, но в других его регионах зафиксированы изменения. Вдоль берегов Северо-Западной Атлантики, северо-восточной части Тихого океана и Северного и Черного морей серьезным фактором предстают океанографические побудители, проявляющиеся в волновом возмущении (Voorhies and others, 2018), истирании льдом (Scrosati and Ellrich, 2018) и учащении экстремальных погодных явлений (Smale and Wernberg, 2013), которые воздействуют на скалистые берега приливно-отливной зоны, приводя при этом к изменению переноса отложений, что сказывается на илистых и песчаных берегах (Masselink and others, 2016), и усиливая абразию и перемещение каменистого материала, что может оборачиваться изменением биологических сообществ в областях, подверженных воздействию волн (Petrovic and Guichard, 2008; Castelle and

others, 2018). Изменения в динамике волн в этих регионах отражаются также на стыковке между бенталью и пелагиалью и на экосистемном функционировании (Griffiths and others, 2017), влияя на количество личинок (Mazzucco and others, 2018), органический материал (Massé Jodoin and Guichard, 2019), температуру и гипоксические явления (Vaquer-Sunyer and Duarte, 2011).

За последние годы на большинстве участков северо-западного побережья Черного моря произошло сужение песчаного берега (Allenbach and others, 2015) и расширение растительного покрова (Allenbach and others, 2015). В свою очередь, у устьев Дуная и Днестра из-за поступления речных наносов уменьшилась глубина шельфовых вод (Anton and others, 2017), что также привело к образованию кое-где прибрежных дюн. При этом на востоке Черного моря отмечается береговая абразия, связанная с истощением на-

носов в стоке речных вод из-за строительства плотин и проведения инженерных работ (Kosyan and Velikova, 2016). За последние десятилетия илистые и скалистые берега подверглись значительной абразии из-за оползней, вызванных как климатическими, так и антропогенными факторами (Freiberg and others, 2010, 2011; Goryachkin, 2013; Tātui and others, 2019). Повышенные темпы абразии зарегистрированы на побережьях, прилегающих к сельской местности, где нет волноломов, а также вокруг острова Змеиный (Cherkez and others, 2006, 2020; Goryachkin, 2013). Влияние всех этих факторов в совокупности с действием социально-экономических побудителей, выражающемся в неумеренной застройке берегов и в активизации рекреационной и туристической деятельности ради увеличения доходов, многогранно отразилось на береговой линии (Goryachkin, 2013; Stanchev and others, 2013, 2018; Kucuksezgin and others, 2019).

Океанографические побудители вызывают также береговую абразию и сокращение площади песчаных участков на берегах Аргентины и Бразилии в Юго-Западной Атлантике, влияя при этом на энергию волн и количество личинок в результате учащения экстремальных явлений и холодных фронтов (Mazzuco and others, 2015, 2018). Изменения в абразионном режиме и воздействия на побережье сказываются на экономике местных сообществ и меняют их восприятие естественных прибрежных экосистем на атлантическом побережье Южной Америки в целом (Bunicontro and others, 2015). Наряду с таким постоянно присутствующим побудителем, как изменение океанографической динамики и его влияние на прибрежные местообитания, крупной проблемой в Юго-Западной Атлантике стали экологические бедствия (Gil and others, 2019; Marcovecchio and others, 2019). За последние пять лет произошли две аварии, когда отходы горно-обогатительных работ в глубине суши достигли прибрежной зоны, в результате чего пострадали различные местообитания, включая рифы и песчаные, илистые и скалистые берега и сообщества в Бразилии, и один разлив нефти, захвативший более чем 3000-километровый участок побережья (Escobar, 2019; Soares and others, 2020). Такие бедствия оборачиваются очень продолжительными и масштабными последствиями для окружающей сре-

ды, экосистемных услуг и людских сообществ, тем более если учесть кумулятивный эффект от океанско-климатических побудителей, действие которых может приводить к ресуспендированию химических веществ в отложениях с песчаных и илистых берегов (Queiroz and others, 2018; Dadalto and others, 2019).

В регионе Индийского океана из-за строительства искусственных островов создались новые локальные навигационные опасности, обусловленные незащищенностью установок, призванных предотвращать абразию, и незаконным сбросом отходов материалов (Rahman, 2017a). Из-за новых сооружений поменялись также пути к рыбным промыслам (Rahman, 2017b). Результаты первоначальной детальной экологической экспертизы одного проекта в Малайзии побудили пересмотреть план расположения новых островов, чтобы предотвратить гибель подводного луга, отличающегося многообразием морских трав (Williams, 2016; гл. 7G). Вместе с тем дальнейшее и долгосрочное воздействие на окружающую среду требует постоянного анализа.

Глобальное обследование показывает, что побережья западной части Тихого океана и восточной части Атлантического океана являются очагами концентрации нескольких загрязнителей и что на них влияет потепление климата (Lu and others, 2018). Притом что тихоокеанское побережье испытывает на себе воздействие многих побудителей, которые ощущаются и в других регионах, характер серьезной проблемы в восточной части Тихого океана приобретают изменения климата и океанско-климатические явления (Xiu and others, 2018). Восточное побережье Тихого океана является одной из самых продуктивных морских экосистем благодаря наличию систем апвеллинга, которые считаются наиболее значимым побудителем изменений на песчаных, илистых и скалистых берегах (Randall and others, 2020). Ожидается, что в северной части Тихого океана повысившаяся интенсивность апвеллинга, связанная с усилением вдольбереговых ветров в прибрежной зоне (Xiu and others, 2018), изменит экосистемное функционирование на песчаных, илистых и скалистых берегах, поскольку поменяются океанографические условия и поступление нутриентов. В южной части Тихого океана изменения в системе Перу-

анского течения по-разному влияют на разные страны (например, ветры, благоприятствующие апвеллингу, у берегов Чили усиливаются, а у берегов Перу ослабевают) (Bertrand and others, 2019). Тихоокеанское побережье испытывает на себе сильное воздействие Эль-Ниньо и экстремальных погодных явлений, которые могут участиться и повлиять на береговую линию и на прибрежные экосистемные услуги, предоставляемые ареалами песчаных, илистых и скали-

стых берегов (Bertrand and others, 2019). Изменение климата и связанные с ним воздействия влияют на естественную прибрежную динамику песчаных и скалистых берегов и на услуги, предоставляемые их ареалами, включая рыболовство, аквакультуру, абразию и туризм, поскольку учащаются экстремальные явления, которые на сегодняшний день так остро не воспринимаются (Aguilera and others, 2019).

5. Перспективы

При сценарии «обычный ход деятельности» рифы и песчаные, илистые и скалистые берега во всем мире будут подвергаться воздействию, что приведет к серьезной потере экосистемных услуг. Ожидается, что в среднесрочном плане (примерно 20 лет) все проблемы существенно усугубятся и что произойдет утрата значительных участков естественного побережья, сопровождаемая негативными социально-экономическими и культурными последствиями. Заселенность побережий людьми усиливается, вследствие чего возрастают объемы загрязнителей и отходов и другие факторы, влияющие на песчаные, илистые и скалистые берега. Расширение прибрежной инфраструктуры и приращение суши будут ускорять этот процесс, и на сегодняшний день мало что известно о том, как будут в долгосрочном отношении сказываться на побережьях перемены в гидродинамике, биоразнообразии и источниках материала для создания объектов такой инфраструктуры. С другой стороны, если прибрежная урбанизация будет развиваться в духе «голубой инженерии», это позволит активизировать инициативы в области устойчивого развития (гл. 7А; Strain and others, 2018) и повысить у общественности осознание ценности прибрежных экосистем и социально-экологических прибрежных систем по линии «океанской грамотности» (Santoro and others, 2017; Fleming and others, 2019).

Между населенностью прибрежных районов и экосистемными услугами биогенных рифов и песчаных, илистых и скалистых берегов существует прямая связь, причем рост населения и интенсивность использования природных ресурсов могут оказаться выше, чем выносливость

береговой зоны. В то же время изменение климата будет увеличивать частоту и интенсивность штормов, достигающих побережья (IPCC, 2018). Со стороны океана следует ожидать изменений в океанско-климатических побудителях, чье воздействие на береговую линию будет проявляться в усилении энергии волн, абразии, переноса отложений и подъема уровня моря, включая сокращение приливно-отливного ареала некоторых берегов (Herring and others, 2018). Со стороны суши следует ожидать ситуации, когда из-за увеличения количества осадков будет нарушаться перемещение наносов, а из сухопутных и пресноводных сред в прибрежные местообитания станет поступать больше питательных, загрязняющих и заражающих веществ (Lana and others, 2018). Ожидается, что к 2050 году с серьезной абразией могут столкнуться 13,6–15,2 процента (36 097–40 511 км) песчаных пляжей в мире, а к концу столетия – 35,7–49,5 процента (95 061–131 745 км). Это означает, что к концу столетия у ряда стран может появиться проблема в виде масштабной абразии песчаных пляжей (Vousdoukas and others, 2020).

На биоразнообразии, экосистемных услугах и здоровье окружающей среды продолжают сказываться кумулятивные эффекты изменения климата и других антропогенных влияний. Согласно концепции «Единое здравоохранение», выдвинутой Всемирной организацией здравоохранения, эти неисчезающие множественные стрессоры будут отражаться на благополучии и здоровье людей (Fleming and others, 2019). Можно также ожидать, что усиление заселенности и застроенности прибрежных районов будет приводить к усилению культурного конфликта у традицион-

ных и коренных сообществ, сталкивающихся с разрастанием городов и активизацией промышленной деятельности. Происходящие в разных районах рост загрязнения ресурсов, утрата биоразнообразия, изменения в береговой линии и рост конфликтов, сопровождающихся утратой местных и автохтонных знаний и традиций, будут иметь негативные экономические последствия, так как повлекут за собой сокращение туризма и необходимость увеличивать инвестиции в здравоохранительный, экономический и инфраструктурный секторы, обслуживающие граждан

региона. С другой стороны, в некоторых регионах проведенные исследования показали, что учет традиционных экологических знаний в процессах управления способен приводить к уменьшению конфликтов и упрочению позитивного устойчивого развития (Stori and others, 2019; Van Assche and others, 2019). В свою очередь, внедрение комплексного управления водосборными бассейнами способно выступать в качестве серьезного инструмента, помогающего управлять прибрежными морскими системами (Henderson and others, 2020).

6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала

За последние десятилетия удалось расширить знания о биогенных рифах и песчаных, илистых и скалистых берегах, что позволяет нам лучше понять их важность и испытываемые ими критические воздействия. Новые изображения со спутников и результаты моделирования тоже служат источником важных данных, которые с применением разных научных дисциплин позволяют визуализировать изменения и выявлять участки высокого риска (Sagar and others, 2017; Mentaschi and others, 2018). Однако определенные пробелы в знаниях сохраняются. Несмотря на научные достижения последнего времени, у нас слишком мало информации для точной проработки средне- или долгосрочных сценариев. Кроме того, многие регионы мира, например Южная Атлантика, Большой Карибский район и западная часть Тихого океана, характеризуются несбалансированностью региональных знаний и объема имеющихся данных. Большинство доступных данных во всем мире — это итог локальных и региональных анализов, а глобальных выкладок, которые позволяли бы провести критический обзор состояния прибрежных местообитаний, насчитывается очень мало. Здесь нужно оговориться, что по песчаным берегам существует более четкая глобальная оценка, делающая возможной разработку планов действий по смягчению воздействий на них (Luijendijk and others, 2018; Voudoukas and others, 2020). Что же касается биогенных рифов и илистых и скалистых берегов, то глобальный анализ их

биоразнообразия и испытываемых ими воздействий пока отсутствует. Учитывая нарастание таких воздействий и нехватку наборов данных, важно усовершенствовать научные регламенты, практические возможности и базы данных для стандартизованного отслеживания индикаторов, которые позволяли бы судить о биоразнообразии, экосистемном функционировании и экологических побудителях применительно к биогенным рифам и песчаным, илистым и скалистым берегам в общемировом масштабе. На данный момент многие научные данные собираются на локальном уровне с использованием разных регламентов, что исключает всякую возможность их интеграции в рамках регионального или глобального анализа.

Необходимо продвигать междисциплинарные научные исследования, так чтобы с помощью сочетания естественных и общественных наук можно было генерировать научные данные о человеческом измерении окружающей среды (McKinley and others, 2020), в частности применительно к биогенным рифам и песчаным, илистым и скалистым берегам. Учитывая диапазон и взаимосвязанность дисциплин, имеющих отношение к биогенным рифам и песчаным, илистым и скалистым берегам, по причине их высокого биоразнообразия и предоставляемых ими экосистемных услуг (включая присутствие человека на берегах приливно-отливной зоны), равно как и всех сопутствующих экономических и здравоохранительных услуг, необходимо

интегрированным образом применять естественные и общественные науки для продвижения чутких к природе вариантов, «голубой инженерии», экосистемной выносливости и человеческого благополучия (McKinley and others, 2020; Stepanova and others, 2020). Необходимо расширить знания о множественных побудителях, воздействующих на такие местообитания, чтобы лучше понимать угрозы, создаваемые для этих местообитаний как отдельно взятыми побудителями, так и в результате синергического проявления сразу нескольких стрессоров. Повышение знаний о влиянии множественных стрессоров будет способствовать большей научной обоснованности принимаемых решений.

Важно, чтобы потенциал для развития науки наращивался посредством многосекторального сотрудничества, при котором научные вопросы становятся объектом рассмотрения при наличии не только научных пробелов, но и пробелов социального, управленческого и экономического свойства (Lubchenco and others, 2019; Urban and others, 2020). Лицам, принимающим решения и формирующим политику, нужны надежные исследования, чтобы устранять практические проблемы при распоряжении ресурсами и био-разнообразием. Актуальной темой является морское пространственное планирование, которое дает отличный пример того, как применение

многостороннего и междисциплинарного подхода в интересах устойчивого развития позволяет справляться с конфликтами в прибрежной зоне и преодолевать воздействия, испытываемые биогенными рифами и песчаными, илистыми и скалистыми берегами (Kidd and others, 2020). Кроме того, мы должны стремиться к пониманию человеческого измерения такой среды, как биогенные рифы и песчаные, илистые и скалистые берега, включать это измерение в исследования названной среды, а также усиливать освещение и усвоение соответствующих вопросов по линии «океанской грамотности» (Santoro and others, 2017). Относящиеся к этой среде местообитания можно использовать как флагман для пропаганды роли науки в реализации Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года, включая цель 14. Расширение научных знаний о том, как интегрировать человеческое и природное измерения в исследования, посвященные воздействиям на биогенные рифы и песчаные, илистые и скалистые берега и сохранению этих местообитаний, будет приводить к упрочению научного фундамента для формирования передовых практик управления прибрежной зоной, основывающихся на многостороннем партнерстве и на понимании важности океана, прибрежных местообитаний и множественных стрессоров, которые на них сказываются.

Справочная литература

- Aguilera, Moisés A., and others (2019). Chapter 29 – Chile: environmental status and future perspectives. In *World Seas: An Environmental Evaluation*, ed. Charles Sheppard, pp. 673–702. Elsevier.
- Allenbach, Karin, and others (2015). Black Sea beaches vulnerability to sea level rise. *Environmental Science & Policy*, vol. 46, pp. 95–109.
- Anton, Catalin, and others (2017). An analysis of the coastal risks in the Romanian nearshore. *Mechanical Testing and Diagnosis*, vol. 7, No. 1, pp. 18–27.
- Barbier, Edward B., and others (2008). Coastal ecosystem-based management with nonlinear ecological functions and values. *Science*, vol. 319, No. 5861, pp. 321–323.
- Barboza, Francisco Rafael, and Omar Defeo (2015). Global diversity patterns in sandy beach macrofauna: a biogeographic analysis. *Scientific Reports*, vol. 5, No. 1, pp. 1–9.
- Bertrand, Arnaud, and others (2019). Climate change impacts, vulnerabilities and adaptations: Southwest Atlantic and Southeast Pacific marine fisheries. *Impacts of Climate Change on Fisheries and Aquaculture*, p. 325.

- Biedenweg, Kelly, and others (2016). A holistic framework for identifying human wellbeing indicators for marine policy. *Marine Policy*, vol. 64, pp. 31–37.
- Borja, Angel, and others (2020). Moving Toward an Agenda on Ocean Health and Human Health in Europe. *Frontiers in Marine Science*, vol. 7, art. 37.
- Bunicontro, M. Paula, and others (2015). The effect of coastal defense structures (mounds) on southeast coast of Buenos Aires province, Argentine. *Ocean & Coastal Management*, vol. 116, pp. 404–413.
- Castelle, Bruno, and others (2018). Increased winter-mean wave height, variability, and periodicity in the Northeast Atlantic over 1949–2017. *Geophysical Research Letters*, vol. 45, No. 8, pp. 3586–3596.
- Cherkez, E.A., and others (2020). Using of Landsat Space Images to Study the Dynamic of Coastline Changes in the Black Sea North-Western Part in 1983-2013. In XIXth International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects (11-14 May 2020), EAGE and AUAG, Kyiv, Ukraine.
- Cherkez, E.A., and others (2006). Landslide protection of the historical heritage in Odessa (Ukraine). *Landslides*, vol. 3, No. 4, pp. 303–309.
- Dadalto, Maria Cristina, and others (2019). Changes perceived by traditional fishing communities after a major dam disaster in Brazil. *International Journal of Environmental Studies*, 1–9.
- Defeo, Omar, and others (2009). Threats to sandy beach ecosystems: a review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 81, No. 1, pp. 1–12.
- Drius, Mita, and others (2019). Tackling challenges for Mediterranean sustainable coastal tourism: An ecosystem service perspective. *Science of the Total Environment*, vol. 652, pp. 1302–1317.
- Dubois, Stanislas, and others (2009). Feeding response of the polychaete *Sabellaria alveolata* (*Sabellariidae*) to changes in seston concentration. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 376, No. 2, pp. 94–101.
- Elliott, Michael, and others (2019). A synthesis: what is the future for coasts, estuaries, deltas and other transitional habitats in 2050 and beyond? In *Coasts and Estuaries*, pp. 1–28. Elsevier.
- Ellis, J.I., and others (2017). Multiple stressor effects on marine infauna: responses of estuarine taxa and functional traits to sedimentation, nutrient and metal loading. *Scientific Reports*, vol. 7, No. 1, art. 12013. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12323-5>.
- Environmental Monitoring of the Black Sea (EMBLAS) (2019). 12-Months National Pilot Monitoring Studies in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2016-2017. In *Final Scientific Report*, J. Slobodnik and others, eds. European Commission and UNDP. http://emblasproject.org/wp-content/uploads/2019/07/EMBLAS-II_NPMS_12_months-2016_2017_FinDraft2.pdf.
- Escobar, Herton (2019). Mystery oil spill threatens marine sanctuary in Brazil. *Science*, vol. 366, No. 6466, pp. 672–672. <https://doi.org/10.1126/science.366.6466.672>.
- Everard, Mark, and others Watts (2010). Have we neglected the societal importance of sand dunes? an ecosystem services perspective. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 20, No. 4, pp. 476–487.
- Firth, Louise B., and others (2016). Ocean sprawl: challenges and opportunities for biodiversity management in a changing world. In *Oceanography and Marine Biology*, pp. 201–278. CRC Press.
- Fleming, Lora E., and others (2019). Fostering human health through ocean sustainability in the 21st century. *People and Nature*, vol. 1, No. 3, pp. 276–83. <https://doi.org/10.1002/pan3.10038>.
- Freiberg, E., and others (2010). Some Peculiarities and Results of Explorations of Deformation Processes of The Rocks of Adzhalykskiy Firth Valley Slopes. In *ISRM International Symposium-6th Asian Rock Mechanics Symposium*. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.
- Freiberg, E., and others (2011). The Impact of Structural-Tectonic and Lithogenous Peculiarities of the Rock Mass on the Formation and Development of Geo-Deformation Processes. In *12th ISRM Congress*. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.

- Garratt, Matthew J., and others (2019). Mapping the consequences of artificial light at night for intertidal ecosystems. *Science of The Total Environment*, vol. 691, pp. 760–768.
- Gascon, Mireia, and others (2017). Outdoor blue spaces, human health and well-being: a systematic review of quantitative studies. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol. 220, No. 8, pp. 1207–1221.
- Gelcich, Stefan, and others (2019). Comanagement of small-scale fisheries and ecosystem services. *Conservation Letters*, vol. 12, No. 2, e12637. <https://doi.org/10.1111/conl.12637>.
- Gil, Mónica Noemí, and others (2019). Southern Argentina: The Patagonian Continental Shelf. In *World Seas: An Environmental Evaluation*, pp. 783–811. Elsevier.
- Girão, Mariana, and others (2019). Actinobacteria isolated from *Laminaria ochroleuca*: A source of new bioactive compounds. *Frontiers in Microbiology*, vol. 10, art. 683.
- Goryachkin, Yuri N. (2013). Ukraine. In *Coastal Erosion and Protection in Europe*, Enzo Pranzini and Allan Williams, eds., pp. 413–426. London: Routledge.
- Griffiths, Jennifer R., and others (2017). The importance of benthic–pelagic coupling for marine ecosystem functioning in a changing world. *Global Change Biology*, vol. 23, No. 6, pp. 2179–96. <https://doi.org/10.1111/gcb.13642>.
- Hawkins, Stephen J., and others (2019). *Interactions in the Marine Benthos*. vol. 87. Cambridge University Press.
- Henderson, C.J., and others (2020). Landscape transformation alters functional diversity in coastal seascapes. *Ecography*, vol. 43, pp. 138–148. <https://doi.org/10.1111/ecog.04504>.
- Herring, Stephanie C., and others (2018). Explaining extreme events of 2016 from a climate perspective. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 99, No. 1, pp. S1–S157.
- Hoerterer, Christina, and others (2020). Stakeholder perspectives on opportunities and challenges in achieving sustainable growth of the blue economy in a changing climate. *Frontiers in Marine Science*.
- Huang, D.W., and K. Roy (2015). The future of evolutionary diversity in reef corals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370, 20140010.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2018). *Special Report on Global Warming of 1.5°C (SR1.5)*.
- Ivkić, Angelina, and others (2019). The potential of large rafting objects to spread Lessepsian invaders: the case of a detached buoy. *Biological Invasions*, vol. 21, No. 6, pp. 1887–1893.
- Jarratt, David, and Nick J. Davies (2019). Planning for climate change impacts: coastal tourism destination resilience policies. *Tourism Planning & Development*, 1–18.
- Kermagoret, Charlène, and others (2019). How does eutrophication impact bundles of ecosystem services in multiple coastal habitats using state-and-transition models. *Ocean & Coastal Management*, vol. 174, pp. 144–153.
- Kidd, Sue, and others (2020). Marine spatial planning and sustainability: examining the roles of integration-scale, policies, stakeholders and knowledge. *Ocean & Coastal Management*, vol. 191, p. 105182.
- Kim, Tae Won, and others (2018). Effect of Mudflat Trampling on Activity of Intertidal Crabs. *Ocean Science Journal*, vol. 53, No. 1, pp. 101–6. <https://doi.org/10.1007/s12601-018-0004-4>.
- Kosyan, R. D., and V. N. Velikova (2016). Coastal zone – Terra (and aqua) incognita – Integrated Coastal Zone Management in the Black Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 169, pp. A1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.11.016>.
- Kovalova, N., and others (2010). Long-term changes of bacterioplankton and chlorophyll a as indicators of changes of north-western part of the Black Sea ecosystem during the last 30 years. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, vol. 11, No. 1, pp. 191–198.

- Krelling, Allan Paul, and Alexander Turra (2019). Influence of oceanographic and meteorological events on the quantity and quality of marine debris along an estuarine gradient. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 139, pp. 282–98. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.049>.
- Kucuksegin, Filiz, and others (2019). Chapter 12 - The Coasts of Turkey. In *World Seas: An Environmental Evaluation (Second Edition)*, ed. Charles Sheppard, pp. 307–32. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805068-2.00015-2>.
- Lana, Paulo da Cunha, and others (2018). Benthic estuarine assemblages of the Southeastern Brazil Marine Ecoregion (sbme). In *Brazilian Estuaries: A Benthic Perspective*, Paulo da Cunha Lana and Angelo Fraga Bernardino, eds., pp. 117–75. Cham, Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77779-5_5.
- Le Duff, M., and others (2017). Coastal Erosion Monitoring on Ouvea Island (New Caledonia): Involving the Local Community in Climate Change Adaptation. In *Climate Change Adaptation in Pacific Countries*, pp. 255–268. Springer.
- Leite, Lucas G., and others (2012). Abundance of biofilm on intertidal rocky shores: Can trampling by humans be a negative influence? *Marine Environmental Research*, vol. 79, pp. 111–115.
- Liu, Jinming, and others (2018). Literature review of coral concrete. *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 43, No. 4, pp. 1529–1541.
- Lu, Yonglong, and others (2018). Major threats of pollution and climate change to global coastal ecosystems and enhanced management for sustainability. *Environmental Pollution*, vol. 239, pp. 670–80. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.016>.
- Lubchenco, Jane, and others (2019). Connecting science to policymakers, managers, and citizens. *Oceanography*, vol. 32, No. 3, pp. 106–115.
- Luijendijk, Arjen, and others (2018). The State of the World's Beaches. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 6641. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6>.
- Maggi, Elena, and L. Benedetti-Cecchi (2018). Trophic compensation stabilizes marine primary producers exposed to artificial light at night. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 606, pp. 1–5.
- Marcovecchio, Jorge E., and others (2019). The Northern Argentine Sea. In *World Seas: An Environmental Evaluation*, ed. Charles Sheppard, pp. 759–781. Elsevier.
- Marselle, Melissa R., and others (2019). Review of the Mental Health and Well-being Benefits of Biodiversity. In *Biodiversity and Health in the Face of Climate Change*, Melissa R. Marselle and others, eds., pp. 175–211. Cham, Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02318-8_9.
- Martinez, Aline S., and others (2019). Functional responses of filter feeders increase with elevated metal contamination: Are these good or bad signs of environmental health? *Marine Pollution Bulletin*, vol. 149, p. 110571.
- Massé Jodoin, Julien, and Frédéric Guichard (2019). Non-resource effects of foundation species on meta-ecosystem stability and function. *Oikos*, vol. 128, No. 11, pp. 1613–1632.
- Masselink, Gerd, and others (2016). Extreme wave activity during 2013/2014 winter and morphological impacts along the Atlantic coast of Europe. *Geophysical Research Letters*, vol. 43, No. 5, pp. 2135–43. <https://doi.org/10.1002/2015GL067492>.
- Mazzuco, Ana Carolina de Azevedo, and others (2015). Temporal variation in intertidal community recruitment and its relationships to physical forcings, chlorophyll-a concentration and sea surface temperature. *Marine Biology*, vol. 162, No. 9, pp. 1705–1725.
- Mazzuco, Ana Carolina de Azevedo, and others (2018). The influence of atmospheric cold fronts on larval supply and settlement of intertidal invertebrates: Case studies in the Cabo Frio coastal upwelling system (SE Brazil). *Journal of Sea Research*, vol. 137, pp. 47–56.

- McKinley, E., and others (2020). Marine social sciences: looking towards a sustainable future. *Environmental Science & Policy*.
- Medinets, S., and V. Medinets (2010). Results of investigations of atmospheric pollutants fluxes in Zmeiny Island in Western part of the Black Sea in 2003-2007 years. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, vol. 11, No. 3, pp. 1030–1036.
- Medinets, Sergiy (2014). The black sea nitrogen budget revision in accordance with recent atmospheric deposition study. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 14, No. 5, pp. 981–992.
- Medinets, Sergiy, and Volodymyr Medinets (2012). Investigations of atmospheric wet and dry nutrient deposition to marine surface in western part of the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 12, No. 5, pp. 497–505.
- Mendez, María M., and others (2017). Effects of recreational activities on Patagonian rocky shores. *Marine Environmental Research*, vol. 130, pp. 213–220.
- Mentaschi, Lorenzo, and others (2018). Global long-term observations of coastal erosion and accretion. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, pp. 1–11.
- Narayan, Siddharth, and others (2016). The effectiveness, costs and coastal protection benefits of natural and nature-based defences. *PloS One*, vol. 11, No. 5.
- Nicholls, R., and others (2007). Coastal systems and low-lying areas. In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Martin Parry and others, eds., pp. 315–357. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Nitivattananon, Vilas, and Sirinapha Srinonil (2019). Enhancing coastal areas governance for sustainable tourism in the context of urbanization and climate change in eastern Thailand. *Advances in Climate Change Research*, vol. 10, No. 1, pp. 47–58.
- O’Gorman, Eoin J., and others (2012). Multiple anthropogenic stressors and the structural properties of food webs. *Ecology*, vol. 93, No. 3, pp. 441–48. <https://doi.org/10.1890/11-0982.1>.
- Oelsner, Gretchen P., and Edward G. Stets (2019). Recent trends in nutrient and sediment loading to coastal areas of the conterminous us: insights and global context. *Science of the Total Environment*, vol. 654, pp. 1225–1240.
- Osorio-Cano, Juan D., and others (2019). Ecosystem management tools to study natural habitats as wave damping structures and coastal protection mechanisms. *Ecological Engineering*, vol. 130, pp. 282–295.
- Pardal-Souza, André Luiz, and others (2017). Shading impacts by coastal infrastructure on biological communities from subtropical rocky shores. *Journal of Applied Ecology*, vol. 54, No. 3, pp. 826–835.
- Park, Hae-Ryung, and others (2019). Transcriptomic response of primary human airway epithelial cells to flavoring chemicals in electronic cigarettes. *Scientific Reports*, vol. 9, No. 1, pp. 1–11.
- Penalba, Markel, and others (2018). Wave energy resource variation off the west coast of Ireland and its impact on realistic wave energy converters’ power absorption. *Applied Energy*, vol. 224, pp. 205–219.
- Petrovic F., and F. Guichard (2008). Scales of *Mytilus* spp. population dynamics: importance of adult displacement and aggregation. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 356, pp. 203–14.
- Pinsky, Malin L., and others (2019). Greater vulnerability to warming of marine versus terrestrial ectotherms. *Nature*, vol. 569, No. 7754, pp. 108–11. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1132-4>.
- Poloczanska, Elvira S., and others (2013). Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*, vol. 3, No. 10, pp. 919–25. <https://doi.org/10.1038/nclimate1958>.
- Qiang, Mengmeng, and others (2019). Loss of tourism revenue induced by coastal environmental pollution: a length-of-stay perspective. *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 28, No. 4, pp. 550–567.
- Queiroz, Hermano M., and others (2018). The Samarco mine tailing disaster: a possible time-bomb for heavy metals contamination? *Science of the Total Environment*, vol. 637, pp. 498–506.

- Rahman, Serina (2017a). *Johor's Forest City Faces Critical Challenges*. Trends in Southeast Asia 3. ISEAS Yusof Ishak Institute.
- _____ (2017b). *The Socio-Cultural Impacts of Forest City*. ISEAS Yusof Ishak Institute. <http://hdl.handle.net/11540/7217>.
- Randall, Carly J., and others (2020). Upwelling buffers climate change impacts on coral reefs of the eastern tropical Pacific. *Ecology*, vol. 101, No. 2. e02918. <https://doi.org/10.1002/ecy.2918>.
- Rangel-Buitrago, N., and G. Anfuso (2009). Assessment of coastal vulnerability in La Guajira Peninsula, Colombian Caribbean Sea. *Journal of Coastal Research*, pp. 792–796.
- Rilov, Gil and others (2019). Adaptive marine conservation planning in the face of climate change: what can we learn from physiological, ecological and genetic studies? *Global Ecology and Conservation*, vol. 17, e00566. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00566>.
- Robinson, Danielle, and others (2019). Community perceptions link environmental decline to reduced support for tourism development in small island states: a case study in the Turks and Caicos Islands. *Marine Policy*, vol. 108, art. 103671.
- Rodríguez-Revelo, Natalia, and others (2018). Environmental services of beaches and coastal sand dunes as a tool for their conservation. In *Beach Management Tools - Concepts, Methodologies and Case Studies*, Camilo M. Botero, and others, eds., pp. 75–100. Cham, Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58304-4_5.
- Sagar, Stephen, and others (2017). Extracting the intertidal extent and topography of the Australian coastline from a 28 year time series of Landsat observations. *Remote Sensing of Environment*, vol. 195, pp. 153–169.
- Santoro, Francesca and others (2017). *Ocean Literacy for All - A Toolkit*.
- Sardain, Anthony, and others (2019). Global forecasts of shipping traffic and biological invasions to 2050. *Nature Sustainability*, vol. 2, No. 4, pp. 274–282.
- Schlacher, Thomas A., and Luke Thompson (2012). Beach recreation impacts benthic invertebrates on ocean-exposed sandy shores. *Biological Conservation*, vol. 147, No. 1, pp. 123–132.
- Scrosati, Ricardo A., and Julius A. Ellrich (2018). Benthic-pelagic coupling and bottom-up forcing in rocky intertidal communities along the Atlantic Canadian coast. *Ecosphere*, vol. 9, No. 5, e02229. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2229>.
- Seebens, Hanno, and others (2017). No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications*, vol. 8, No. 1, art. 14435. <https://doi.org/10.1038/ncomms14435>.
- Smale, Dan A., and Thomas Wernberg (2013). Extreme climatic event drives range contraction of a habitat-forming species. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 280, No.1754. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2829>.
- Snigirov, Sergey, and others (2012). The fish community in Zmiinyi Island waters: structure and determinants. *Marine Biodiversity*, vol. 42, No. 2, pp. 225–239.
- Soares, Marcelo de Oliveira, and others (2020). Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster. *Marine Policy*, vol. 115, art. 103879.
- Stanchev, Hristo, and others (2018). Analysis of shoreline changes and cliff retreat to support Marine Spatial Planning in Shabla Municipality, Northeast Bulgaria. *Ocean & Coastal Management*, vol. 156, pp. 127–40. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.06.011>.
- Stanchev, Hristo, and others (2013). Integrating GIS and high resolution orthophoto images for the development of a geomorphic shoreline classification and risk assessment—a case study of cliff/bluff erosion along the Bulgarian coast. *Journal of Coastal Conservation*, vol. 17, No. 4, pp. 719–28. <https://doi.org/10.1007/s11852-013-0271-2>.

- Stepanova, Olga, and others (2020). Understanding mechanisms of conflict resolution beyond collaboration: an interdisciplinary typology of knowledge types and their integration in practice. *Sustainability Science*, vol. 15, No. 1, pp. 263–279.
- Stori, Fernanda Terra, and others (2019). Traditional ecological knowledge supports ecosystem-based management in disturbed coastal marine social-ecological systems. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 571. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00571>.
- Strain, Elisabeth M.A., and others (2018). Eco-engineering urban infrastructure for marine and coastal biodiversity: Which interventions have the greatest ecological benefit? *Journal of Applied Ecology*, vol. 55, No. 1, pp. 426–41. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12961>.
- Tătui, Florin, and others (2019). The Black Sea coastline erosion: index-based sensitivity assessment and management-related issues. *Ocean & Coastal Management*, vol. 182, art. 104949.
- Teixeira, I.G., and others (2018). Response of phytoplankton to enhanced atmospheric and riverine nutrient inputs in a coastal upwelling embayment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 210, pp. 132–141.
- Underwood, Charlotte N., and others (2017). Artificial light at night alters trophic interactions of intertidal invertebrates. *Journal of Animal Ecology*, vol. 86, No. 4, pp. 781–789.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Urban, Edward R., and others (2020). The importance of bottom-up approaches to international cooperation in ocean science. *Oceanography*, vol. 33, No. 1, pp. 11–15.
- Van Assche, Kristof, and others (2019). Governance and the coastal condition: towards new modes of observation, adaptation and integration. *Marine Policy*, vol. 112. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.01.002>.
- Vaquer-Sunyer, Raquel, and Carlos M. Duarte (2011). Temperature effects on oxygen thresholds for hypoxia in marine benthic organisms. *Global Change Biology*, vol. 17, No. 5, pp. 1788–97. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02343.x>.
- Voorhies, Kristen J., and others (2018). Longstanding signals of marine community structuring by winter storm wave-base. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 603, pp. 135–146.
- Vousdoukas, Michalis I., and others (2020). Sandy coastlines under threat of erosion. *Nature Climate Change*, vol. 10, No. 3, pp. 260–63. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0697-0>.
- Wang, Aiguo, and others (2018). The development of coral concretes and their upgrading technologies: a critical review. *Construction and Building Materials*, vol. 187, pp. 1004–1019.
- Whitney, Charlotte K., and Natalie C. Ban (2019). Barriers and opportunities for social-ecological adaptation to climate change in coastal British Columbia. *Ocean & Coastal Management*, vol. 179, art. 104808.
- Williams, Joseph Marcel R. (2016). Evaluating the diverse impacts of megaprojects: the case of Forest City in Johor, Malaysia. PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/105036>.
- Xiu, Peng, and others (2018). Future changes in coastal upwelling ecosystems with global warming: The case of the California Current System. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 2866.
- You, Soojin, and others (2018). Coastal landscape planning for improving the value of ecosystem services in coastal areas: using system dynamics model. *Environmental Pollution*, vol. 242, pp. 2040–2050.
- Zhai, Tianlin, and others (2020). Assessing ecological risks caused by human activities in rapid urbanization coastal areas: towards an integrated approach to determining key areas of terrestrial-oceanic ecosystems preservation and restoration. *Science of The Total Environment*, vol. 708, art. 135153.

Глава 7С

АТОЛЛОВЫЕ И ОСТРОВНЫЕ ЛАГУНЫ

Участники: Колин Д. Вудрофф (координатор), Фернанда ди Оливейра Лана, Дейвид Обура, Артур П. Уэбб и Кэрен Эванс (ведущий участник, ответственный за подглаву).

Ключевые тезисы

- Здоровье атоллов и островных лагун, а также устойчивость сообществ, у которых от них зависит жизненный уклад, сталкиваются с многочисленными экологическими ограничителями и стрессорами, которые часто усугубляются действиями человека.
- Острова на атоллах и других коралловых рифах являются низколежащими и сильно уязвимыми к воздействиям изменения климата, в частности подъему уровня моря; у разных островов реакция на эти воздействия будет, вероятно, неодинаковой.
- Изменение климата угрожает кораллорифовым экосистемам, сказываясь на обитаемости островов. Особенно серьезно проявляются

обесцвечивание кораллов, абразия и затопление островов, карбонатное растворение и последствия экстремальных явлений, таких как тропические штормы.

- Освоенные, урбанизированные атолловые острова всё больше зависят от внедрения инженерных решений, в которых «жесткие» варианты необходимо интегрировать с «зелеными» и «голубыми», чтобы избежать непреднамеренных воздействий. В свою очередь, менее населенные, сельские островные сообщества зависят от здоровья, продуктивности и функционирования окружающих морских и прибрежных экосистем.

1. Введение

Низколежащие тропические коралловые рифы и атолловые острова с приуроченными к ним лагунными системами — это геологически молодые образования, сформировавшиеся в последние несколько тысячелетий. Их формирование и существование лимитируются такими факторами, как уровень моря, биологическая продукция отложений из карбоната кальция, а также океанические и атмосферные условия, которые преобразуют эти отложения, переносят их и подвергают их переосаждению. Острова разбросаны по рифообразующим морям и нередко расположены весьма изолированно. Роднящие их черты — это низкая расположенность, мало-размерность и подверженность воздействию морской обстановки вокруг них. Живущим на них сообществам, которые ведут натуральное хозяйство и чья продовольственная безопасность изо дня в день неразрывно связана с промыслом на близлежащих рифах, эти острова предлагают скудный агрономический потенциал и ограниченные ресурсы пресной воды в подземных источниках. Для агроэкологической стабильности и услуг, от которых зависят местные сообщества, важны также ассоциированные с такими островами морские и прибрежные экосистемы, включая морские травы, мангры и наземную растительность.

В первой «Оценке состояния Мирового океана» (United Nations, 2017b) атолловые острова и ла-

гуны отдельно не анализировались, однако в ее главе 7 (United Nations, 2017a) описывались производство и вклад карбонатов в прибрежные отложения, а в других главах упоминались атоллы. Особенно актуальной в настоящей «Оценке» является глава 7D, посвященная тропическим и субтропическим коралловым рифам, а в главе 7G содержится дополнительный материал о лугах морских трав.

Не так давно был подготовлен обзор, в котором делался вывод о том, что к атоллам можно отнести 439 объектов в разных районах мира (Goldberg, 2016). Насчитывается 268 атоллов с ассоциированными рифовыми островами, но в настоящей главе рассматриваются также песчаные отмели и галечные моту на других коралловых рифах, которые по своему поведению сходны с островами, образующимися по краям атоллов. Атоллы наиболее многочисленны в Тихом океане (84 процента атоллов находятся в его акваториях, включая Южно-Китайское море и воды Филиппинского и Индонезийского архипелагов); приблизительно 13 процентов расположены в Индийском океане и менее 3 процентов — в Карибском бассейне (Goldberg, 2016). Во Французской Полинезии насчитывается 83 атолла (почти 20 процентов от их общемирового количества). По восточной кромке единой атолловой системы Табитеуэа располагается около 50 островов, имеющих собствен-

ные названия. В Южной Атлантике встречается единственный атолл — Рокас, который Бразили объявила полностью заповедным охраняемым районом (Pereira and others, 2010; Soares and others, 2011). В Индийском океане большинство атолловых образований сосредоточено в Мальдивском и Лаккадивском архипелагах, хотя отдельные атоллы (например, Альдабра и Глорьёз) встречаются и в других местах.

Формирование атоллов и связанных с ним островов было впервые объяснено Чарлзом Дарвином (Darwin, 1874). Когда остров вулканического происхождения оседает, вплоть до погружения ниже уровня моря, он обрастает по кромке карбонатным рифом, который выстраивается кораллами и ассоциированными с ними организмами. В конечном итоге остается только ободок из атоллового рифа с лагуной в центре. Там, где атолловый ободок при наибольшем приливе не затопляется и где есть благоприятные условия, могут формироваться рифовые острова. Они целиком состоят из кальцифицированных остатков (измельченных до булыжника, щебня, гальки или песка) скелета рифовых организмов, включая кораллы, и других организмов, таких как фораминиферы, моллюски и кораллиновые водоросли. Расширение и устойчивость остро-

ва зависит от продолжающегося образования рифового материала, которое уравнивает непрерывную абразию волнами, течениями и ветрами.

Судя по всему, рифовые острова образовались на многих атоллах в результате того, что после пика, достигнутого в середине голоцена, уровень моря несколько опустился и это привело к аккумуляции рифовых отложений. Обитаемыми становятся, как правило, более крупные рифовые острова, имеющие внутренние участки, где сформировались более сложные почвы и растительность, и располагающие более надежными подземными запасами пресной воды. Колонизация людьми могла происходить вскоре после образования таких островов (Nunn, 2016; Allen and others, 2016), и интенсивное использование таких сложных экосистем человеком приводит к деградации. Атоллы без островов или необитаемые острова имеют значительную экологическую ценность и представляют собой наименее нарушенные и наиболее здоровые и устойчивые кораллорифовые местообитания (Riegl and others, 2012; Donner and Carilli, 2019). Ухудшение здоровья или продуктивности рифов угрожает сохранению таких экосистем и зависящих от них сообществ.

2. Зафиксированные изменения в состоянии атоллов и островных лагун

2.1. Описание экологических изменений с 2010 по 2020 год

Абразия островов. Абразию островных побережий часто объясняют подъемом уровня моря, хотя связь между первым и вторым доказать сложно. Исследования демонстрируют разнородность реакции как у отдельных островов, так и у целых атоллов (Ford and Kench, 2015), а любые по-настоящему долгосрочные проявления часто маскируются краткосрочными колебаниями (Mann and others, 2016; Ryan and others, 2016; Nunn and others, 2017, 2019). В Соломоновом архипелаге исчезло несколько островов, однако списать это просто на затопление из-за подъема уровня моря нельзя, так как реакцией других островов на волновую активность становится смещение (Albert and others, 2016, 2017). На многих островах

в Индийском океане зафиксированы вариации в положении береговой линии (Hamylton and East, 2012; Purkis and others, 2016; Testut and others, 2016), а у многих островов произошел рост, который, вероятно, продолжится и в будущем (Beetham and others, 2017). В Тихом океане относительно незначительные изменения наблюдались на атоллах Туамоту, где уровень моря влиял на стабильность береговой линии, по-видимому, менее значительно, чем климатический режим, формирование отложений и антропогенные воздействия (Le Cozannet and others, 2013; Duvat and Pillet, 2017). На Тувалу увеличилась (отчасти из-за тропических циклонов) площадь рифовых островов на атолле Фунафути (Kench and others, 2015; McLean and Kench, 2015). У Тувалу насчитывается 101 остров, и за последние четыре десятилетия у

каждого из них произошло изменение береговой линии, причем у восьми из девяти атоллов площадь суши увеличилась (Kench and others, 2018). Вместе с тем случившийся в марте 2015 года тропический циклон «Пэм» вызвал на некоторых островах Тувалу значительное отступление береговой линии, что указывает на существенную неоднородность воздействия тропических возмущений на острова. Анализ имеющихся данных по 30 атоллам Тихого и Индийского океанов, включая 709 островов, показал, что ни у одного из атоллов общая площадь суши не уменьшилась и что у 88,6 процента островов, приуроченных к этим атоллам, площадь либо осталась стабильной, либо увеличилась, а сократилась она только у 11,4 процента островов (Duvat, 2018).

Затопление рифовых островов. Непропорционально меньше внимания уделялось затоплениям рифовых островов и участвовавшим рецидивам «досаждающих» наводнений (Ford and others, 2018). С привлечением фотоснимков, сделанных беспилотниками, для атолла Маджуро была разработана детализированная цифровая модель атолловой топографии, позволившая всесторонне рассмотреть потенциальные ошибки при картировании уязвимости атолла к будущим наводнениям (Gesch and others, 2020).

Перемены в волновом климате. При подъеме уровня моря могут происходить изменения в волновой обстановке (Esteban and others, 2018; Costa and others, 2019). Для многих рифовых островов прогнозируется учащение случаев, когда они захлестываются волнами (Storlazzi and others, 2015), а недавний анализ показал, что к 2050-м годам большинство атоллов могут стать непригодными для обитания (Storlazzi and others, 2018). Существует вероятность того, что из-за усиления волновых накатов и затоплений участков, удаленных от берега, рифовые острова станут тоньше и длиннее (Shope and others, 2016, 2017). На ощущаемые воздействия могут влиять размеры прилегающих рифов и характеристики вдольберегового переноса отложений (Quataert and others, 2015; Shope and Storlazzi, 2019), а также засоление грунтовых вод (Oberle and others, 2017).

Деградация рифов. Подсчитано, что коралловые рифы занимают 0,5 процента площади Мирового океана, или примерно 1 500 000 км² (Leão and others, 2008). Подсчитано также, что более

30 процентов рифов уже серьезно повреждены и что примерно 60 процентов рифовых площадей в предстоящие десятилетия полностью деградируют в результате действий человека, особенно перелова рыбы, загрязнения моря и глобального изменения климата (Gherardi and Bosence, 2005; Pereira and others, 2010). Потепление тропических поверхностных вод вызывает во всем мире массовое и более частое обесцвечивание кораллов (Eakin and others, 2019), что обсуждается в главе 7D. Период 2014–2017 годов был отмечен беспрецедентной чередой рекордно жарких лет, и на этот период пришелся эпизод обесцвечивания кораллов в глобальном масштабе, ставший из всех когда-либо зарегистрированных эпизодов самым серьезным, массовым и продолжительным (Eakin and others, 2019). Обесцвечивание атолловых рифов зафиксировано по всем тропикам (Marshall and others, 2017; Head and others, 2019).

Загрязнение лагун. Интенсивное использование лагунных экосистем ведет к загрязнению воды и экосистемной деградации. По результатам исследований на Тувалу выяснилось, что основным источником загрязнения являются бытовые сточные воды, и была зафиксирована зараженность отложений тяжелыми металлами (Fujita and others, 2013, 2014).

Экологические последствия. Удаленные необитаемые или малонаселенные атоллы могут являться объектами уникальной экологической ценности. Нагрузки, создаваемые изменением климата и подъемом уровня моря, угрожают сохранению и уникальной экологии таких островов, а также потенциально угрожаемым и исчезающим видам (Gillespie and others, 2008). Например, на удаленных и в основном необитаемых островах Феникс гибель кораллов, происходящая после эпизодов всё более сильной жары и сменяющаяся их восстановлением, может в конце концов стать необратимой, несмотря на активные природоохранные меры (Rotjan and others, 2014). Циклоны могут разрушительно сказываться на критически значимых местообитаниях на небольших островах, порождая серьезный вызов для уязвимых биологических видов в долгосрочной перспективе (Huang and others, 2017). Климатические угрозы способны также усиливать местные нагрузки на острова, которые бо-

лее подвержены антропогенному давлению, проявляясь, например, в снижении у островных систем, пострадавших от изменения климата, сопротивляемости к инвазивным видам (Russell and others, 2017), и в распространении болезней, таких как потеря тканей у каменистых кораллов в Карибском бассейне (Aeby and others, 2019).

2.2. Факторы, связанные с изменениями: побудители, нагрузки, воздействия и реакция

Островная морфология и изменения в облике островов во многом регулируются такими факторами, как взаимодействие островов с доминирующими течениями и волновыми режимами, которые их затрагивают, а также геоморфологические характеристики опускания и/или поднятия. Исследовательское моделирование по атоллу Рокас позволяет предположить, что планиметрические и объемные изменения у рифовых островов могут объясняться усилением действия волн из-за рефракции после небольшого подъема уровня моря (Costa and others, 2017, 2019).

Коралловые рифы в теплых мелководных морях разрастаются в вертикальном направлении, и при некоторых обстоятельствах темпы такого разрастания могут превышать нынешние темпы подъема уровня моря (Perry and others, 2015a, 2015b). Однако постепенное опускание этого уровня за последние 2000 лет привело к прекращению роста кораллов на индо-тихоокеанских рифовых отмелях (Harris and others, 2015). Индивидуальное состояние каждого из островов будут зависеть от того, как в соответствующей точке проявляется относительное изменение уровня моря, причем будут отмечаться небольшие вариации, порождаемые океанографическими и геофизическими факторами (Pfeffer and others, 2017). Сейчас становится возможным выполнять реконструкции морского климата и морской среды в различных временных масштабах, выводя данные из изучения массивных долгоживущих кораллов, хранящих в себе ретроспективные геохимические «архивы» (Dassié and Linsley, 2015; Evangelista and others, 2018).

Количественное определение темпов образования карбонатов вместе с подсчетом абразии и удаления отложений дает представление о

бюджете рифовых отложений (Perry and others, 2016, 2017a; Hamylton and others, 2016; Morgan and Kench, 2017). Образование отложений способствует постепенному заполнению лагуны. Например, при поедании рифов рыбами-попугаями образуется мелкий осадок (Perry and others, 2015b; Yarlett and others, 2018), который дополняется у континентальных берегов терригенными отложениями (Perry and others, 2017b). Бюджеты отложений для рифовых островов рассчитывались нечасто; они зависят от биогенной продукции ряда рифовых организмов (Morgan and Kench, 2016). Разные рифовые острова могут находиться на разных стадиях своего развития, к которым относятся зарождение, рост, стабильность, упадок, реликтовость и угрожаемость (Garzin and others, 2016). На небольших песчаных островах, состоящих из недавно осевших коралловых фрагментов, отсутствует почва, и они менее способны к жизнеобеспечению людей, чем более старые, более устоявшиеся острова (Connell, 2015).

Рифовые острова — это хрупкие системы, подверженные разрушению в результате экстремальных климатических явлений, в частности тропических штормов. В 2017 году ураганы «Мария» и «Ирма» обернулись крупными разрушениями и человеческими жертвами для многих островов Карибского бассейна, а в 2018 году тропический циклон «Гита» обрушился на тихоокеанские острова Эуа и Тонгатапу, затронув 80 процентов населения Тонги и вызвав разрушение зданий и инфраструктуры и уничтожение посевов (Magnan and others, 2019). Циклон «Идай» в западной части Индийского океана стал одним из сильнейших циклонов, когда-либо фиксировавшихся в этом регионе, и вторым из них по числу погибших. Такие высокоэнергетические события оборачиваются продолжительным, длящимся несколько лет морфологическим воздействием на рифовые острова (Jeanson and others, 2014; Kayanne and others, 2016). С 1975 года произошло увеличение доли очень интенсивных циклонов, которое объясняется потеплением (Holland and Bruyere, 2014) и, как ожидается, сохранится в будущем (Walsh and others, 2016). Если добавить к этому рост заселенности и застроенности островов, влекущий за собой их большую уязвимость, то стоит ожидать неизбежного усиления воздей-

ствия, оказываемого на них циклонами. Острова также уязвимы к необычному повышению высоты прилива и уровня воды из-за ветровых волн, возникающих где-то вдали: соответствующие эпизоды отмечались в 1987 году на Мальдивских островах (Wadey and others, 2017) и в декабре 2008 года на нескольких островах Тихого океана (Hoeke and others, 2013; Smithers and Hoeke, 2014).

Геохимические изменения в океане, в частности его закисление, могут привести к растворению

лагунных отложений, уменьшению доступности песка для подпитки рифовых островов и снижению способности рифов справляться с подъемом уровня моря в будущем (Perry and others, 2018). Недавние исследования показали, что растворение рифовых отложений находится в обратной зависимости от насыщенности морской воды арагонитом и что закисление океана сказывается на нем в 10 раз сильнее, чем на кальцификации кораллов (Cyronak and Eyre, 2016; Eyre and others, 2018).

3. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия

Сообщества, живущие на рифовых островах, сталкиваются со множеством нагрузок, и исход воздействия этих многочисленных стрессоров остается весьма неопределенным. Несмотря на распространенное мнение о подверженности различным воздействиям изменения климата, не так много доказательств, которые можно считать прямо на это указывающими. Многие проблемы, испытываемые небольшими рифовыми островами, обусловлены другими нагрузками, которые существовали и раньше (Birk, 2014; Duvat and others, 2017), в частности антропогенными причинами, усугубившими их уязвимость (Connell, 2015; McCubbin and others, 2015).

В своем недавнем специальном докладе «Океан и криосфера в условиях изменяющегося климата» Межправительственная группа экспертов по изменению климата рассматривает последствия такого изменения для низколежащих островов (Oppenheimer and others, 2019). Она проводит различие между многочисленными более мелкими островами, расположенными на периферии, и урбанизированными атолловыми островами, в число которых попадают столичные острова (или островные группы), такие как Фонгафале (Тувалу), Южная Тарава (Кирибати) и Мале (Мальдивские Острова). Будущее урбанизированных атолловых островов важно потому, что низколежащие районы, подверженные затоплению с моря и береговой абразии, характеризуются сосредоточенностью населения (около 3200 человек на 1 км² в Южной Тараве; около 65 700 человек на 1 км² в Мале), экономической

деятельности и критически значимой инфраструктуры (аэропорты, гавани). Снабжение густонаселенных островов продовольствием обеспечивается в большей степени за счет импорта, чем из местных источников (McCubbin and others, 2017). Существует также сильная зависимость от жесткой инженерной защиты. В некоторых случаях рассматривается вопрос о переселении людей и переносе критически значимой инфраструктуры на другой остров (Oppenheimer and others, 2019). Однако на пути миграции возникает много барьеров (Birk and Rasmussen, 2014), включая нежелание людей переезжать (Jamero and others, 2017, 2019).

Для защиты уязвимой береговой линии на островах могут применяться разного рода жесткие и мягкие инженерные решения (Wong, 2018), многие из которых можно рассматривать как адаптивное реагирование. Жесткие защитные сооружения в Мале показали себя успешными в предотвращении дальнейшего ущерба. Однако оснащение береговой линии жесткой инженерной защитой может становиться для естественных процессов на побережье и в экосистеме суровым и слабо преодолемым испытанием, оборачиваясь долгосрочными негативными воздействиями, которые могут затмить ранее полученные выгоды (Donner and Webber, 2014; David and others, 2019). Затратность жестких инженерных решений подогрела интерес к «мягким» мерам повышения жизнестойкости, учитывающим экосистемные соображения (Naylor, 2015). Повысившийся с 2004 года (когда произошло

индоокеанское цунами) опыт реагирования на береговую абразию и экстремальные явления наглядно показывает ценность естественных экосистем, формируемых рифами и прибрежной растительностью, и подводит к таким конструкторским принципам, которые рассчитаны на уменьшение уязвимости прибрежной зоны с помощью как естественных, так и искусственных структур.

Жители атоллов не воспринимают изменение климата как свою главную заботу. Например, более 50 процентов опрошенных мальдивцев признали будущий подъем уровня моря серьезным национальным вызовом, однако важную роль при принятии решений о том, уезжать или нет, играет также множество других культурных, религиозных, экономических и социальных факторов (Stojanov and others, 2017). Не помышляет об отъезде и большинство тувальцев (Mortreux and Barnett, 2009). На Кирибати процесс принятия решений оказался политизирован «парадигмой тонущей нации», причем метафорой для экономического развития стала «адаптация» (Mallin, 2018), а средствами общественных наук формируются контрнарративы, призванные изменить у островитян отношение к отъезду (Barnett, 2017; Kelman, 2018; Yamamoto and Esteban, 2017). При оценках, выполняемых в грубом масштабе, слабо учитываются различия в опыте сообществ и местные знания об изменении окружающей

среды (Leon and others, 2015; Owen and others, 2016). Нежелание переезжать с низколежащих островов может корениться в сильных культурных традициях, а на некоторых таких островах жители могут предпочесть в качестве реакции на затопление не миграцию на большой остров или на материк, а стратегию адаптации на месте, например сооружение приподнятых домов на сваях (Jamero and others, 2017). Такие варианты люди считают предпочтительными, невзирая на вероятность того, что в долгосрочной перспективе такой уклад жизни может оказаться неустойчивым (Duce and others, 2010; McNamara and others, 2017).

Подъем уровня моря часто считают основным объяснением вредных, необычных или беспрецедентных экологических изменений на небольших островах, тогда как в действительности побудителями этих изменений являются другие факторы. Современные экологические изменения на большинстве тихоокеанских островов являются, скорее всего, реакциями на местные стрессы, включая циклоны, строительство дамб, загрязнение, перелов, деградацию местообитаний и добычу песка. Высказывалась мысль о наличии среди небольших островов таких мест, которые способны наглядно и осязаемо продемонстрировать глобальное изменение климата и удаленность источников такого изменения (Connell, 2015).

4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)

Большинство атоллов находится в Тихом океане, а несколько их архипелагов встречается в Индийском океане и очень немного — в Атлантическом (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, (IPBES), 2018). При этом недавнее исследование, посвященное изменениям в размерах атолловых островов, не выявило каких-то заметных различий между океанскими бассейнами (Duvat, 2018). Согласно этому исследованию, такие образования среди Мальдивских островов в Индийском океане выглядят больше пострадавшими от абразии, чем их тихоокеанские аналоги: если первые оказались абрадированы на 23,3 процента, то вторые — на 7,5. Наиболее

примечательным стал обнаруженный факт высокой вариабельности в пределах атоллов и архипелагов и между ними. Были отмечены различия между урбанизированными атолловыми островами и периферийными сельскими — как по демографическим тенденциям, так и по их реакции на изменение климата, подъем уровня моря и другие угрозы. Различия между островами наводят на мысль о необходимости уделять внимание индивидуальным особенностям архипелагов, атоллов и островов, чтобы, поняв происходящие изменения и их последствия, разглядеть за этим региональные закономерности.

5. Перспективы

Атоллы и островные лагуны остаются уязвимыми к разнообразным экологическим опасностям, причем перспективы островов могут определяться синергией и взаимодействием между этими опасностями, спецификой их проявлений в локальной географической и геоморфологической обстановке, а также взаимодействием с социальными и экономическими факторами (Duvat and Magnan, 2019b). Из-за небольшого размера и уязвимости островов изменение климата может повлиять на них увеличением амплитуды колебаний в основных климатических системах, таких как «Эль-Ниньо – Южное колебание», проявлением чего служат более сильные и продолжительные тепловые стрессы и эпизоды обесцвечивания кораллов во всех системах кораллорифовых островов в мире (Eakin and others, 2019; Hughes and others, 2018).

К числу основных нагрузок, имеющих локальное проявление и обусловленных изменением климата, относятся:

- a) повышение океанских температур, которое усиливает обесцвечивание кораллов;
- b) подъем уровня моря, который грозит затоплением островов и, наверное, усилением абразии, а также может усиливать волновые процессы в разных рифовых акваториях;
- c) закисление океана, которое может привести к ослаблению известковых скелетов и будет, по всей видимости, вызывать сокращение отложений в лагунах и у рифовых островов из-за изменений в щелочности;
- d) штормы и редкие волновые явления, которые играют важную роль в переносе отложений, в силу чего любое увеличение частоты или интенсивности штормов может

иметь последствия для рифов и рифовых островов;

- e) перелов и неправильное распоряжение природными ресурсами, в частности играющими ключевую роль в структуре островов и местообитаний, таких как коралловые рифы и мангровые заросли;
- f) демографические характеристики и плотность населения, влияние этих факторов на загрязнение и их воздействие на местные островные системы, а также на защищенность или уязвимость людей и инфраструктуры перед лицом экологических и климатических угроз.

Дюва и Маньян (Duvat and Magnan, 2019a) называют пять ключевых адаптационных траекторий, позволяющих заниматься этими взаимодействующими вызовами применительно к атолловым островам: фокусирование на экосистемной выносливости; минимизация риска неправильной адаптации; облегчение внутреннего переселения; обеспечение надлежащей защиты береговой линии по высоте; рассмотрение такого варианта, как отъезд навсегда в другие страны, и содействие его осуществлению.

Перспективы для островов во многом зависят от политических составляющих как национального свойства (отношения между отдельными островными государствами и другими странами), так и глобального (уровень Организации Объединенных Наций и других форумов). Первая из этих составляющих является ключевой при определении вариантов будущего конкретных островов, будь то инвестирование в адаптивную инфраструктуру (например, для повышения выносливости в условиях подъема уровня моря) или переселение.

6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях

Реакция рифов, лагунных местообитаний и рифовых островов на сочетание локальных и глобальных угроз, стоящих в настоящее время перед ними, изучена недостаточно. Мало информации о том, как рифовые процессы будут реагировать на изменения, происходящие в отдельно взятых климатических побудителях или

в сочетаниях таких побудителей. В береговой абразии и затоплении побережий замечена географическая неоднородность, но причины этих пространственных особенностей слабо выяснены, что существенно мешает всякому прогнозированию того, как себя поведут конкретные объекты. Анализ наблюдений за изменениями

береговой линии на протяжении последних десятилетий дополняется попытками смоделировать реакцию рифовых островов. Недавние попытки такого рода включают эксперименты в крупных резервуарах, где генерируется волнение (Tuck and others, 2018, 2019; Masselink and others, 2019, 2020), а также моделирование гидродинамики и береговых реакций (Costa and others, 2019; Ortiz and Ashton, 2019; Shope and Storlazzi, 2019). Уязвимость небольших островов из известкового биокластического песка и гальки, которые встречаются по краям атоллов или в других рифовых и лагунных средах, можно детальнее изучать с помощью более современных, продвинутых технологий дистанционного зондирования, позволяющих осуществлять мониторинг береговой линии рифовых островов, включая спутниковую съемку с высоким разрешением, авиационные лидары и съемку с беспилотников (Casella and others, 2016; Lowe and others, 2019; Gesch and others, 2020).

Притом что большинство атоллов в нетто-выражении не испытывают абразии, их физическая жизнеспособность подвергается повышенному давлению. Атоллы, рифовые острова вокруг них и лагуны внутри них являются продуктом кальцифицирующих организмов, которые вносят свой вклад в бюджеты отложений, определяющие индивидуальную траекторию островов. Недостает знаний о продуктивности основных организмов, поставляющих биокластические отложения, о разложении и переносе образовавшихся из них песка и гравия, а также о растворении и удалении этого материала.

Еще один аспект, требующий более подробного исследования, — это судьба располагающихся под небольшими островами линзовидных залежей подземных вод, от которых зависят популяции: абразия береговой линии или захлестывание островов волнами чревата сжатием таких залежей (Terry and Chui, 2012; Gulley and others, 2016; Bailey and others, 2016; Deng and Bailey, 2017; Ford and others, 2018). Выносимость линз с пресной подземной водой к меняющимся природным и демографическим факторам, особенно в условиях засухи, только недавно стала темой активных исследований (Werner and others, 2017; Oberle and others, 2017) и требует дальнейшего изучения, тем более что такая выносимость представляется зависящей от способности островов к морфологическому приспособлению, которая не совсем понятна.

В социально-экологическом отношении важен вопрос о том, как островные сообщества и государства будут адаптироваться к реакциям островных систем на вышеупомянутые угрозы и влиять на них (Duvat and Magnan, 2019b). Государство, граждане и общественные институты, партнеры, оказывающие внешнюю помощь и осуществляющие инвестирование, неправительственные организации — все они играют свою роль в определении того, как острова будут реагировать на будущие вызовы, а также в предупреждении и уменьшении кризисов. Цели в области устойчивого развития¹ задают рамочные параметры как для национальной и международной политики, так и для комплексных планов и действий, которые будут требоваться на множестве уровней (Obura, 2020).

7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала

Несмотря на прилагаемые международными учреждениями усилия по наращиванию потенциала в небольших островных государствах, у малых островных сообществ явно не хватает надлежащим образом подготовленного и снаряженного персонала для отслеживания изменений на местном уровне, для изучения и оценки конкретных участков, а также для реализации

адаптационных и других программ. Будут требоваться кадры, наученные заниматься многочисленными угрозами и возникающими вызовами, о которых упоминалось выше. Адаптивная способность малых островных сообществ представляется ограниченной, и многие из них чересчур зависят от международной помощи для спонсирования крупных проектов. Такие глобаль-

¹ См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

ные рамки, как цели в области устойчивого развития, Программа действий по ускоренному развитию малых островных развивающихся государств («Путь Самоа»)² и Десятилетие Организации Объединенных Наций, посвященное науке об океане в интересах устойчивого разви-

тия (2021–2030 годы)³, открывают многочисленные возможности для выявления критических потребностей и направления ресурсов на наращивание потенциала для удовлетворения этих потребностей.

Справочная литература

- Aeby, Greta, and others (2019). Pathogenesis of a tissue loss disease affecting multiple species of corals along the Florida Reef Tract. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 678.
- Albert, Simon and others (2016). Interactions between sea level rise and wave exposure on reef island dynamics in the Solomon Islands. *Environmental Research Letters*, vol. 11, No.5, 054011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/5/054011>.
- Albert, Simon and others (2017). Winners and losers as mangrove, coral and seagrass ecosystems respond to sea level rise in Solomon Islands. *Environmental Research Letters*, vol. 12, No. 9, 094009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7e68>.
- Allen, Melinda S., and others (2016). Timing, magnitude and effects of late Holocene sea level drawdown on island habitability, Aitutaki, Cook Islands. *Archaeology in Oceania*, vol. 51, No. 2, pp. 108–121.
- Bailey, Ryan T., and others (2016). Predicting Future Groundwater Resources of Coral Atoll Islands. *Hydrological Processes*, vol. 30, No. 13, pp. 2092–2105.
- Barnett, Jonathon (2017). The dilemmas of normalising losses from climate change: Towards hope for Pacific atoll countries. *Asia Pacific Viewpoint*, vol. 58, No. 1, pp. 3–13.
- Beetham, Edward, and others (2017). Future reef growth can mitigate physical impacts of sea level rise on atoll islands. *Earth's Future*, vol. 5, No. 10, pp. 1002–1014.
- Birk, Thomas (2014). Assessing vulnerability to climate change and socioeconomic stressors in the Reef Islands group, Solomon Islands. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, vol. 114, No. 1, pp. 59–75.
- Birk, Thomas, and Kjeld Rasmussen (2014). Migration from atolls as climate change adaptation: Current practices, barriers and options in Solomon Islands. In *Natural Resources Forum*, vol. 38, pp. 1–13. Wiley Online Library.
- Casella, Elisa, and others (2016). Mapping coral reefs using consumer-grade drones and structure from motion photogrammetry techniques. *Coral Reefs*, vol. 36, No. 1, pp. 269–275.
- Connell, John (2015). Vulnerable islands: climate change, tectonic change, and changing livelihoods in the Western Pacific. *The Contemporary Pacific*, pp. 1–36.
- Costa, Mirella B., and others (2017). Planimetric and volumetric changes of reef islands in response to wave conditions. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 42, No. 15, pp. 2663–2678.
- Costa, Mirella B., and others (2019). Wave refraction and reef island stability under rising sea level. *Global and Planetary Change*, vol. 172, pp. 256–267.
- Cyronak, Tyler, and Bradley D. Eyre (2016). The synergistic effects of ocean acidification and organic metabolism on calcium carbonate (CaCO₃) dissolution in coral reef sediments. *Marine Chemistry*, vol. 183, pp. 1–12.
- Darwin, Charles (1874). *The Structure and Distribution of Coral Reefs* (2nd ed.), London: Smith Elder and Co.

² Резолюция 69/15 Генеральной Ассамблеи, приложение.

³ См. резолюцию 72/73 Генеральной Ассамблеи.

- Dassié, Emilie P., and Braddock K. Linsley (2015). Refining the sampling approach for the massive coral *Diploastrea heliopora* for $\delta^{18}\text{O}$ -based paleoclimate applications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 440, pp. 274–282.
- David, Gabriel, and others (2019). Coastal Infrastructure on Reef Islands—the Port of Fuvahmulah, the Maldives as Example of Maladaptation to Sea level Rise? *Coastal Structures 2019*, pp. 874–885.
- Deng, Chenda, and Ryan T. Bailey (2017). Assessing groundwater availability of the Maldives under future climate conditions. *Hydrological Processes*, vol. 31, No. 19, pp. 3334–3349.
- Donner, Simon D., and Jessica Carilli (2019). Resilience of Central Pacific reefs subject to frequent heat stress and human disturbance. *Scientific Reports*, vol. 9, No. 1, pp. 1–13.
- Donner, Simon D., and Sophie Webber (2014). Obstacles to climate change adaptation decisions: a case study of sea level rise and coastal protection measures in Kiribati. *Sustainability Science*, vol. 9, No. 3, pp. 331–345.
- Duce, Stephanie J., and others (2010). *A Synthesis of Climate Change and Coastal Science to Support Adaptation in the Communities of Torres Strait*. Townsville: Reef and Rainforest Research Centre.
- Duvat, Virginie K.E. (2018). A global assessment of atoll island planform changes over the past decades. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 10, No. 1, e557.
- Duvat, Virginie K.E., and A.K. Magnan (2019a). Contrasting potential for nature-based solutions to enhance coastal protection services in atoll islands. In *Dealing with climate change on small islands: Towards effective and sustainable adaptation?* Klöck, C. and Fink, M., eds., pp. 45–75. Göttingen: Göttingen University Press.
- _____ (2019b). Rapid human-driven undermining of atoll island capacity to adjust to ocean climate-related pressures. *Scientific Reports*, vol. 9, art. 15129.
- Duvat, Virginie K.E., and Valentin Pillet (2017). Shoreline changes in reef islands of the Central Pacific: Takapoto Atoll, Northern Tuamotu, French Polynesia. *Geomorphology*, vol. 282, pp. 96–118.
- Eakin, C. Mark, and others (2019). The 2014–2017 global-scale coral bleaching event: insights and impacts. *Coral Reefs*, vol. 38, No. 4, pp. 539–545.
- Esteban, Miguel, and others (2018). Adaptation to sea level rise on low coral islands: lessons from recent events. *Ocean & Coastal Management*, vol. 168, pp. 35–40.
- Evangelista, H., and others (2018). Climatic constraints on growth rate and geochemistry (Sr/Ca and U/Ca) of the coral *Siderastrea stellata* in the Southwest Equatorial Atlantic (Rocas Atoll, Brazil). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 19, No. 3, pp. 772–786.
- Eyre, Bradley D., and others (2018). Coral reefs will transition to net dissolving before end of century. *Science*, vol. 359, No. 6378, pp. 908–911.
- Ford, Murray R., and others (2018). Inundation of a low-lying urban atoll island: Majuro, Marshall Islands. *Natural Hazards*, vol. 91, No. 3, pp. 1273–1297.
- Ford, Murray R., and Paul S. Kench (2015). Multi-decadal shoreline changes in response to sea level rise in the Marshall Islands. *Anthropocene*, vol. 11, pp. 14–24.
- Fujita, Masafumi, and others (2013). Anthropogenic impacts on water quality of the lagoonal coast of Fongafale Islet, Funafuti Atoll, Tuvalu. *Sustainability Science*, vol. 8, No. 3, pp. 381–390.
- Fujita, Masafumi, and others (2014). Heavy metal contamination of coastal lagoon sediments: Fongafale Islet, Funafuti Atoll, Tuvalu. *Chemosphere*, vol. 95, pp. 628–634.
- Garcin, Manuel, and others (2016). Lagoon islets as indicators of recent environmental changes in the South Pacific—The New Caledonian example. *Continental Shelf Research*, vol. 122, pp. 120–140.
- Gesch, Dean, and others (2020). Inundation Exposure Assessment for Majuro Atoll, Republic of the Marshall Islands Using A High-Accuracy Digital Elevation Model. *Remote Sensing*, vol. 12, No. 1, art. 154.

- Gherardi, D.F.M., and D.W.J. Bosence (2005). Late Holocene reef growth and relative sea level changes in Atol das Rocas, equatorial South Atlantic. *Coral Reefs*, vol. 24, No. 2, pp. 264–272.
- Gillespie, Rosemary G., and others (2008). Biodiversity dynamics in isolated island communities: interaction between natural and human-mediated processes. *Molecular Ecology*, vol. 17, No. 1, pp. 45–57.
- Goldberg, Walter M. (2016). Atolls of the world: Revisiting the original checklist. *Atoll Research Bulletin*, vol. 610, pp. 1–47.
- Gulley, J.D., and others (2016). Sea level rise and inundation of island interiors: Assessing impacts of lake formation and evaporation on water resources in arid climates. *Geophysical Research Letters*, vol. 43, No. 18, pp. 9712–9719.
- Hamylton, Sarah, and Holly East (2012). A Geospatial Appraisal of Ecological and Geomorphic Change on Diego Garcia Atoll, Chagos Islands (British Indian Ocean Territory). *Remote Sensing*, vol. 4, No. 11, pp. 3444–3461.
- Hamylton, Sarah M., and others (2016). Linking pattern to process in reef sediment dynamics at Lady Musgrave Island, southern Great Barrier Reef. *Sedimentology*, vol. 63, No. 6, pp. 1634–1650.
- Harris, Daniel L., and others (2015). Late Holocene sea level fall and turn-off of reef flat carbonate production: Rethinking bucket fill and coral reef growth models. *Geology*, vol. 43, No. 2, pp. 175–178.
- Head, Catherine E.I., and others (2019). Coral bleaching impacts from back-to-back 2015–2016 thermal anomalies in the remote central Indian Ocean. *Coral Reefs*, vol. 38, No. 4, pp. 605–618.
- Hoeke, Ron K., and others (2013). Widespread inundation of Pacific islands triggered by distant-source wind-waves. *Global and Planetary Change*, vol. 108, pp. 128–138.
- Holland, Greg, and Cindy Bruyere (2014). Recent intense hurricane response to global climate change. *Climate Dynamics*, vol. 42, Nos. 3–4, pp. 617–627.
- Huang, Ryan M., and others (2017). Sooty tern (*Onychoprion fuscatus*) survival, oil spills, shrimp fisheries, and hurricanes. *PeerJ*, vol. 5, e3287.
- Hughes, Terry P., and others (2018). Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene. *Science*, vol. 359, No. 6371, pp. 80–83.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) (2018). *The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Asia and the Pacific*. Karki, M., and others (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 612 pages.
- Jamero, Laurice, and others (2017). Small island communities in the Philippines prefer local measures to relocation in response to sea level rise. *Nature Climate Change*, vol. 7, pp. 581–586.
- Jamero, Laurice, and others (2019). In-situ adaptation against climate change can enable relocation of impoverished small islands. *Marine Policy*, vol. 108, art. 103614.
- Jeanson, Matthieu, and others (2014). Morphodynamic characterization of beaches on a Pacific atoll island: Tetiaroa, French Polynesia. *Journal of Coastal Research*, vol. 70, special issue No. 1, pp. 176–181.
- Kayanne, Hajime, and others (2016). Eco-geomorphic processes that maintain a small coral reef island: Ballast Island in the Ryukyu Islands, Japan. *Geomorphology*, vol. 271, pp. 84–93.
- Kelman, Ilan (2018). Islandness within climate change narratives of small island developing states (SIDS). *Island Studies Journal*, vol. 13, No. 1, pp. 149–166.
- Kench, Paul S., and others (2015). Coral islands defy sea level rise over the past century: Records from a central Pacific atoll. *Geology*, vol. 43, No. 6, pp. 515–518.
- Kench, Paul S., and others (2018). Patterns of island change and persistence offer alternate adaptation pathways for atoll nations. *Nature Communications*, vol. 9, No. 1, pp. 1–7.

- Le Cozannet, Gonéri, and others (2013). Exploring the relation between sea level rise and shoreline erosion using sea level reconstructions: an example in French Polynesia. *Journal of Coastal Research*, vol. 65, special issue No. 2, pp. 2137–2142.
- Leão, Z.M.A.N., and others (2008). Coral bleaching in Bahia reefs and its relation with sea surface temperature anomalies. *Biota Neotropica*, vol. 8, No. 3, pp. 1–14.
- Leon, Javier X., and others (2015). Supporting local and traditional knowledge with science for adaptation to climate change: lessons learned from participatory three-dimensional modeling in BoeBoe, Solomon Islands. *Coastal Management*, vol. 43, No. 4, pp. 424–438.
- Lowe, Meagan K., and others (2019). Assessing Reef-Island Shoreline Change Using UAV-Derived Orthomosaics and Digital Surface Models. *Drones*, vol. 3, No. 2, p. 44.
- Magnan, A.K., and others (2019). Cross-Chapter Box 9: Integrative cross-chapter box on low-lying islands and coasts. In *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, ed. IPCC, pp. 657–74.
- Mallin, Marc-Andrej Felix (2018). From sea level rise to seabed grabbing: The political economy of climate change in Kiribati. *Marine Policy*, vol. 97, pp. 244–252.
- Mann, Thomas, and others (2016). A geomorphic interpretation of shoreline change rates on reef islands. *Journal of Coastal Research*, vol. 32, No. 3, pp. 500–507.
- Marshall, Paul, and others (2017). *Maldives Coral Bleaching Response Plan*. Marine Research Centre.
- Masselink, Gerd, and others (2019). Physical and Numerical Modeling of Infragravity Wave Generation and Transformation on Coral Reef Platforms. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 124, No. 3, pp. 1410–1433.
- Masselink, Gerd, and others (2020). Coral reef islands can accrete vertically in response to sea level rise. *Science Advances*, vol. 6, No. 24, eaay3656.
- McCubbin, Sandra G., and others (2017). Social-ecological change and implications for food security in Funafuti, Tuvalu. *Ecology and Society*, vol. 22, No. 1.
- McCubbin, Sandra, and others (2015). Where does climate fit? Vulnerability to climate change in the context of multiple stressors in Funafuti, Tuvalu. *Global Environmental Change*, vol. 30, pp. 43–55.
- McLean, Roger, and Paul Kench (2015). Destruction or persistence of coral atoll islands in the face of 20th and 21st century sea level rise? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 6, No. 5, pp. 445–463.
- McNamara, Karen E., and others (2017). Identification of limits and barriers to climate change adaptation: case study of two islands in Torres Strait, Australia. *Geographical Research*, vol. 55, No. 4, pp. 438–455.
- Morgan, Kyle M., and Paul S. Kench (2016). Reef to island sediment connections on a Maldivian carbonate platform: using benthic ecology and biosedimentary depositional facies to examine island-building potential. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 41, No. 13, pp. 1815–1825.
- _____ (2017). New rates of Indian Ocean carbonate production by encrusting coral reef calcifiers: Periodic expansions following disturbance influence reef-building and recovery. *Marine Geology*, vol. 390, pp. 72–79.
- Mortreux, Colette, and Jon Barnett (2009). Climate change, migration and adaptation in Funafuti, Tuvalu. *Global Environmental Change*, vol. 19, No. 1, pp. 105–112.
- Naylor, Alexander K. (2015). Island morphology, reef resources, and development paths in the Maldives. *Progress in Physical Geography*, vol. 39, No. 6, pp. 728–749.
- Nunn, Patrick D. (2016). Sea levels, shorelines and settlements on Pacific reef islands. *Archaeology in Oceania*, vol. 51, No. 2, pp. 91–98.

- Nunn, Patrick D., and others (2017). Identifying and assessing evidence for recent shoreline change attributable to uncommonly rapid sea level rise in Pohnpei, Federated States of Micronesia, Northwest Pacific Ocean. *Journal of Coastal Conservation*, vol. 21, No. 6, pp. 719–730.
- Nunn, Patrick D., and others (2019). Origin, development and prospects of sand islands off the north coast of Viti Levu Island, Fiji, Southwest Pacific. *Journal of Coastal Conservation*, vol. 23, No. 6, pp. 1005–1018.
- Oberle, Ferdinand K.J., and others (2017). Atoll groundwater movement and its response to climatic and sea level fluctuations. *Water*, vol. 9, No. 9, art. 650.
- Obura, David O. (2020). The Sustainable Development Goals as an ocean narrative. *Marine Policy Journal*, submitted.
- Oppenheimer, Michael, and others (2019). Sea level rise and implications for low lying islands, coasts and communities.
- Ortiz, Alejandra C., and Andrew D. Ashton (2019). Exploring carbonate reef flat hydrodynamics and potential formation and growth mechanisms for motu. *Marine Geology*, vol. 412, pp. 173–186.
- Owen, S.D., and others (2016). Improving understanding of the spatial dimensions of biophysical change in atoll island countries and implications for island communities: A Marshall Islands' case study. *Applied Geography*, vol. 72, pp. 55–64.
- Pereira, N.S., and others (2010). Mapeamento geomorfológico e morfodinâmica do Atol das Rocas, Atlântico Sul. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, vol. 10, No. 3, pp. 331–345.
- Perry, Chris T., and others (2015a). Linking reef ecology to island building: Parrotfish identified as major producers of island-building sediment in the Maldives. *Geology*, vol. 43, No. 6, pp. 503–506.
- Perry, Chris T., and others (2015b). Remote coral reefs can sustain high growth potential and may match future sea level trends. *Scientific Reports*, vol. 5, art. 18289.
- Perry, Chris T., and others (2016). Sediment generation by *Halimeda* on atoll interior coral reefs of the southern Maldives: A census-based approach for estimating carbonate production by calcareous green algae. *Sedimentary Geology*, vol. 346, pp. 17–24.
- Perry, Chris T., and others (2017a). Terrigenous sediment-dominated reef platform infilling: an unexpected precursor to reef island formation and a test of the reef platform size–island age model in the Pacific. *Coral Reefs*, vol. 36, No. 3, pp. 1013–1021.
- Perry, Chris T., and others (2017b). Reef habitat type and spatial extent as interacting controls on platform-scale carbonate budgets. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 185.
- Perry, Chris T., and others (2018). Loss of coral reef growth capacity to track future increases in sea level. *Nature*, vol. 558, No. 7710, pp. 396–400.
- Pfeffer, Julia, and others (2017). Decoding the origins of vertical land motions observed today at coasts. *Geophysical Journal International*, vol. 210, No. 1, pp. 148–165.
- Purkis, Sam J., and others (2016). A half-century of coastline change in Diego Garcia—The largest atoll island in the Chagos. *Geomorphology*, vol. 261, pp. 282–298.
- Quataert, Ellen, and others (2015). The influence of coral reefs and climate change on wave-driven flooding of tropical coastlines. *Geophysical Research Letters*, vol. 42, No. 15, pp. 6407–6415.
- Riegl, Bernhard M., and others (2012). Human impact on atolls leads to coral loss and community homogenisation: a modeling study. *PloS One*, vol. 7, No. 6.
- Rotjan, Randi, and others (2014). Establishment, management, and maintenance of the phoenix islands protected area. *Advances in Marine Biology*, vol. 69, pp. 289–324. Elsevier.
- Russell, James C., and others (2017). Invasive alien species on islands: impacts, distribution, interactions and management. *Environmental Conservation*, vol. 44, No. 4, pp. 359–370.

- Ryan, Emma J., and others (2016). Multi-scale records of reef development and condition provide context for contemporary changes on inshore reefs. *Global and Planetary Change*, vol. 146, pp. 162–178.
- Shope, James Brandon, and Curt Storlazzi (2019). Assessing morphologic controls on atoll island alongshore sediment transport gradients due to future sea level rise. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 245.
- Shope, James B., and others (2016). Changes to extreme wave climates of islands within the Western Tropical Pacific throughout the 21st century under RCP 4.5 and RCP 8.5, with implications for island vulnerability and sustainability. *Global and Planetary Change*, vol. 141, pp. 25–38.
- Shope, James B., and others (2017). Projected atoll shoreline and run-up changes in response to sea level rise and varying large wave conditions at Wake and Midway Atolls, Northwestern Hawaiian Islands. *Geomorphology*, vol. 295, pp. 537–550.
- Smithers, S.G., and R.K. Hoeke (2014). Geomorphological impacts of high-latitude storm waves on low-latitude reef islands—Observations of the December 2008 event on Nukutoa, Takuu, Papua New Guinea. *Geomorphology*, vol. 222, pp. 106–121.
- Soares, Marcelo de Oliveira, and others (2011). Aspectos biogeomorfológicos do Atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial. *Brazilian Journal of Geology*, vol. 41, No. 1, pp. 85–94.
- Stojanov, Robert, and others (2017). Local perceptions of climate change impacts and migration patterns in Malé, Maldives. *The Geographical Journal*, vol. 183, No. 4, pp. 370–385.
- Storlazzi, Curt D., and others (2018). Most atolls will be uninhabitable by the mid-21st century because of sea level rise exacerbating wave-driven flooding. *Science Advances*, vol. 4, No. 4, eaap9741.
- Storlazzi, Curt D., and others (2015). Many atolls may be uninhabitable within decades due to climate change. *Scientific Reports*, vol. 5, art. 14546.
- Terry, James P., and Ting Fong May Chui (2012). Evaluating the fate of freshwater lenses on atoll islands after eustatic sea level rise and cyclone-driven inundation: A modelling approach. *Global and Planetary Change*, vol. 88, pp. 76–84.
- Testut, Laurent, and others (2016). Shoreline changes in a rising sea level context: The example of Grande Glorieuse, Scattered Islands, Western Indian Ocean. *Acta Oecologica*, vol. 72, pp. 110–119.
- Tuck, Megan E., and others (2018). Physical modelling of reef platform hydrodynamics. *Journal of Coastal Research*, vol. 85, special issue No. 1, pp. 491–495.
- Tuck, Megan E., and others (2019). Physical modelling of the response of reef islands to sea level rise. *Geology*, vol. 47, No. 9, pp. 803–806.
- United Nations (2017a). Chapter 7: Calcium carbonate production and contribution to coastal sediments. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wadey, Matthew, and others (2017). Coastal flooding in the Maldives: an assessment of historic events and their implications. *Natural Hazards*, vol. 89, No.1, pp. 131–159.
- Walsh, Kevin J.E., and others (2016). Tropical cyclones and climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews-climate Change*, vol. 7, pp. 65–89.
- Werner, Adrian D., and others (2017). Hydrogeology and management of freshwater lenses on atoll islands: Review of current knowledge and research needs. *Journal of Hydrology*, vol. 551, pp. 819–844.
- Wong, Poh Poh (2018). Coastal Protection Measures—Case of Small Island Developing States to Address Sea level Rise. *Asian Journal of Environment & Ecology*, vol. 6, pp. 1–14.
- Yamamoto, Lilian, and Miguel Esteban (2017). Migration as an adaptation strategy for atoll island states. *International Migration*, vol. 55, No. 2, pp. 144–158.
- Yarlett, Robert T., and others (2018). Constraining species-size class variability in rates of parrotfish bioerosion on Maldivian coral reefs: Implications for regional-scale bioerosion estimates. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 590, pp. 155–169.

Глава 7D

Тропические и субтропические коралловые риффы

Координатор: Иан Батлер (координатор), Хейзел Оксенфорд, Кэрен Эванс (ведущий участник, ответственный за подглаву) и Хироя Яmano.

Ключевые тезисы

- Глобальное сокращение кораллового покрова продолжается, в первую очередь из-за повышения океанских температур, связанного с изменением климата, а также из-за промыслово-добывающей деятельности, загрязнения и седиментации, появления у кораллов новых болезней и физического разрушения коралловых рифов.
- Участились возмущения, вызываемые жарой, штормами, наводнениями и вспышками численности у морских звезд акантастеров («терновых венцов»), приводя к сокращению времени на восстановление между возмущениями.
- Повышается понимание ценности экосистемных услуг, предоставляемых коралловыми рифами, с точки зрения не только прямых экономических выгод (рыночная потребительская стоимость), но и менее осязаемой пользы, например эстетической ценности.
- Сохраняются существенные пробелы в знаниях, в частности о том, какова реакция кораллорифовых сообществ на изменение климата и как эта реакция может влиять на использование коралловых рифов человеком.
- Прогнозы будущих состояний позволяют предположить дальнейшее сокращение численности кораллов и рыб, приуроченных к рифам, и архитектурной сложности рифовых каркасов.

1. Введение

В настоящей главе обновляются выводы из главы 43 первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017b), которая была посвящена тропическим и субтропическим коралловым рифам. Обновленные выводы могут соприкоснуться или перекликаться с содержанием других глав настоящей «Оценки» (например, глав 4–10, 13–15 и 25–27). В этом смысле их содержание необходимо воспринимать в совокупности с настоящей главой.

В главе 43 первой «Оценки» комплексно охватывались многие аспекты состояния коралловых рифов в мире за период до 2010 года. На тот момент было определено, что коралловые рифы занимают по площади ориентировочно 249 713–284 300 км² и что на протяжении предыдущих 100 лет они непрерывно приходили в упадок (United Nations, 2017a). Тропические и субтропические коралловые рифы были отнесены к числу самых уязвимых экосистем, и был озвучен прогноз о том, что если ситуация с углеродными

выбросами будет развиваться по сценарию «обычный ход деятельности», то к 2050 году эти рифы могут в потенциале оказаться функционально вымершими (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014). Основной угрозой рифам были названы антропогенные воздействия, усугубляемые демографическими нагрузками. Среди этих воздействий — изменение климата (например, в виде потепления океана, закисления океана и подъема уровня моря), промыслово-добывающая деятельность (например, приводящая к перелову), загрязнение и седиментация, а также физическое разрушение. Были выявлены и другие стрессоры, связанные с вышеуказанными (в частности, с изменением климата), например болезни кораллов и хищническая активность акантастеров. Было установлено, что степень воздействия каждого стрессора на коралловые рифы у разных видов и в разных географических регионах значительно различается¹.

¹ См. A/66/298 и A/66/298/Corr.1.

2. Описание экологических изменений с 2010 по 2020 год

С тех пор как коралловые рифы мира были описаны в первой «Оценке», их состояние не улучшилось. Недавние глобальные эпизоды морской жары, например в 2014–2017 годах (Eakin and others, 2019), вызвали массовую гибель кораллов из-за теплового стресса и связанного с ним обесцвечивания, а перспективы восстановления после таких событий являются неопределенными (Leggat and others, 2019; Hughes and others, 2017a). За период после первой «Оценки» поступили сообщения о продолжающемся глобальном сокращении кораллорифового биоразнообразия, проявляющемся, например, у рыб (Johnson and others, 2017), и о региональных изменениях в видовом составе рифообразующих кораллов, например изменениях в доминировании *Porites* (Moritz and others, 2018; см. также ниже, разд. 5). За последние 30–40 лет общемировой коралловый покров сократился на 50–75 процентов (Bruno and others, 2019). Не пострадали (т. е. остались в основном не затронутыми человеческой деятельностью) лишь немногие кораллорифовые участки, причем большинство из них находится в районах, пользующихся статусом строго охраняемых (Jones and others, 2018).

Неуклонная деградация коралловых рифов во всем мире остается тесно связанной с ростом населения и усилением антропогенных нагрузок, и даже в удаленных точках, например на острове Джарвис, всё равно ощущается воздействие климатических изменений (Vargas-Ángel and others, 2019). Основные угрозы включают промыслово-добывающую деятельность, загрязнение (в том числе химикатами и сточными водами), седиментацию, физическое разрушение и антропогенные климатические изменения. Притом что региональные или локальные усилия будут способствовать митигации сокращений в коралловом покрове, они вряд ли компенсируют утрату кораллов, вызываемую изменением климата (Bruno and others, 2019).

Уровни парниковых газов в глобальном масштабе неуклонно росли (IPCC, 2018; см. также главу 5 настоящей «Оценки»). Появляются очаги потепления океана, например Австралия, Бразилия, Индия, Мадагаскар и Южная Африка (Fordyce and others, 2019; Kerr and others, 2018; Popova

and others, 2016). Это существенно преобразует экосистемы, например в Австралии, где произошло вытеснение ламинариевых водорослей кораллами (Wernberg and others, 2016). Изменения у коралловых сообществ, включая задержку или сокращение нереста (Birkeland, 2019) и появление таких кораллорифовых участков, где теперь доминируют макроводоросли (Johns and others, 2018) или цианобактерии (de Bakker and others, 2017), наблюдаются во всем мире (Hughes and others, 2018b). Из-за учащения эпизодов морской жары (Smale and others, 2019) неуклонно росла степень теплового стресса, которому подвергаются кораллы (Lough and others, 2018). Один из таких эпизодов, продолжавшийся 36 месяцев в 2014–2017 годах, привел к тому, что 75 процентов коралловых рифов мира подверглись обесцвечиванию, в результате которого у 30 процентов наступила гибель (Babcock and others, 2019; Eakin and others, 2019). Для некоторых рифов, например на юге внешней части Большого Барьерного рифа, это стало первым зафиксированным эпизодом обесцвечивания (Hughes and others, 2017). В глобальном масштабе такие эпизоды настолько участились, что перспектива восстановления становится неопределенной (Hughes and others, 2018a).

Существует много других факторов, совокупное действие которых влияет на качество и количество коралловых рифов в мире. У океана неуклонно снижается pH, и в каркасах коралловых рифов происходит в нетто-выражении потеря карбонатов (Albright and others, 2016; Kuffner and others, 2019; Steiner and others, 2018). В результате крупных (относящихся к 4-й и 5-й категориям) штормов, например в Атлантическом океане, усиливается физическое разрушение коралловых рифов (Murakami and others, 2014). Суровый и повторяющийся характер приобрели последствия наводнений, связанных со штормовыми явлениями (Butler and others, 2015), а восстановление после таких наводнений отмечалось региональной неоднородностью (Adjeroud and others, 2018; Holbrook and others, 2018). Во всем мире происходил рост коралловых заболеваний (Ruiz-Moreno and others, 2012), который объясняют тепловым стрессом (Anyamba and others, 2019; Randall and van Woessik, 2015).

Имеется несколько районов — «яркие пятна» (Cinner and others, 2016a) и рифы Флауэр-Гарден (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2020), — где коралловые рифы процветают и вытесняют другие местообитания, например ламинариевые леса. С усилением потепления

и течений коралловые рифы проникли в более высокие широты, примеры чего наблюдаются в Японии уже около 80 лет (Yamano and others, 2011; Kumagai and others, 2018) и на востоке Австралии уже около 20 лет (Baird and others, 2012; Booth and Sear, 2018).

3. Описание экономических и социальных последствий и/или других экономических или социальных изменений

Коралловые рифы присутствуют в морских акваториях примерно 79 государств — членов Организации Объединенных Наций. Коралловые рифы важны как источник дохода и белка для миллионов людей, живущих рыболовством, как крупный источник выручки от туризма и как одна из составляющих социокультурной идентичности (Cinner and others, 2016b; Kittinger and others, 2012). Стоимость товаров и услуг, получаемых от коралловых рифов, была в 2012 году оценена в 9,9 трлн долл. США (Costanza and others, 2014). Подсчитано, что во всем мире услугами коралловых рифов пользуются в настоящее время до 500 млн человек (Bruno and others, 2019), в том числе 6 млн рыбаков, непосредственно зависящих от коралловых рифов (Teh and others, 2013). Экономическая значимость туризма, рыболовства и развития прибрежных районов, например в странах Мезоамерики и Кораллового треугольника, оценивается в 20,1 млрд долл. США в год (United Nations Environment Programme (UNEP) and others, 2018). Общемировая туристическая значимость коралловых рифов оценивается в более чем 400 000 долл. США на 1 га, причем у некоторых рифов эта цифра достигает 7 млн долл. США на 1 га (Spalding and others, 2017).

Коралловые рифы важны для защиты побережья (эта их услуга оценивается в 170 205 долл. США на 1 га в год) и могут эксплуатироваться на предмет добычи камня и песка (22 000 долл. США на 1 га в год) (Costanza and others, 2014). Подсчитано, что их услуги, заключающиеся в снижении риска наводнений в Соединенных Штатах, позволяют сберечь более чем 18 000 жизней и 1,805 млрд долл. США ежегодно (Storlazzi and others, 2019). Возникающие же из-за утраты коралловых рифов дополнительные расходы, вызываемые во всем мире усилением наводнений в результате

сильного шторма, оцениваются в 272 млрд долл. США (Beck and others, 2018). В Соединенных Штатах благодаря коралловым рифам ежегодно предотвращается косвенный ущерб на сумму более 699 млн долл. США от прерывания экономической деятельности физических лиц и на сумму более 272 млн долл. США от перебоев в работе предприятий (Storlazzi and others, 2019).

Ценность коралловых рифов для человеческого здоровья и благополучия намного превышает традиционные расчеты их экономической ценности (UNEP and others, 2018). Вместе с тем взаимодействие коралловых рифов с обществом имеет непростой характер (Cinner and others, 2016b), что затрудняет выяснение долларовой эквивалента той пользы, которую они приносят здоровью и благополучию. Достигнут прогресс в понимании эффективных управленческих механизмов, позволяющих сохранять коралловые рифы, и важности устойчивого пользования последними (Aswani and others, 2015; Turner and others, 2018), особенно там, где эксплуатация развивается быстрее управленческих механизмов (Eriksson and others, 2015). Происходят конфликты между тем, как к хозяйствованию на коралловых рифах подходят местные сообщества, и тем, как оно организуется в общенациональных или международных рамках. Повышение осведомленности местных сообществ, например на Гавайях (Schemmel and others, 2016) или Соломоновых островах (Shaver and others, 2018), способствовало усилению у них чувства ответственности за коралловые рифы, а также строгости их контроля за состоянием рифов и распоряжения ими.

Коралловые рифы вносят свой вклад в жизнь миллионов людей во всем мире, а здоровье коралловых рифов влияет на способность достичь целей, поставленных в Повестке дня в области

устойчивого развития на период до 2030 года². Утрата здоровых коралловых рифов может поставить под угрозу достижение любой из целей в области устойчивого развития или всех этих целей. В частности, коралловые рифы способствуют достижению целей 1–3 и 12 (будучи источником дохода и питания), а также целей 3, 6 и 11–14 (имея эстетическую и природную самценность, создавая здоровые экологические

условия и позволяя разрабатывать медицинскую продукцию). Здоровые рифы поддерживают целостность островных и прибрежных земельных и водных ресурсов и инфраструктуры, способствуя тем самым достижению целей 6, 9, 11 и 13. Усматривается также их связь со способностью стран привлекать и удерживать квалифицированные кадры (цели 3, 4 и 10).

4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)

4.1. Средиземное море

Кораллорифовые районы Средиземноморья являются по своему характеру субтропическими и умеренными и имеют ограниченную распространённость (риффы умеренной зоны рассматриваются в главе 7 настоящей «Оценки»). У некоторых кораллов, например *Oculina patagonica*, происходят расширение ареала и увеличение численности, вызванные повышением температуры и доступности света (Serrano and others, 2018). У других кораллов, например *Cladocora caespitose*, занимаемые ими площади сокращаются (Chefaoui and others, 2017): место кораллогенных рифов занимают рифы, где доминируют водоросли, например *Womersleyella setacea* и *Caulerpa cylindracea* (Gatti and others, 2015).

4.2. Атлантический океан, в частности Большой Карибский район

В общей сложности 43 процента рифов в Карибском бассейне считаются сильно или очень сильно угрожаемыми из-за человеческой деятельности (International Coral Reef Initiative (ICRI), 2018a). Основные угрозы для карибских рифов совпадают с угрозами для остальных рифов в мире (Mumby and others, 2014) и включают стремительное распространение коралловых заболеваний (van Woelk and Randall, 2017), например недавно появившейся «потери тканей у каменистых кораллов» (Alvarez-Filip and others, 2019). Инвазивные крылатки (*Pterois volitans*) теперь считаются угрозой для туземных популяций рифовых рыб и для рифового биоразнообразия вообще (Chagaris and others, 2017).

Случающиеся в Карибском регионе с 1970-х годов эпизоды морской жары, в частности происходившие в 2015 и 2016 годах (Banon and others, 2018), привели к сокращению живого кораллового покрова с более чем 70 процентов до примерно 14 (ICRI, 2018a), притом что отмечаются существенные региональные вариации (Jackson and others, 2014; Cortés and others, 2018; Muniz-Castillo and others, 2019). Ван Хойдонк и др. (Van Hooidonk and others, 2014) прогнозируют, что большинство коралловых рифов в Карибском бассейне будет к 2045–2050 годам страдать от ежегодного обесцвечивания, а закисление океана может к 2050 году привести к тому, что карбонатное насыщение опустится ниже уровней, требующихся для поддержания роста коралловых рифов. Перри и др. (Perry and others, 2013) сообщают, что у 37 процентов рифов в Большом Карибском районе наблюдается абразия и только у 26 процентов – аккреция. Есть сообщения о значительном снижении темпов кальцификации и плотности структуры у таких видов, как *Orbicella faveolata* в биосферном резервате «Сифлауэр» (Lizcano-Sandoval and others, 2019). Существуют сильные указания на то, что рифы во Флориде характеризуются в целом абразией (Kuffner and others, 2019). Считается, что крупные тропические штормы в Центрально-Западной Атлантике (пять ураганов 5-й категории и три урагана 4-й категории в 2017–2019 годах) нанесли колоссальный ущерб коралловым рифам по всему региону, хотя официальные данные еще не опубликованы.

Достигнут прогресс в отношении стандартизованного мониторинга и освещения того, как обстоят дела со здоровьем коралловых рифов в

² См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

Карибском бассейне (например, Global Coral Reef Monitoring Network-Caribbean, 2016). Учетные карточки по рифам указывают на улучшение состояния рифов в системе Мезоамериканского барьерного рифа за последние 10 лет (McField and others, 2018). Активизировалась работа над улучшением сохранения и устойчивого использования коралловых рифов и прибрежных ареалов по всему региону (Caribbean Challenge Initiative, 2019), а также над восстановлением популяций травоядных животных (ICRI, 2013; Vallès and Oxenford, 2018). В Большом Карибском районе расширились усилия по восстановлению и реабилитации рифов, опирающиеся на результаты новых исследований и на усовершенствованные технологии выращивания и высаживания кораллов (Lirman and Schopmeyer, 2016, Baums and others, 2019).

4.3. Индийский океан

Численность коралловых рифов в Индийском океане оставалась с 2010 года стабильной — кроме как возле Мозамбика, где она существенно сократилась (Obura and others, 2017). Глобальные эпизоды морской жары вызвали массовое обесцвечивание по всему региону, например в акваториях у Мальдивских островов (Cowburn and others, 2019) и северо-запада Австралии (Keesing and others, 2019). Выяснено, что локальные угрозы превратили более 65 процентов рифов в Индийском океане в объект риска, причем у 33 процентов этот риск считается высоким или очень высоким (ICRI, 2018b). Порядка 19 процентов коралловых рифов расположены внутри охраняемых морских районов. Однако эффективно функционирующими считаются лишь 25 процентов от общего количества таких районов (ICRI, 2018c), и по многим из них отсутствуют планы управления природопользованием (Obura and others, 2017).

Коралловые рифы в Красном море и Персидском заливе демонстрируют выносливость к высоким температурам и к губительному воздействию обесцвечивания (Howells and others, 2016), хотя темпы кальцификации, похоже, снижаются (Steiner and others, 2018). В Индийском океане всё реже отмечаются хищнические методы рыболовства, включая использование ядов и динамита (Obura and others, 2017), хотя есть и заметные исключения, например в Объединенной

Республике Танзания (Chevallier, 2017). Усиливаются и другие прямые воздействия на коралловые рифы, например ущерб из-за закоривания рыболовных и прогулочных судов (Obura and others, 2017) или из-за вспышек численности у акантастеров (Saponari and others, 2018; Keesing and others, 2019).

4.4. Тихий океан

Угрозы коралловым рифам в Тихом океане, включая отмечаемый биоразнообразием регион Кораллового треугольника, аналогичны угрозам, ощущаемым в других местах мира (ICRI, 2018c). Есть сообщения о том, что с 1999 по 2016 год коралловый покров на 3 процента сократился (ICRI, 2018c), а с 2015 года по всему региону происходили массовые эпизоды обесцвечивания (Moritz and others, 2018; Hughes and others, 2019), последствия которых фиксируются лишь сейчас (Gorospe and others, 2018).

В разных точках Тихого океана продолжают происходить вспышки численности у акантастеров, вызывающие упадок кораллов, например в Мексике (Rodríguez-Vilalobos and Ayala-Bocos, 2018), Японии (Yasuda, 2018), Австралии (MacNeil and others, 2017), Французской Полинезии (Kayal and others, 2012) и на других тихоокеанских островах (Moritz and others, 2018).

В результате возмущений биоразнообразие коралловых видов по всему Тихому океану меняется, причем некоторые виды, такие как *Porites* spp., начинают усиленно доминировать, тогда как у *Pocillopora* spp. наблюдается значительное сокращение (Moritz and others, 2018). Япония сообщила об экспансии коралловых ареалов к полюсу, в бывшие местообитания водорослей (Yamano and others, 2011; Kumagai and others, 2018). Кораллорифовый покров по северо-западную сторону острова Гавайи сократился с примерно 44 процентов в 2002 году до 31 в 2014-м, прежде всего из-за природопользовательской деятельности человека (животноводство, освоение земель, обезлесение, разрастание городов, рыболовство, рекреационная активность и т. д.) и из-за жары, вызываемой изменением климата (Gove and others, 2016).

Человеческая деятельность угрожает сейчас примерно 88 процентам рифов, особенно остро

проявляясь в угрозах более локального характера (ICRI, 2018c). Около 13 процентов (8960 км²) кораллорифовых ареалов в Тихом океане находятся в охраняемых районах, из которых 20 процентов имеют официальные планы управления природопользованием (Moritz and others, 2018).

5. Перспективы

Численность кораллов и коралловый покров с 2010 по 2019 год сократились, и в ближайшие десятилетия ожидается продолжение этого сокращения (Graham and others, 2017). За период с 2015 года эпизоды обесцвечивания привели к снижению производства личинок и пополнения популяций, что повлечет за собой ослабление или задержку восстановительного процесса (Hughes and others, 2018b). Климатические прогнозы (см. также гл. 5 и 9) позволяют предположить, что к середине столетия многие из коралловых рифов мира будут испытывать ежегодное обесцвечивание, связанное с повышением температур (Hughes and others, 2018b). Также спрогнозированы усиление абразии, седиментации и притока нутриентов из-за повышения интенсивности штормов (Walsh and others, 2016; Vitousek and others, 2017), рост смертности из-за снижающегося содержания кислорода (Nelson and Altieri, 2019; Altieri and others, 2017) и затопление коралловых рифов из-за подъема уровня моря (Perry and others, 2018; Storlazzi and others, 2019). Глубоководные районы на роль возможного термального убежища для кораллов подходят мало, поскольку температурное облегчение возникает на большей глубине только в определенное время года и поскольку глубоководную среду способны переносить только определенные коралловые виды (Frade and others, 2018). В будущих коралловых сообществах станет, вероятно, преобладать меньше видов, причем устойчивых к высоким температурам и обесцвечиванию (Moritz and others, 2018; Birkeland, 2019). В ближайшие десятилетия должны яснее проступить последствия закисления океана, проявляющиеся в непрерывном растворении рифов (Eyre and others, 2018; Birkeland, 2019).

Из-за потепления океана и теплых течений ожидается экспансия коралловых рифов в более высокие широты (Wilson and others, 2016, 2018).

Из таких рифов, расположенных в охраняемых морских районах в регионе Юго-Восточной Азии, только у 30 процентов выявлено наличие эффективных мер, регулирующих хозяйствование и обязывающих исполнять действующие правила (ICRI, 2018c).

При этом ожидается также, что границы коралловых местообитаний или видовых ареалов будут замкнуты между более высокими широтами, где снижается степень насыщения арагонитом, и более низкими широтами, где повышение температуры воды приводит к тепловому стрессу (Matz and others, 2018; Yara and others, 2012).

Многие рифологи считают парниковые газы и изменение климата основным фактором риска для будущих коралловых рифов (например, Beyer and others, 2018; Rinkevich, 2019). Чтобы бороться с утратой коралловых рифов, осуществляется совершенствование методов их восстановления (van Oppen and others, 2017) и происходит широкое использование последних, демонстрирующее определенные успехи (Bayraktarov and others, 2019; Rinkevich, 2019). Проводятся дальнейшие исследования, призванные уяснить реакцию кораллов на изменение климата и выработать методы, которые помогают кораллам адаптироваться к будущим условиям, например модификации в составе живущих с ними в симбиозе микроводорослей (Rinkevich, 2019). Методы моделирования, призванные определять огибающие риска для коралловых рифов, способны помочь в расстановке приоритетов, позволяя сфокусировать усилия на рифах, которые показывают наибольшую выносливость и вероятность выживания (Beyer and others, 2018). Курс на «голубую» экономику способствует отысканию инновационных механизмов экологического финансирования, рассчитанного на сохранение и устойчивое использование морских ресурсов, особенно коралловых рифов (например, Deutz and others, 2018).

Вообще говоря, продолжающаяся утрата коралловых рифов, которая ожидается в предстоящие десятилетия, будет также ударять по многим из социально-экономических благ, предлагаемых здоровыми коралловыми рифами.

6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях

Основные пробелы в знаниях, о которых сообщалось в первой «Оценке», включали такие темы, как реакции кораллов и зависимых от них видов (например, рыб) на изменение климата и пространственная протяженность мезофотических коралловых рифов (встречающихся на глубине 30–150 м в условиях пониженной освещенности). Между тем в прояснении этих тем был достигнут прогресс, и сегодня список конкретных пробелов в знаниях выглядит несколько иначе, хотя в целом они по-прежнему относятся к тем же областям. Эти пробелы таковы: а) реакции рифовых сообществ на изменение климата; б) социально-экономическая ценность коралловых рифов; в) распространение и экология мезофотических коралловых рифов.

Сохраняется необходимость полнее уяснить реакции рифовых сообществ на изменение климата, хотя в вопросе об адаптации кораллов к изменениям достигается прогресс (например, Dziedzic and others, 2019). Всё еще слабо понимаются реакции коралловых рифов на закисление океана (Morais and others, 2018): нынешние познания в этой сфере грешат неточностями в измерениях нетто-показателей роста и абразии рифов. В частности, не выяснены воздействия повышающихся океанских температур на жизненные циклы рифовых таксонов, изменения в нейросенсорной функции и метаболизме у различных ключевых таксонов, приуроченных к рифам, и кумулятивные последствия климатических изменений и других стрессоров (таких, как обогащение нутриентами, увеличение притока отложений и перелов) для кораллорифовых систем. В настоящее время мало известно о роли, играемой кораллиновыми водорослями и мик-

робными сообществами в экологии и здоровье рифов (Cornwall and others, 2019; Ricci and others, 2019), притом что существуют четкие сезонные связи между микробиомом и численностью макроводорослей (Glasl and others, 2020). В нашем понимании коралловых рифов и их реакций на климатические изменения и другие стрессоры (такие, как снижение содержания кислорода в океане и появление новых загрязнителей) существуют и значительные географические пробелы. Плохо описаны кораллорифовые сообщества Юго-Западной Атлантики и более глубоководных районов (Loya and others, 2016; Morais and others, 2018). Нужна дальнейшая информация для выяснения механизмов протекания болезней у кораллов и путей их передачи, в частности их связи с эпизодами обесцвечивания кораллов и плохим качеством воды.

Что касается социально-экономической ценности коралловых рифов, то недостает надежных выкладок об экономической ценности экосистемных услуг, предоставляемых рифами на локальном и национальном уровнях, из-за чего эта ценность не учитывается должным образом в анализе затрат и выгод проектов развития. Существуют и другие пробелы в знаниях, касающиеся эффективности хозяйственных инструментов и усилий по повышению выносливости рифов, включая восстановление кораллов (Boström-Einarsson and others, 2020).

Наконец, появляются доказательства широкой распространенности мезофотических коралловых рифов (например, Baker and others, 2016) за пределами Атлантики (Loya and others, 2016), в связи с чем требуется дальнейшая информация об их биоразнообразии и экологической функции.

7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала

В первой «Оценке» были названы пробелы в наращивании потенциала на местном, национальном и региональном уровнях. В большинстве развивающихся стран эти пробелы сохраняются. Так, нехватка квалифицированных исследователей и технических специалистов сдерживает

мониторинг коралловых рифов и распоряжение ими, а значит, ограничивает способность выявлять происходящие со временем изменения и реагировать на них. Достигнуты существенные успехи в разработке новых технологий для мониторинга кораллорифовых систем (Bayley and

Mogg, 2019; Hedley and others, 2016), но на местном уровне возможности для использования и применения таких технологий являются ограниченными (например, Díaz and others, 2015; Timpert and others, 2018). Необходимо усиливать способность к реализации адаптационных стратегий в ответ на изменение климата (Cinner and others, 2018) и к налаживанию адаптивного управления (Hoegh-Guldberg, 2018) как на локальном, так и на глобальном уровне. Вырисовывается такая

задача, как ознакомление общественности с феноменом экспансии кораллов в более высокие широты и формирование потенциала для репоряджения кораллорифовыми ресурсами и их устойчивого использования. Возможности для восстановления коралловых рифов в настоящее время невелики, так что необходимо развивать умение пересаживать кораллы, разводить их (Kittinger and others, 2016; Van Oppen and others, 2017) и ухаживать за ними.

Справочная литература

- Adjeroud, Mehdi, and others (2018). Recovery of coral assemblages despite acute and recurrent disturbances on a South Central Pacific reef. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 9680.
- Albright, Rebecca, and others (2016). Reversal of ocean acidification enhances net coral reef calcification. *Nature*, vol. 531, No. 7594, p. 362.
- Altieri, Andrew H., and others (2017). Tropical dead zones and mass mortalities on coral reefs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 114, No. 14, pp. 3660–3665.
- Alvarez-Filip, Lorenzo, and others (2019). A rapid spread of the Stony Coral Tissue Loss Disease outbreak in the Mexican Caribbean. *PeerJ Preprints*, vol. 7, e27893v1.
- Anyamba, Assaf, and others (2019). Global Disease outbreaks Associated with the 2015–2016 El Niño event. *Scientific Reports*, vol. 9, No. 1, art. 1930.
- Aswani, Shankar, and others (2015). Scientific frontiers in the management of coral reefs. *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, art. 50.
- Babcock, Russell C., and others (2019). Severe continental-scale impacts of climate change are happening now: Extreme climate events impact marine habitat forming communities along 45% of Australia's coast. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 411.
- Baird, A.H., and others (2012). Pole-ward range expansion of *Acropora* spp. along the east coast of Australia. *Coral Reefs*, vol. 31, No. 4, pp. 1063–1063.
- Baker, E., and others (2016) *Mesophotic coral ecosystems—a lifeboat for coral reefs?* United Nations Environment Programme and GRID-Arendal.
- Banon, Ysabel, and others (2018). Thermal Stress and Bleaching in Coral Reef Communities during the 2014–2016 Caribbean Bleaching Event. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.
- Baums, Iliana B., and others (2019). Considerations for maximizing the adaptive potential of restored coral populations in the western Atlantic. *Ecological Applications*, vol. 29, No. 8, e01978. 10.1002/eap.1978
- Bayley, Daniel T.I., and Andrew O.M. Mogg (2019). New advances in benthic monitoring technology and methodology. In *World Seas: An Environmental Evaluation*, pp. 121–132. Elsevier.
- Bayraktarov, Elisa, and others (2019). Motivations, success and cost of coral reef restoration. *Restoration Ecology*.
- Beck, Michael W., and others (2018). The global flood protection savings provided by coral reefs. *Nature Communications*, vol. 9, No. 1, art. 2186.
- Beyer, Hawthorne L., and others (2018). Risk-sensitive planning for conserving coral reefs under rapid climate change. *Conservation Letters*, vol. 11, e12587.

- Birkeland, Charles (2019). Global status of coral reefs: in combination, disturbances and stressors become ratchets. In *World Seas: An Environmental Evaluation*, pp. 35–56. Elsevier.
- Booth, David J., and John Sear (2018). Coral expansion in Sydney and associated coral-reef fishes. *Coral Reefs*, vol. 37, No. 4, pp. 995–995.
- Boström-Einarsson, Lisa, and others (2020). Coral restoration – A systematic review of current methods, successes, failures and future directions. *PLoS ONE*, vol. 15, e0226631.
- Bruno, John F., and others (2019). Climate change, coral loss, and the curious case of the parrotfish paradigm: Why don't marine protected areas improve reef resilience? *Annual Review of Marine Science*, vol. 11, pp. 307–334.
- Butler, I.R., and others (2015). The cumulative impacts of repeated heavy rainfall, flooding and altered water quality on the high-latitude coral reefs of Hervey Bay, Queensland, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 96, Nos. 1–2, pp. 356–367.
- Caribbean Challenge Initiative (CCI) (2019). *Factsheet and Overview: Caribbean Challenge Initiative*. www.caribbeanbiodiversityfund.org/pdf/CCI_Overview_factSheet_HighRes.pdf.
- Chagaris, David, and others (2017) An ecosystem-based approach to evaluating impacts and management of invasive lionfish. *Fisheries*, vol. 42, No.8, pp. 421–431, <https://doi.org/10.1080/03632415.2017.1340273>.
- Chefaoui, Rosa M., and others (2017). Environmental drivers of distribution and reef development of the Mediterranean coral *Cladocora caespitosa*. *Coral Reefs*, vol. 36, No. 4, pp. 1195–1209.
- Chevallier, Romy (2017). Safeguarding Tanzania's Coral Reefs: The Case of Illegal Blast Fishing.
- Cinner, Joshua E., and others (2016a). Bright Spots among the World's Coral Reefs. *Nature*, vol. 535, p. 416.
- Cinner, Joshua E., and others (2016b). A Framework for Understanding Climate Change Impacts on Coral Reef Social–Ecological Systems. *Regional Environmental Change*, vol. 16, No. 4, pp. 1133–1146.
- Cinner, Joshua E., and others (2018). Building Adaptive Capacity to Climate Change in Tropical Coastal Communities. *Nature Climate Change*, vol. 8, No. 2, p. 117.
- Cornwall, Christopher Edward, and others (2019). Impacts of ocean warming on coralline algae: knowledge gaps and key recommendations for future research. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 186.
- Cortés, Jorge, and others (2018). The CARICOMP Network of Caribbean Marine Laboratories (1985–2007): History, Key Findings and Lessons Learned. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 519.
- Costanza, Robert, and others (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, vol. 26, pp. 152–158.
- Cowburn, Benjamin, and others (2019). Evidence of coral bleaching avoidance, resistance and recovery in the Maldives during the 2016 mass-bleaching event. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 626, pp. 53–67.
- De Bakker, Didier M., and others (2017). 40 Years of benthic community change on the Caribbean reefs of Curaçao and Bonaire: the rise of slimy cyanobacterial mats. *Coral Reefs*, vol. 36, No. 2, pp. 355–367.
- Deutz, Andrew, and others (2018). *Innovative Finance for Resilient Coasts and Communities. A Briefing Paper Prepared by The Nature Conservancy and the United Nations Development Programme for Environment and Climate Change Canada*. www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/Innovative_Finance_Resilient_Coasts_and_Communities.pdf.
- Díaz, Sandra, and others (2015). The IPBES Conceptual Framework—connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 14, pp. 1–16.
- Dziedzic, Katherine E., and others (2019) Heritable variation in bleaching responses and its functional genomic basis in reef-building corals (*Orbicella faveolata*). *Molecular Ecology*, vol. 28, No. 9, pp. 2238–2253.

- Eakin, C. Mark, and others (2019). The 2014–2017 global-scale coral bleaching event: insights and impacts. *Coral Reefs*, vol. 38, pp. 539–545.
- Eriksson, Hampus and others (2015). Contagious exploitation of marine resources. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 13, No. 8, pp. 435–440.
- Eyre, Bradley D., and others (2018). Coral reefs will transition to net dissolving before end of century. *Science*, vol. 359, No. 6378, pp. 908–911.
- Fordyce, Alexander John, and others (2019). Marine heatwave hotspots in coral reef environments: physical drivers, ecophysiological outcomes and impact upon structural complexity. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, p. 498.
- Frade, Pedro R., and others (2018). Deep reefs of the Great Barrier Reef offer limited thermal refuge during mass coral bleaching. *Nature Communications*, vol. 9, No. 1, pp. 3447.
- Gatti, Giulia, and others (2015). Ecological change, sliding baselines and the importance of historical data: lessons from combing observational and quantitative data on a temperate reef over 70 years. *PLoS One*, vol. 10, No. 2, e0118581.
- Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN)-Caribbean (2016). *GCRMN-Caribbean Guidelines for Coral Reef Biophysical Monitoring*. UNEP(DEPI)/CAR WG.38/INF.17.
- Glasl, B., and others (2020). Comparative genome-centric analysis reveals seasonal variation in the function of coral reef microbiomes. *ISME Journal*, vol. 14, pp. 1435–1450.
- Gorospe, Kelvin D., and others (2018). Local biomass baselines and the recovery potential for Hawaiian coral reef fish communities. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 162.
- Gove, Jamison M., and others (2016). West Hawai'i integrated ecosystem assessment: ecosystem trends and status report. Pacific Islands Fisheries Science Centre.
- Graham, Nicholas A.J., and others (2017). Human disruption of coral reef trophic structure. *Current Biology*, vol. 27, No. 2, pp. 231–236.
- Hedley, John D., and others (2016). Remote sensing of coral reefs for monitoring and management: a review. *Remote Sensing*, vol. 8, No. 2, art. 118.
- Hoegh-Guldberg, Ove, and others (2018). Securing a long-term future for coral reefs. *Trends in Ecology & Evolution*.
- Holbrook, Sally J., and others (2018). Recruitment drives spatial variation in recovery rates of resilient coral reefs. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 7338.
- Howells, Emily J., and others (2016). Host adaptation and unexpected symbiont partners enable reef-building corals to tolerate extreme temperatures. *Global Change Biology*, vol. 22, pp. 2702–2714. <https://doi.org/10.1111/gcb.13250>.
- Hughes, Terry P., and others (2017a). Coral reefs in the Anthropocene. *Nature*, vol. 546, No. 7656, p. 82.
- Hughes, Terry P., and others (2017b). Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature*, vol. 543, No. 7645, p. 373.
- Hughes, Terry P., and others (2018a). Global warming transforms coral reef assemblages. *Nature*, vol. 556, No. 7702, p. 492.
- Hughes, Terry P., and others (2018b). Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene. *Science*, vol. 359, No. 6371, pp. 80–83.
- Hughes, Terry P., and others (2019). Ecological memory modifies the cumulative impact of recurrent climate extremes. *Nature Climate Change*, vol. 9, pp. 40–43. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0351-2>.
- International Coral Reef Initiative (ICRI) (2013). *Recommendation on Addressing the Decline in Coral Reef Health throughout the Wider Caribbean: The Taking of Parrotfish and Similar Herbivores*. Adopted on 17 October 2013, at the 28th ICRI General Meeting (Belize City).

- _____ (2018a). *Caribbean Fact Sheet - Communicating the Economic and Social Importance of Coral Reefs for Caribbean Countries*. International Coral Reef Initiative.
- _____ (2018b). *Communicating the Economic and Social Importance of Coral Reefs for Indian Ocean Countries*. International Coral Reef Initiative.
- _____ (2018c). *South Asia Factsheet - Communicating the Economic and Social Importance of Coral Reefs for South East Asian Countries*. International Coral Reef Initiative.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014). *Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report* vol. 1. C.B Field, and others, eds. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379>.
- _____ (2018) = Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) (2018). Глобальное потепление на 1,5 °C: специальный доклад МГЭИК о последствиях глобального потепления на 1,5 °C выше доиндустриальных уровней и о соответствующих траекториях глобальных выбросов парниковых газов в контексте укрепления глобального реагирования на угрозу изменения климата, а также устойчивого развития и усилий по искоренению нищеты: резюме для политиков. Под ред. В. Массон-Дельмотт и др. 26 сс.
- Jackson, Jeremy, and others (2014). *Status and Trends of Caribbean Coral Reefs: 1970–2012*. Gland, Switzerland: Global Coral Reef Monitoring Network, ICUN.
- Johns, Kerry A., and others (2018). Macroalgal feedbacks and substrate properties maintain a coral reef regime shift. *Ecosphere*, vol. 9, No. 7, art. e02349.
- Johnson, Christopher N., and others (2017). Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene. *Science*, vol. 356, No. 6335, pp. 270–275.
- Jones, Kendall R., and others (2018). The location and protection status of Earth’s diminishing marine wilderness. *Current Biology*, vol. 28, No. 15, pp. 2506–2512.
- Kayal, Mohsen, and others (2012). Predator Crown-of-Thorns Starfish (*Acanthaster planci*) Outbreak, Mass Mortality of Corals, and Cascading Effects on Reef Fish and Benthic Communities. *PLOS ONE*, vol. 7, No. 10, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047363>.
- Keesing, John K. and others (2019). Two time losers: selective feeding by crown-of-thorns starfish on corals most affected by successive coral-bleaching episodes on western Australian coral reefs. *Marine Biology*, vol. 166, No. 72. <https://doi.org/10.1007/s00227-019-3515-3>.
- Kerr, Rodrigo, and others (2018). Northern Antarctic Peninsula: a marine climate hotspot of rapid changes on ecosystems and ocean dynamics. *Deep-Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography*, vol. 149, pp. 4–9.
- Kittinger, John, and others (2012). Human dimensions of coral reef social-ecological systems. *Ecology and Society*, vol. 17, No. 4. <https://doi.org/10.5751/ES-05115-170417>.
- Kittinger, John, and others (2016). Restoring ecosystems, restoring community: socioeconomic and cultural dimensions of a community-based coral reef restoration project. *Regional Environmental Change*, vol. 16, No. 2, pp. 301–313.
- Kuffner, Ilsa B., and others (2019). Improving estimates of coral reef construction and erosion with in situ measurements. *Limnology and Oceanography*. <https://doi.org/10.1002/lno.11184>.
- Kumagai, Naoki H., and others (2018). Ocean currents and herbivory drive macroalgae-to-coral community shift under climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 36, pp. 8990–8995.
- Leggat, William P., and others (2019). Rapid coral decay is associated with marine heatwave mortality events on reefs. *Current Biology*, vol. 29, No. 16, pp. 2723–2730. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.06.077>.

- Lirman, D. and S. Schopmeyer (2016). Ecological solutions to reef degradation: optimizing coral reef restoration in the Caribbean and Western Atlantic. *PeerJ* 4: e2597; <https://doi.org/10.7717/peerj.2597>.
- Lizcano-Sandoval, Luis David, and others (2019). Climate change and Atlantic Multidecadal Oscillation as drivers of recent declines in coral growth rates in the Southwestern Caribbean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 38.
- Lough, J.M., and others (2018). Increasing thermal stress for tropical coral reefs: 1871–2017. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 6079.
- Loya, Yossi, and others (2016). *Theme Section on Mesophotic Coral Ecosystems: Advances in Knowledge and Future Perspectives*. *Coral Reefs*, vol. 35, pp. 1–9.
- MacNeil, M., and others (2017). Age and growth of an outbreaking *Acanthaster* cf. *solaris* population within the Great Barrier Reef. *Diversity*, vol. 9, No. 1, art. 18.
- Matz, Mikhail V., and others (2018) Potential and limits for rapid genetic adaptation to warming in a Great Barrier Reef coral. *PLOS Genetics*, 14(4), e1007220. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1007220>.
- Mcfield, Melanie, and others (2018). *2018 Mesoamerican Reef Report Card*. Healthy Reefs Initiative. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19679.36005>.
- Morais, Juliano, and others (2018). Research gaps of coral ecology in a changing world. *Marine Environmental Research*, vol. 140, pp. 243–250.
- Moritz, Charlotte, and others, eds. (2018). *Status and Trends of Coral Reefs of the Pacific*, Global Coral Reef Monitoring Network.
- Mumby, Peter J., and others (2014). *Towards Reef Resilience and Sustainable Livelihoods: A handbook for Caribbean coral reef managers*.
- Muniz-Castillo, Aaron Israel, and others (2019). Three decades of heat stress exposure in Caribbean coral reefs: a new regional delineation to enhance conservation. *Scientific Reports*, vol. 9, art. 11013. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47307-0>.
- Murakami, Hiroyuki, and others (2014). Contributing factors to the recent high level of accumulated cyclone energy (ACE) and power dissipation index (PDI) in the North Atlantic. *Journal of Climate*, vol. 27, No. 8, pp. 3023–3034.
- Nelson, Hannah R., and Andrew H. Altieri (2019). Oxygen: the universal currency on coral reefs. *Coral Reefs*, vol. 38, No. 2, pp. 177–198.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2020). *Coral reef condition: A status report for the Flower Garden Banks*. NOAA Coral Reef Conservation Program. Silver Spring, Maryland, United States.
- Obura, David, and others (2017). *Coral Reef Status Report for the Western Indian Ocean*. Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN)/International Coral Reef Initiative (ICRI), p. 144.
- Perry, Chris T., and others (2013). Caribbean-wide decline in carbonate production threatens coral reef growth. *Nature Communications*, vol. 4, No. 1, art. 1402.
- Perry, Chris T., and others (2018). Loss of coral reef growth capacity to track future increases in sea level. *Nature*, vol. 558, No. 7710, pp. 396–400.
- Popova, Ekaterina, and others (2016). From global to regional and back again: common climate stressors of marine ecosystems relevant for adaptation across five ocean warming hotspots. *Global Change Biology*, vol. 22, No. 6, pp. 2038–2053.
- Randall, Carly J., and Robert van Woesik (2015). Contemporary white-band disease in Caribbean corals driven by climate change. *Nature Climate Change*, vol. 5, No. 4, p. 375.
- Ricci, Francesco, and others (2019). Beneath the surface: community assembly and functions of the coral skeleton microbiome. *EcoEvoRxiv*. <https://doi.org/10.32942/osf.io/9yfw8>.

- Rinkevich, Baruch (2019). The active reef restoration toolbox is a vehicle for coral resilience and adaptation in a changing world. *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 7, No. 7, art. 201.
- Rodríguez-Vilalobos, J.C., and A. Ayala-Bocos (2018). Coral colonies in the eastern tropical Pacific: predation by *Acanthaster cf. solaris*. *Pacific Conservation Biology*, vol. 24, No. 4, pp. 419–420.
- Ruiz-Moreno, Diego, and others (2012). Global coral disease prevalence associated with sea temperature anomalies and local factors. *Diseases of Aquatic Organisms*, vol. 100, No. 3, pp. 249–261.
- Saponari, Luca, and others (2018). Monitoring and assessing a 2-year outbreak of the corallivorous seastar *Acanthaster planci* in Ari Atoll, Republic of Maldives. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 190, No. 6, art. 344.
- Schemmel, Eva, and others (2016). The codevelopment of coastal fisheries monitoring methods to support local management. *Ecology and Society*, vol. 21, No. 4.
- Serrano, Eduard, and others (2018). Demographics of the zooxanthellate coral *Oculina patagonica* along the Mediterranean Iberian coast in relation to environmental parameters. *Science of The Total Environment*, vol. 634, pp. 1580–1592.
- Shaver, Elizabeth C., and others (2018). Local management actions can increase coral resilience to thermally-induced bleaching. *Nature Ecology & Evolution*, vol. 2, No. 7, p. 1075.
- Smale, Dan A., and others (2019). Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change*, vol. 9, No. 4, p. 306.
- Spalding, Mark, and others (2017). Mapping the global value and distribution of coral reef tourism. *Marine Policy*, vol. 82, pp. 104–113.
- Steiner, Zvi, and others (2018). Water chemistry reveals a significant decline in coral calcification rates in the southern Red Sea. *Nature Communications*, vol. 9, No. 1, art. 3615.
- Storlazzi, Curt D., and others (2019). Rigorously valuing the role of US coral reefs in coastal hazard risk reduction. US Geological Survey.
- Teh, Louise S.L., and others (2013). A global estimate of the number of coral reef fishers. *PLoS One*, vol. 8, No. 6, e65397.
- Timpte, Malte, and others (2018). Engaging diverse experts in a global environmental assessment: participation in the first work programme of IPBES and opportunities for improvement. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, vol. 31, No. sup1, pp. S15–S37.
- Turner, Rachel A., and others (2018). Social fit of coral reef governance varies among individuals. *Conservation Letters*, vol. 11, No. 3, e12422.
- United Nations (2017a). Chapter 43: Tropical and sub-tropical coral reefs. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- United Nations Environment Programme (UNEP) and others (2018). *Plastics and Shallow Water Coral Reefs. Synthesis of the Science for Policy-Makers*. Nairobi: UNEP.
- Vallès, Henri, and Hazel A. Oxenford (2018). Simple family-level parrotfish indicators are robust to survey method. *Ecological Indicators*, vol. 85, pp. 244–252.
- Van Hooidonk, Ruben, and others (2014). Opposite latitudinal gradients in projected ocean acidification and bleaching impacts on coral reefs. *Global Change Biology*, vol. 20, No.1, pp. 103–112.
- Van Oppen, Madeleine J.H., and others (2017). Shifting paradigms in restoration of the world's coral reefs. *Global Change Biology*, vol. 23, No. 9, pp. 3437–3448.
- Van Woesik, Robert, and Carly J. Randall (2017). Coral disease hotspots in the Caribbean. *Ecosphere*, vol. 8, No. 5, art. e01814.

- Vargas-Ángel, Bernardo, and others (2019). El Niño-associated catastrophic coral mortality at Jarvis Island, central Equatorial Pacific. *Coral Reefs* vol. 38, pp. 731–741.
- Vitousek, Sean, and others (2017). Doubling of coastal flooding frequency within decades due to sea-level rise. *Scientific Reports*, vol. 7, No. 1, art. 1399.
- Walsh, Kevin J.E., and others (2016). Tropical cyclones and climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 7, No. 1, pp. 65–89.
- Wernberg, Thomas, and others (2016). Climate-driven regime shift of a temperate marine ecosystem. *Science*, vol. 353, No. 6295, pp. 169–172.
- Wilson, Laura J., and others (2016). Climate-driven changes to ocean circulation and their inferred impacts on marine dispersal patterns. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 25, No. 8, pp. 923–939.
- Wilson, Shaun K., and others (2018). Climatic forcing and larval dispersal capabilities shape the replenishment of fishes and their habitat-forming biota on a tropical coral reef. *Ecology and Evolution*, vol. 8, No. 3, pp. 1918–1928.
- Yamano, Hiroya, and others (2011). Rapid poleward range expansion of tropical reef corals in response to rising sea surface temperatures. *Geophysical Research Letters*, vol. 38, No. 4.
- Yara, Yumiko, and others (2012). Ocean acidification limits temperature-induced poleward expansion of coral habitats around Japan. *Biogeosciences*, vol. 9, No. 12, pp. 4955–4968.
- Yasuda, Nina (2018). Distribution Expansion and Historical Population Outbreak Patterns of Crown-of-Thorns Starfish, *Acanthaster planci* sensu lato, in Japan from 1912 to 2015. In *Coral Reef Studies of Japan*, pp. 125–148. Springer, Singapore.

Глава 7Е

ХОЛОДНОВОДНЫЕ КОРАЛЛЫ

Участники: Эрик Кордес (координатор), Георгиос Казанидис, Малколм Р. Кларк, Себастьян Хенниге и Кэрен Эванс (ведущий участник, ответственный за подглаву).

Ключевые тезисы

- Будучи обычным явлением на континентальных окраинах, срединно-океанических хребтах и подводных горах по всему миру, экосистемы холодноводных кораллов и губок обеспечивают среду обитания для множества видов и способствуют секвестрации углерода.
- Базовые знания о биологии и распространении холодноводных кораллов по-прежнему ограничиваются немногочисленными исследованными районами океанского глубоководья.
- Сохраняются угрозы со стороны рыболовства, бурения морских нефтяных скважин, глубоководной добычи полезных ископаемых, удаления отходов и изменения климата. Отмечается эффективность некоторых усилий по прекращению донного тралового промысла и созданию охраняемых морских районов. Однако из-за медленного роста и долгожительства холодноводных кораллов их восстановление после антропогенных воздействий может занимать от десятилетий до столетий.
- Холодноводные кораллы очень чувствительны к повышению температур и дезоксигенации, но, как показывают недавние работы, относительно выносливы к закислению океана, особенно при обилии питательных ресурсов.
- Прогнозируемое снижение в будущем численности холодноводных кораллов приведет к сокращению среды обитания, имеющейся у коммерчески значимых видов, сокращению секвестрации углерода в глубоких водах и уничтожению потенциальных генетических ресурсов, а также скажется на достижении многих целей в области устойчивого развития, в частности цели 14, равно как и целей 2, 10 и 12¹.

1. Введение и резюме первой «Оценки состояния Мирового океана»

Холодноводные кораллы (ХВК), характеризующиеся всесветной встречаемостью (рисунок I), образуют важные местообитания, которые поддерживают высокое разнообразие и биомассу у ассоциированных с ними организмов. В соответствии с параметрами, установленными в первой «Оценке состояния Мирового океана» (United Nations, 2017), настоящая глава посвящена кораллам, обитающим глубже отметки 200 м. ХВК обнаруживаются во всем мире на тех участках континентальных окраин, срединно-океанических хребтов (гл. 7О) и подводных гор (гл. 7Л), где имеются твердые субстраты. Эти местообитания являются компонентами склонов вулканических островов (охвачены в гл. 7С), подводных каньонов (гл. 7J) и фьордов, подводных гор и скал (гл. 7L), а также подводных хребтов и плато (гл. 7O). Коралловые местообитания можно найти на периферии холодных просачиваний и

недействующих гидротермальных источников (гл. 7P). ХВК, губки и ассоциированные с ними виды также напрямую взаимодействуют с вышележащими слоями открытого океана (гл. 7N) через смыкание между бенталью и пелагиалью. Энергетическую базу громадного большинства звеньев глубоководной пищевой сети образует продукция, поступающая с поверхности, а рециркулируемые системами ХВК питательные вещества могут подпитывать поверхностную продуктивность благодаря апвеллингу и переносу нутриентов организмами, совершающими суточную вертикальную миграцию.

Моделирование глобальных местообитаний указывает на вероятность того, что склерактинии, являющиеся основными каркасообразующими ХВК (рисунок II), наиболее многочисленны в акваториях со следующими характеристиками:

¹ См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

- a) твердый субстрат, необходимый для поселения коралловых личинок;
- b) перенасыщенность воды арагонитом;
- c) глубина менее 1500 м;
- d) концентрация растворенного кислорода в воде более 4 мл/л; e) соленость воды в диапазоне от 34 до 37 единиц практической солености;
- f) температура между 5 и 10 °C (Davies and Guinotte, 2011).

Вместе с тем самые разные таксоны ХВК занимают в океанском глубоководье более обширные ниши (Quattrini and others, 2013, 2017). Снабжение ХВК пищей происходит посредством таких механизмов, как быстрый даунвеллинг (Davies and others, 2009), геострофические течения, внутренние волны, приливы, столбы Тейлора (вихри, вызывающие апвеллинг и усиливающие концентрацию пищи; White and others, 2005), промежуточные и донные нефелоидные слои (Mienis and others, 2007) и деятельность организмов, совершающих суточную вертикальную миграцию (Maier and others, 2019).

Экосистемы ХВК предоставляют человеческим сообществам насущно необходимые услуги и обеспечивают их благополучие (см. также разд. 3). В частности, продемонстрированы такие услуги, как возможность открытия неизвестных ранее морских генетических ресурсов (гл. 23), секвестрация углерода и значительная эстетическая ценность (см. обзор, подготовленный Тербером и др. (Thurber and others, 2014). Наиболее непосредственно полезность ХВК выражается в том, что они дают среду обитания, которая служит прибежищем и/или местом нагула для рыбных запасов, являющихся или способных являться объектом коммерческой эксплуатации (Baillon and others, 2012; Quattrini and others, 2012; Roberts and others, 2009). Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций признает таксоны ХВК в качестве индикаторов уязвимых морских экосистем (FAO, 2009), а Генеральная Ассамблея в своих резолюциях 59/25 и 61/105 призвала к природоохранным ме-

рам для защиты уязвимых морских экосистем от антропогенных воздействий. Изобилие ниш в сочетании с высокой доступностью пищи делает некоторые рифы ХВК «очагами» биоразнообразия и биомассы, где присутствуют сотни других сидячих и подвижных организмов (Cordes and others, 2008; Henry and Roberts, 2007) и происходит рециркуляция углерода и питательных веществ (Cathalot and others, 2015; van Oevelen and others, 2009).

Рисунок 1
Карта глобального распространения глубоководных кораллов, включая подкласс *Octocorallia* (горгонарии, мягкие кораллы) и отряд *Scleractinia* (каменистые кораллы)

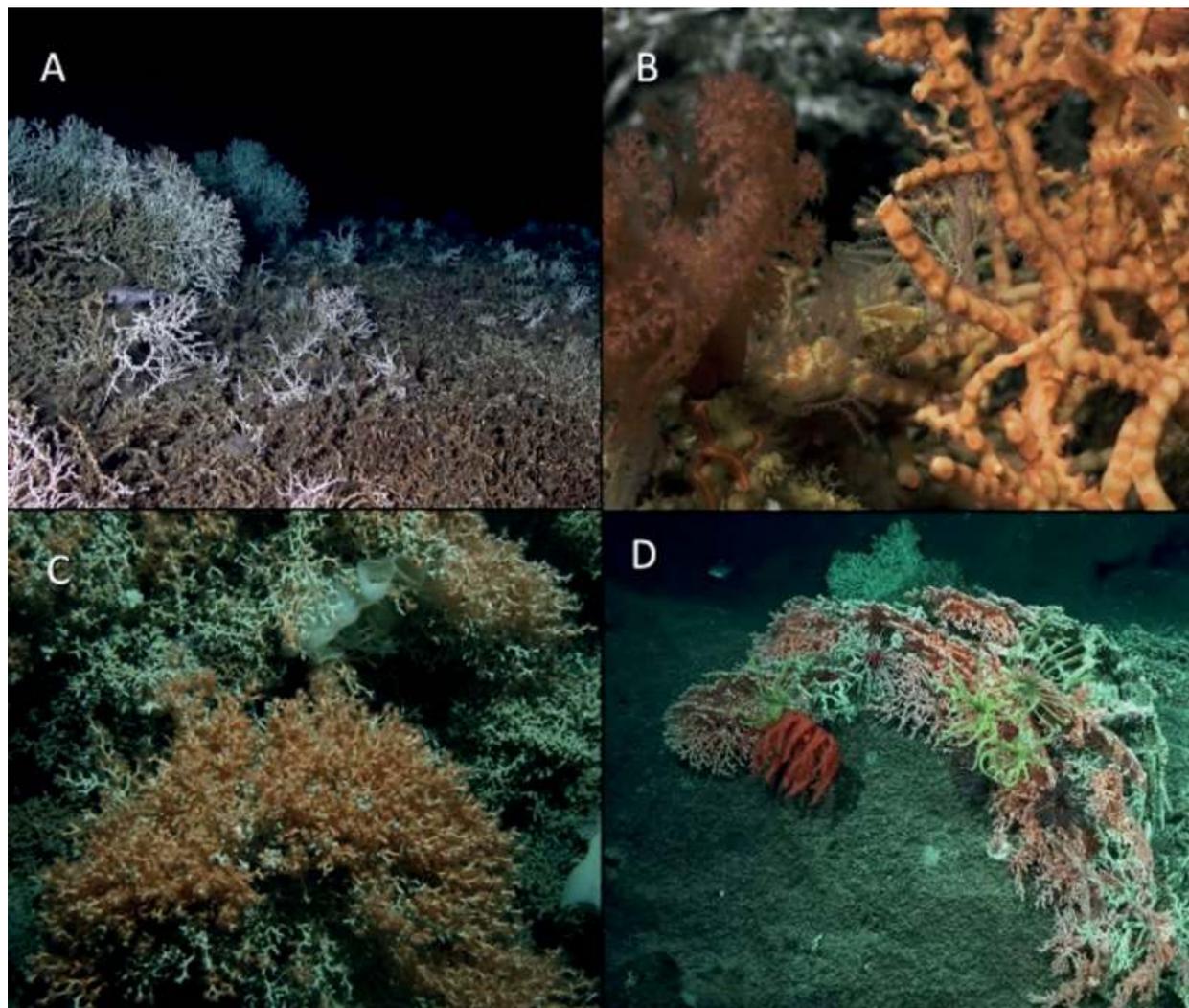


Источники: Данные о встречаемости кораллов заимствованы из Freiwald and others, 2017 (URL: <https://data.unep-wcmc.org/datasets/3>), Информационной системы по биоразнообразию океана (URL: <https://obis.org/>) и базы данных Deep-Sea Coral and Sponge (ведется Национальным управлением по исследованию океанов и атмосферы; URL: www.ncei.noaa.gov/maps/deep-sea-corals/mapSites.htm). Карта предоставлена д-ром Джейм Ланденом.

Приложение. Исходная карта-основа была сформирована в ArcGIS Pro v.2.3 с использованием данных, выдаваемых разными источниками и сервисами (Генеральная батиметрическая карта океанов (продукт GEBCO_08 Grid), Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы, National Geographic, Garmin, Here, Geonames.org, Esri и др.) и полученных от еще нескольких сторон.

Рисунок II

Распространенные холодноводные склерактиниевые кораллы



Источники: А и В — программа Deep Search (Бюро океанского энергохозяйства, Геологическая служба и Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы Соединенных Штатов); © WHOI. С — Малколм Кларк из Национального института водных и атмосферных исследований Новой Зеландии. D — Эрик Кордес и Шмидтовский институт океана.

Примечание. А и В — *Lophelia pertusa* (А) и *Madrepora oculata* и восьмилучевой коралл из семейства Nephtheidae (В) с атлантического побережья Соединенных Штатов. С — *Solenosmilia variabilis* из тихоокеанской акватории вокруг Новой Зеландии. D — *Enallopsamia profunda* из акватории островов Феникс в центральной части Тихого океана.

2. Описание экологических изменений с 2010 по 2020 год

Поскольку ХВК являются сидячими организмами с очень медленными темпами роста, они и создаваемые ими структуры (как живые, так и мертвые) крайне уязвимы к прямым и косвенным воздействиям от донного траления, нефте-

газоразведки и глубоководной добычи полезных ископаемых. Хотя нынешние стрессоры для ХВК не отличаются существенным образом от тех, которые были определены в первой «Оценке», распределение нагрузок и их масштабность

изменились. По мере того как рыбный промысел (гл. 15) продолжает осваивать более глубокие акватории, а поиск запасов нефти и газа (гл. 19) смещается дальше от берега, такие виды деятельности затрагивают сады и рифы из ХБК всё чаще. Кроме того, на этих местообитаниях может серьезно сказаться случайный выброс углеводородов (гл. 11) при добыче нефти и газа, ярким примером чего стал нефтяной разлив с Deepwater Horizon в Мексиканском заливе, происшедший в 2010 году (Fisher and others, 2014; White and others, 2012a). Там, где в районе инцидента разлив затронул более 50 процентов площади индивидуальных колоний восьмилучевых кораллов, продолжился упадок здоровья этих кораллов и размера их колоний (Hsing and others, 2013). В коралловых колониях, где нефтью и диспергатором было затронуто менее 50 процентов площади, наблюдалось определенное восстановление, хотя не обошлось без некоторой потери ветвей (Hsing and others, 2013).

Вполне признан факт воздействия рыболовной деятельности на ХБК. В частности, сильное влияние — как непосредственное физическое (например, разрушение или смещение колоний), так и вторичное седиментационное (например, удушье особей или колоний) — оказывает на них донный траловый промысел (см. обзор, выполненный Кларком и др. (Clark and others, 2016). Съёмки коралловых популяций на подводных горах у берегов Австралии и Новой Зеландии не обнаруживают больших признаков восстановления на участках, где с момента прекращения тралового промысла прошло 15 лет, притом что на других подводных горах, которые были защищены от промысла, имеются плотные коралловые популяции (Clark and others, 2019; Williams and others, 2010). Недавние работы, посвященные Гавайско-Императорской подводной горной цепи, позволяют говорить о некотором отращании ХБК на глубине от 300 до 600 м спустя 30–40 лет после прекращения промысла (Vasco and others, 2019). По оценкам, пространственный охват глубоководного траления за последние десятилетия в целом сократился (например, Victorero and others, 2018).

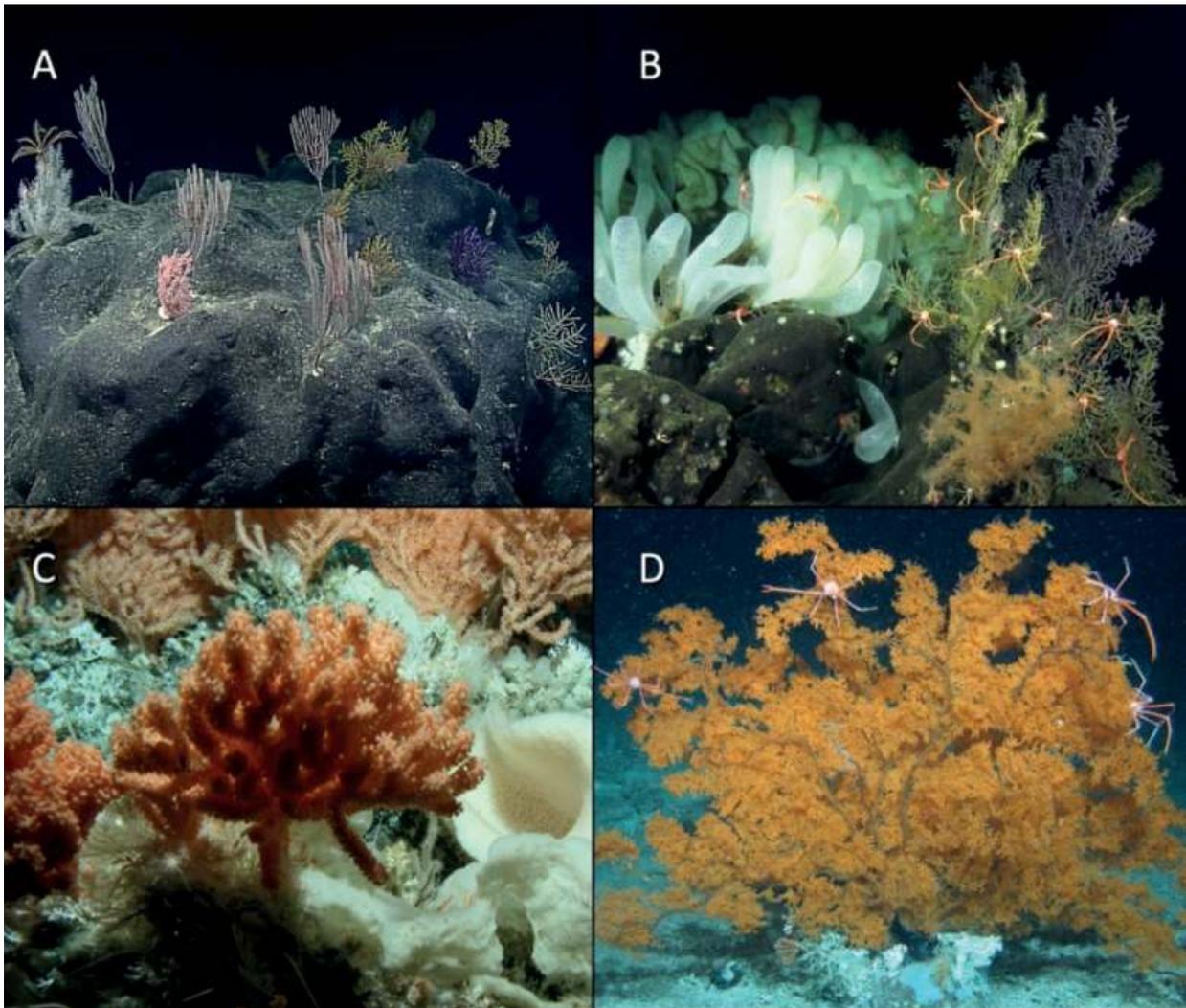
Для прогнозирования реакции популяций ХБК на антропогенное возмущение необходимо знать их нынешнее распространение и выносливость. Появившиеся недавно модели для прогнозиро-

вания среды обитания позволили наладить продуктивный, итеративный процесс, приведший к новым открытиям в сфере ХБК (например, Georgian and others, 2020) и к разработке новых методик моделирования (Robert and others, 2016; Diesing and Thorsnes, 2018). К открытиям последнего времени относятся популяции восьмилучевых кораллов, формирующих местообитания (рисунок III), на континентальном шельфе Антарктиды (Ambroso and others, 2017), склерактиниевые коралловые рифы в водах с низким pH в северной части Тихого океана (Vasco and others, 2017; Gómez and others, 2018) и тысячи холмов ХБК, выживающих в условиях низкого содержания растворенного кислорода на континентальной окраине в марокканских водах Атлантики (Wienberg and others, 2018).

Для выяснения способности ХБК к реколонизации необходимо также понимать репродуктивные факторы, влияющие на их распространение. Недавние исследования показывают, что личинки *Lophelia pertusa* являются планктотрофами и что перед расселением они до пяти недель обитают в верхних слоях водной толщи (Larsson and others, 2014; Strömberg and Larsson, 2017). Сходство генетической структуры у пространственно разнесенных поселений чашевидного коралла *Desmophyllum dianthus* (Miller and Gunasekera, 2017) позволяет предположить их обширную соединенность (Holland and others, 2019). Напротив, несходство генетической структуры у рифообразующего каменистого коралла *Solenosmilia variabilis* указывает на вероятность того, что ему свойственны бесполое размножение и локальный характер пополнения популяции (Miller and Gunasekera, 2017). Цзэн и др. (Zeng and others, 2017) сообщают, что между тремя видами ХБК у побережья Новой Зеландии наблюдается генетическая дифференциация, определяемая прежде всего региональными и локальными течениями (Dueñas and others, 2016; Holland and others, 2019). Популяционно-генетические исследования по глубоководным восьмилучевым кораллам (количество таких исследований невелико) показывают, что межпопуляционный поток генов ограничивается популяциями, обитающими на сходных глубинах, и что водные массы создают барьеры для расселения личинок и генетического обмена (Vasco and Shank, 2005, Quattrini and others, 2015).

Рисунок III

Типичные сады холодноводных восьмилучевых кораллов



Источники: А — Эрик Кордес и Шмидтовский институт океана. В — Эрик Кордес и программа ROC HITS (Research on Cold Seeps and How They Influence the Sea) Национального научного фонда Соединенных Штатов и Шмидтовского института океана. С — Малколм Кларк из Национального института водных и атмосферных исследований Новой Зеландии. D — Дж. Марри Робертс и Changing Ocean Expedition, 2012.

Примечание. А — большое разнообразие восьмилучевых (в основном Primnoidea и Plexauridae) и антипатари-евых кораллов из акватории островов Феникс в центральной части Тихого океана. В — желтый и фиолетовый цвета: колонии восьмилучевых кораллов (горгонии *Paramuricea* spp.); оранжевый цвет: ассоциированные с ними крабы *Chirostyloidea*; слева: шестилучевые (стеклянные) губки *Euplectella* spp. С — восьмилучевые кораллы *Paragorgia* spp., гидрокораллы *Stylasteridae* и шестилучевые губки с хребта Маккуори (Новая Зеландия). D — крупная колония *Leiopathes glaberrima* в Северо-Восточной Атлантике.

Более активное использование долговременных обсерваторий, на необходимость которого указывалось (в связи с вопросом о наращивании потенциала) в первой «Оценке», позволило обнаружить влияние неоднородности морского дна (Pierdomenico and others, 2017), гидродинами-

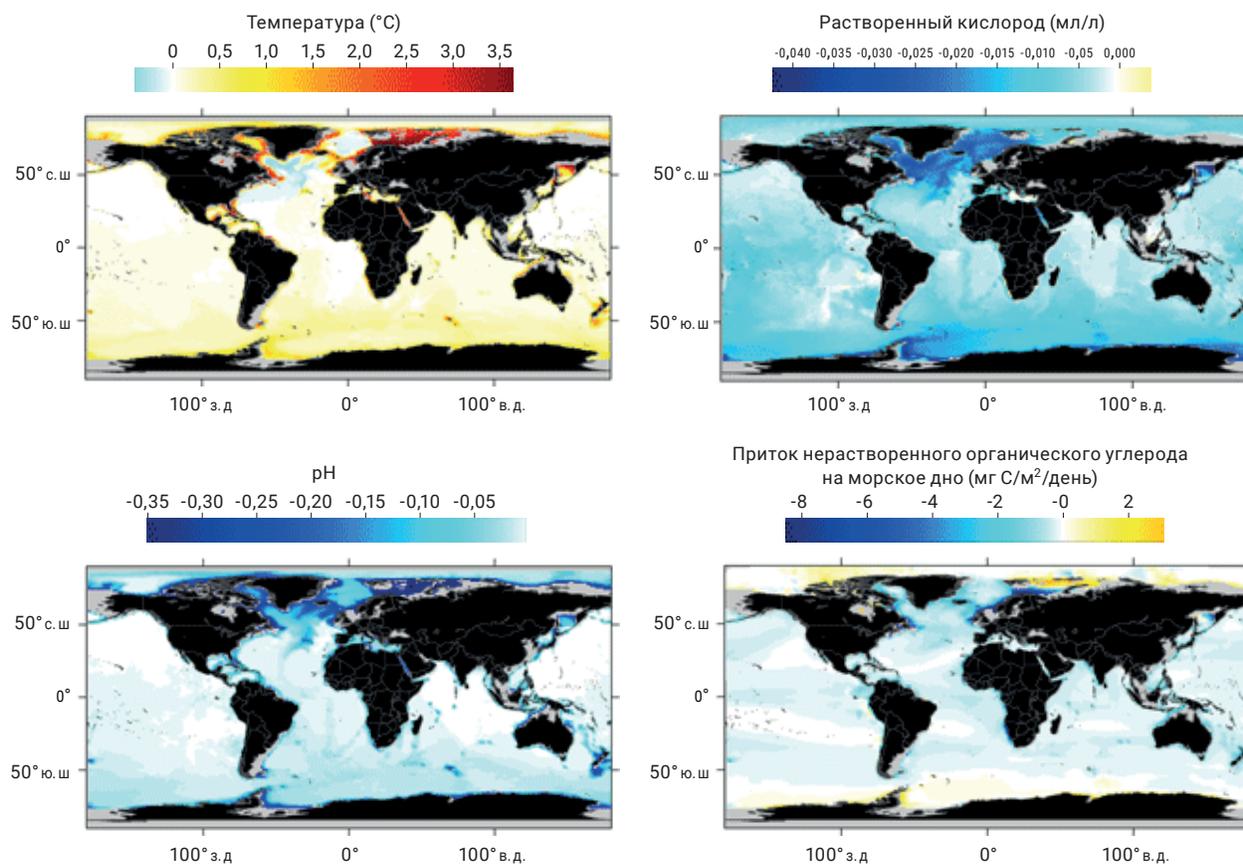
ки (Mienis and others, 2019) и динамики роста *in situ* (Lartaud and others, 2017) на пространственную протяженность и морфологию местообитаний ХБК в локальных масштабах (De Clippele and others, 2018), а также выяснить фауновый состав поселений ХБК и губок в региональных мас-

штабах (van Soest and de Voogd, 2015; Radice and others, 2016). Моделирование взаимодействий между приливными течениями и холмами ХВК позволяет говорить об усиленном даунвеллинге частиц пищи из приповерхностных слоев, который способствует разрастанию бентических сообществ (Cyr and others, 2016; Soetaert and others, 2016). Данные, полученные обсерваторией LoVe (Lofoten-Vesterålen Cabled Ocean Observatory)², позволили установить, что механизмами снабжения ХВК пищей на норвежском континентальном шельфе являются турбулентное перемешивание зимой и весной и вертикальная миграция зоопланктона в стратифицированных водах в теплые месяцы. Они также продемонстрировали пользу от продолжительно функционирующих океанских обсерваторий (Van Engeland and others, 2019).

Повсеместной и хронической угрозой остаются для ХВК климатические изменения, порождающие такие стрессоры, как глобальное потепление океана, его закисление, дезоксигенация и сокращение источников пищи (рисунок IV), и кумулятивные эффекты от действия этих стрессоров (Hebbeln and others, 2019; Sweetman and others, 2017; Wienberg and Titschack, 2017). Похоже, что многие ХВК, встречающиеся на более мелких глубинах, приближаются в настоящее время к пределам своей температурной толерантности (Georgian and others, 2016b; Morato and others, 2020). Это может особенно проявляться в регионах, где температура океана меняется наиболее стремительно (Levin and Le Bris, 2015; см. также гл. 5 настоящей «Оценки»). Более непосредственной угрозой для живых кораллов яв-

Рисунок IV

Смоделированные экологические изменения на глубоких участках морского дна (>200 м) в 2100 году по сравнению с нынешними условиями



Источник: Sweetman and others, 2017.

² URL: <http://love.statoil.com>.

ляется, пожалуй, расширение зон кислородного минимума (Fink and others, 2012; Lunden and others, 2014; Tamborrino and others, 2019).

По более глубоким краям зоны распространения кораллов лимитирующим для них фактором становится, по-видимому, степень насыщения среды арагонитом и кальцитом. Вместе с тем на данный момент уже несколько раз сообщалось о склерактиниевых кораллах, выживающих и растущих ниже горизонта насыщения арагонитом (Vaco and others, 2017; Gómez and others, 2018), и о восьмилучевых кораллах, продолжающих существовать на глубинах, располагающихся вблизи горизонта насыщения кальцитом или под ним (Quattrini and others, 2017). В лабораторных экспериментах коралловые колонии демонстрируют способность продолжать обывествление в недонасыщенной воде, хотя у разных видов и популяций отмечалась различная реакция (например, Gammon and others, 2018; Georgian and others, 2016a). Различия в реакции ХВК на закисление океана позволяют говорить о дифференцированной межвидовой чувствительности к экологическим изменениям и о том, что для характера такой реакции имеют значение снабжение пищей и поступление энергии (Kurmman and others, 2017; Glazier and others, 2020). Из-за уменьшения тканевого покрытия их скелетов кораллы могут становиться уязвимее к закислению, поскольку снижение pH может усилить химическое растворение (Hennige and others, 2015) и даже скорость биоэрозии (Schönberg and others, 2017) скелета мертвых кораллов, который образует собой значительную часть вертикальной структуры коралловых рифов.

Лабораторные эксперименты показали, что толерантность ХВК к высокой температуре, низкому pH и низкому содержанию растворенного

кислорода повышается при обилии питательных ресурсов. Например, была отмечена важность регулярных поступлений пищи к герматипной (рифобразующей) склерактинии *Lophelia pertusa* для поддержания ее метаболизма (Georgian and others, 2016a; Maier and others, 2019). Недавние исследования показали, что на *L. pertusa* поселяется разнообразный микробиом, облик которого определяется, вероятно, рационом питания или экологическими условиями, тогда как для *Madrepora oculata* (еще один рифобразующий ХВК) характерен более стабильный и последовательный состав микробиома вне зависимости от окружающей обстановки (Meistertzheim and others, 2016). Вместе с тем пока не выяснено, насколько эти различия в микробном сообществе соотносятся с метаболической гибкостью коралловых видов в их естественной среде. Благодаря экспериментальным работам удалось обнаружить, как губки — ключевые составляющие в экосистемах ХВК — могут размножаться в условиях ограниченности пищи (Kazanidis and Witte, 2016; Kazanidis and others, 2018).

К числу формирующихся угроз относится морской мусор: на всех океанских глубинах наблюдается загрязнение кораллов микропластиком (см. также гл. 12) (Taylor and others, 2016). К ним же относится физическое возмущение, вызываемое глубоководной добычей полезных ископаемых (см. также гл. 18), особенно на подводных горах и вблизи действующих и недействующих гидротермальных источников. Имеются возможности для прямых усилий по оздоровлению глубоководных коралловых сообществ с целью ускорить их восстановление после испытанных возмущений, однако пока проведено лишь несколько пилотных исследований по проработке таких методов (например, Boch and others, 2019).

3. Экономические и социальные последствия

По мере расширения диапазона человеческой деятельности в морском глубоководье ХВК всё больше пересекаются с социально-экономическими интересами людей. Изменения в распространении ХВК из-за их утраты или дифференцированной выживаемости, равно как и изменения в их здоровье и метаболизме, скажутся на достижении многих из целей в области

устойчивого развития. Наряду с изменениями, имеющими очевидное и прямое касательство к цели 14, можно упомянуть и то, что ХВК и губки представляют всё больший интерес как генетические ресурсы для разработки фармацевтических продуктов (Molinski and others, 2009; Rocha and others, 2011) и что утрата видов и местообитаний может обернуться в этом смысле послед-

ствиями. Местообитания ХВК и губок активно секвестрируют углерод как при питании, так и путем образования карбонатных осадков в океанских глубинах (Kahn and others, 2015; Soetaert and others, 2016). Эмпирических подсчетов скорости этих процессов выполнено не так много, но можно говорить о том, что секвестрация углерода с помощью ХВК способствовала бы митигации глобальных климатических изменений (цель 13), включая закисление океана (задача 14.3).

ХВК также служат средой обитания для множества рыб, в том числе для многих значимых промысловых видов, таких как меч-рыба (*Xiphias gladius*), атлантический большеголов (*Hoplostethus atlanticus*), а также луцианы и груперы (Ross and Quattrini, 2009; Morato and others, 2020). Экосистемы ХВК также осуществляют глубинную рециркуляцию питательных веществ, которые в результате апвеллинга возвращаются к поверхности, повышая тем самым продуктивность мелководных слоев (White and others, 2012b; Soetaert and others, 2016). Поэтому изменения в их распростра-

нении и экосистемной функции будут сказываться на обеспечении устойчивой продовольственной безопасности (цель 2), а также на использовании морских ресурсов (цель 14). Изменения в наличии питательных или генетических ресурсов, получаемых из ХВК, стали бы несоразмерно сильно влиять на экономические блага, доступные малым островным развивающимся государствам и наименее развитым странам, сказываясь тем самым на достижении цели 10.

Развернутые в последнее время природоохранные усилия позволили защитить экосистемы ХВК и губок. Речь идет, например, о запретах на рыбопромысловую деятельность в акваториях Европейского союза и вокруг многих подводных гор в северной и южной частях Тихого океана, и о создании охраняемых районов, таких как национальный морской памятник «Северо-восточные каньоны и подводные горы», охраняемый район «Острова Феникс» и национальный морской памятник «Удаленные тихоокеанские острова».

4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)

Хотя человеческая деятельность влияет на ХВК во всем мире, степень этого влияния характеризуется региональной неоднородностью. Например, в Мексиканском заливе более распространены глубоководные нефтегазовые работы (Cordes and others, 2016), что чревато проблемами в этом регионе. Происходит расширение глубоководной нефтегазоразведки в Карибском бассейне, Южной Атлантике (у берегов Бразилии, Намибии и Южной Африки) и Индийском океане (у берегов Мозамбика и Южной Африки). Это расширение и связанные с ним потенциальные последствия приходятся на регионы, у которых более слабые возможности для проведения и анализа экологических оценок в морском глубоководье, и будущие усилия следует сосредоточить на упрочении таких возможностей (см. также разд. 7). Глубоководное донное траление сосредоточено, как правило, лишь в некоторых регионах мира (например, в юго-западной части Тихого океана и в Индийском океане). Хотя площадь затрагиваемых участков морского дна и общая интенсивность промыслового усилия за последние десятилетия сократились, ограниченность рас-

пространения тралового промысла означает концентрированность вызываемых им воздействий для отдельных рифов и садов ХВК на подводных горах и скалах, где такой промысел ведется.

Региональная неоднородность последствий изменения климата станет приводить к тому, что воздействия на ХВК будут иметь региональную специфику. Так, в регионах апвеллинга (например, в северной части Тихого океана) горизонт насыщения арагонитом и кальцитом находится на относительно небольшой глубине. Значит, если в этих регионах вблизи таких горизонтов обитают склерактиниевые кораллы, то закисление океана способно подвергнуть их большему риску за относительно короткий срок (например, Gómez and others, 2018). Перемены в циркуляции океана, прогнозируемые согласно сценариям изменения климата, включают замедление атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции (Bryden and others, 2005; Thornalley and others, 2018), которое ожидается повлияет на температуру, соленость и снабжение кораллов пищей в Северной Атлантике.

Разными для разных регионов являются и намечающиеся воздействия, порождаемые микропластиковым мусором и глубоководной добычей полезных ископаемых. Ожидается, что воздействия, вызываемые микропластиком, будут сильнее в регионах с морскими каньонами, поскольку эти структуры способствуют улавливанию и «канализированию» погружившегося в воду вещества (Fabri and others, 2019; Pham and others, 2014). На подводных горах и гайотах встречаются кобальтоносные железомарганцевые корки, добыча которых стимулируется развитием аккумуляторных технологий. В последние годы Международным органом по морскому дну были выданы разведочные лицензии

на районы в северо-западной части Тихого океана и южной части Атлантического океана, где располагаются подводные горы с каменистыми и восьмилучевыми кораллами. Выданы лицензии на добычу полиметаллических конкреций в разломной зоне Кларион-Клиппертон, а у побережья Папуа — Новой Гвинеи может вскоре начаться добыча массивных сульфидов морского дна. В обоих регионах обитают ХВК, в том числе долгоживущие виды черных кораллов — антипатарий (Boschen and others, 2013; Molodtsova and Opresko, 2017), у которых период восстановления после затрагивающей их деятельности такого рода будет продолжительным.

5. Перспективы

Нынешние тенденции подсказывают, что человеческая деятельность и последствия глобальных океанских изменений в глубоководье продолжают усиливаться. Реакции со стороны ХВК могут принимать такие формы, как смещение ареала, перемены в метаболизме и физиологии или локальные эпизоды потенциально массового сокращения генетического разнообразия и даже исчезновения видов. Все эти формы и любая из

них в отдельности будут влиять на распределение и масштабность экосистемных услуг, получаемых от ХВК. Выполнение задачи 14.5 в области устойчивого развития — охватить природоохранными мерами 10 процентов прибрежных и морских районов — значительно улучшило бы перспективы ХВК.

6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях

Самые базовые компоненты океанского дна на значительной его части остаются не нанесенными на карту, хотя в рамках проекта «Морское дно — 2030» достигнуты большие успехи, а 20 процентов морского дна к настоящему времени охвачены современными многолучевыми батиметрическими съемками (General Bathymetric Chart of the Oceans Compilation Group, 2020). Из-за удаленности морского глубоководья нынешние знания о ХВК и образуемых ими структурах, а также об изменчивости ключевых экологических побудителей по-прежнему весьма ограничены. Налицо потребность в отслеживании экологических переменных (температура, содержание растворенного кислорода, pH и др.), в частности по краям ниш, занимаемых коралловыми видами, например на периферии крупных зон кислородного минимума, вблизи горизонта насыщения арагонитом или в бас-

сейнах с уже высокой температурой (например, в глубинах Средиземного моря), а также там, где экосистемам ХВК угрожает совокупность стрессоров, порождаемых человеческой деятельностью.

Сохраняется серьезный пробел в информации о выносливости ХВК к изменению океанографических условий. В частности, на фоне изученности вопроса о закислении океана ощущается нехватка исследований, посвященных дезоксигенации (Levin and Le Bris, 2015). Для большинства коралловых видов еще не выяснены ни долгосрочные энергетические издержки, связанные с акклиматизацией кораллов, ни способность адаптироваться к каким-либо стрессорам, вызываемым океанскими изменениями, сочетаниям этих стрессоров или всей их совокупности. В основном малоизученной остается тема каркасов из мертвых кораллов, а воздействующие на них

биоэрозионные процессы и последствия закисления океана выяснены слабо.

По-прежнему не хватает базовой биологической информации обо многих коралловых видах, а применимость других видов в качестве «прокси-показателей» до сих пор не уточнена. Большинство экспериментальных исследований, проведенных на сегодняшний день, посвящены «образцовому организму» — *Lophelia pertusa*. Чтобы проверить универсальность выводов, делаемых на основе этого образцового организма, необходимо подвергнуть экспериментальным исследованиям и другие виды ХВК из различных таксономических групп (например, восьмилучевые кораллы и антипатарии), равно как и другие глубоководные группы, например губки. Исследователи стали уделять больше внимания изучению репродуктивного поведения, а также взросления и роста (например, Larcot and others, 2014). Более активное применение «морской ландшафтной генетики» (например, Miller and Gunasekera, 2017) способно помочь управленцам во внедрении более интегрированных вариантов широкомасштабного хозяйствования. При этом для того, чтобы генетика могла способствовать будущему изучению соединенности коралловых популяций и/или их таксономии на молекулярной основе, требуется улучшить разработку маркеров (Quattrini and others, 2017).

Появление более совершенных подходов к моделированию, например позволяющих моделировать распространение видов и пригодность местообитаний (Robert and others, 2016), использование новых технологий, например машинного обучения (Osterloff and others, 2016), кросс-секторальное сотрудничество (Murray and others, 2018) и надлежащее архивирование данных в их онлайн-базах будут приводить к повышению доступности данных и сокращению времени на их обработку, благодаря чему смогут улучшиться анализы состояния ХВК и ассоциированных с ними структур. Преодоление сложностей, поро-

даемых слабой стандартизацией исследований, путем разработки и применения стандартизованного порядка записи и анализа видеоизображений, позволит повысить сопоставимость данных и благодаря этому переключаться с локального пространственного масштаба на региональный (Davies and others, 2017; Girard and Fisher, 2018).

Нередко перед тем, как люди начинают какую-либо промышленную деятельность, требуется провести фоновые съемки (Cordes and others, 2016). Между тем разлив нефти с Deepwater Horizon высветил проблему нехватки локальной информации о ХВК и вообще о морском глубоководье. Фоновые оценки состояния этих экосистем появились не так давно (самые ранние фоновые данные относятся к 1980-м годам), и даже в относительно хорошо изученных регионах по-прежнему часто обнаруживаются неизвестные ранее местообитания ХВК. Кроме того, при проведении съемок генерируемая информация часто является коммерческой собственностью и в открытый доступ не попадает, что ограничивает передачу фоновой информации и ее учет в дальнейших исследованиях и более широких усилиях по моделированию. Кроме того, съемки могут быть настроены просто на обнаружение опасностей, а не на выяснение характеристик среды или документирование фауны, и тогда они не смогут привести к расширению знаний о местообитаниях ХВК. Вместе с тем требование документировать местообитания в связи с налаживанием промышленной деятельности становится более распространенной практикой. Например, подрядчикам, занимающимся разведкой глубоководных полезных ископаемых в Районе³ под эгидой Международного органа по морскому дну, предписывается собирать детальные фоновые данные, что может послужить способом устранить некоторые из нынешних пробелов в знаниях, связанных с этой глубоководной средой.

³ «Район» — это дно морей и океанов и его недра за пределами национальной юрисдикции (Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву, ст. 1).

7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала

Сбор данных, необходимых для оценки состояния и динамики глубоководных экосистем,— дело непростое, дорогостоящее и отнимающее много времени. Настоятельно необходимо формировать потенциал для проведения соответствующих съемочных работ, особенно в развивающихся странах. Фундаментальное значение для таких съемок имеет правильная таксономия исследуемых видов, которая нужна для корректной оценки размера и распространения популяций и для надлежащего соотнесения происходящих воздействий. Например, известнейший вид глубоководных кораллов — *Lophelia pertusa* — на основании данных, представленных в публикации Аддамо и др. (Addamo and others, 2016), фигурирует сейчас в базе данных WoRMS (World Register of Marine Species) как *Desmophyllum pertusum*. Однако это переименование остается спорным, так как в мире насчитывается большое количество популяций, по которым генетических или геномных данных мало, а остальным видам из рода *Desmophyllum* свойствен лишь одиночный образ жизни. Пробел ощущается даже в деле правильной идентификации ХВК: за последние годы кадры должным образом обученных таксономистов (в частности, занимающихся восьми-лучевыми кораллами) сократились.

Серьезным пробелом во многих районах, где в изобилии встречаются ХВК, а ареалы их распространения пересекаются с участками предполагаемой промышленной деятельности, является доступ к инструментам, требующимся для изучения местообитаний ХВК (многолучевые эхолоты, обитаемые и необитаемые глубоководные аппараты и т. д.), и умение квалифицированно их использовать. Странам, в которых ведутся промышленные работы, оказывающие воздействие на ХВК, необходимо получать доступ к средствам оснащения и обучения, позволяющим заниматься сбором соответствующих фоновых данных для оценки такого воздействия, а в идеале этим странам стоило бы иметь такие средства на своей территории. Кроме того, следует помнить, что если воздействие уже произошло, то в мире мало кто способен заниматься восстановлением глубоководных кораллов. Критическим пробелом в потенциале является наличие эффективных методов, разработка которых должна стать солидным направлением будущей работы и будет приобретать в дальнейшем всё большее значение. Хотя пробелы в формировании потенциала наиболее очевидны у развивающихся государств, морское глубоководье настолько удалено и не исследовано, что и у развитых государств сохраняется много пробелов в потенциале и информации.

Справочная литература

- Addamo, Anna Maria, and others. (2016). Merging scleractinian genera: the overwhelming genetic similarity between solitary *Desmophyllum* and colonial *Lophelia*. *BMC Evolutionary Biology*, vol. 16, No. 1, art. 108.
- Ambroso, Stefano, and others (2017). Pristine populations of habitat-forming gorgonian species on the Antarctic continental shelf. *Scientific Reports*, vol. 7, No. 1, art. 12251.
- Baco, Amy R., and Tim M. Shank (2005). Population genetic structure of the Hawaiian precious coral *Corallium lauense* (Octocorallia: Coralliidae) using microsatellites. In *Cold-water corals and ecosystems*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Baco, Amy R., and others (2017). Defying dissolution: discovery of deep-sea scleractinian coral reefs in the North Pacific. *Scientific Reports*, vol. 7, No. 1, art. 5436.
- Baco, Amy R., and others (2019). Amid fields of rubble, scars, and lost gear, signs of recovery observed on seamounts on 30-to 40-year time scales. *Science Advances*, vol. 5, No. 8, eaaw4513.

- Baillon, Sandrine, and others (2012). Deep cold-water corals as nurseries for fish larvae. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 10, No. 7, pp. 351–356.
- Boch, Charles A., and others (2019). Coral translocation as a method to restore impacted deep-sea coral communities. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 540.
- Boschen, Rachel E., and others (2013) Mining of deep-sea seafloor massive sulfides: a review of the deposits, their benthic communities, impacts from mining, regulatory frameworks and management strategies. *Ocean & Coastal Management*, vol. 84, pp. 54–67.
- Bryden, Harry L., and others (2005). Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25 N. *Nature*, vol. 438, No. 7068, pp. 655–657.
- Cathalot, Cécile, and others (2015). Cold-water coral reefs and adjacent sponge grounds: Hotspots of benthic respiration and organic carbon cycling in the deep sea. *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, art. 37.
- Clark, Malcolm Ross, and others (2016). The impacts of deep-sea fisheries on benthic communities: a review. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 73, No. suppl. 1, pp. i51–i69.
- Clark, Malcolm Ross, and others (2019). Little evidence of benthic community resilience to bottom trawling on seamounts after 15 years. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 63.
- Cordes, Erik E., and others (2008). Coral communities of the deep Gulf of Mexico. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 55, No. 6, pp. 777–787.
- Cordes, Erik E., and others (2016). Environmental impacts of the deep-water oil and gas industry: a review to guide management strategies. *Frontiers in Environmental Science*, vol. 4, art. 58. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00058>.
- Cyr, Frédéric, and others (2016). On the influence of cold-water coral mound size on flow hydrodynamics, and vice versa. *Geophysical Research Letters*, vol. 43, No. 2, pp. 775–783.
- Davies, Andrew J., and John M. Guinotte (2011). Global habitat suitability for framework-forming cold-water corals. *PloS One*, vol. 6, No. 4, e18483.
- Davies, Andrew J., and others (2009). Downwelling and deep-water bottom currents as food supply mechanisms to the cold-water coral *Lophelia pertusa* (Scleractinia) at the Mingulay Reef Complex. *Limnology and Oceanography*, vol. 54, No. 2, pp. 620–629.
- Davies, J.S., and others (2017). A new classification scheme of European cold-water coral habitats: implications for ecosystem-based management of the deep sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 145, pp. 102–109.
- De Clippele, L.H., and others (2018). The effect of local hydrodynamics on the spatial extent and morphology of cold-water coral habitats at Tisler Reef, Norway. *Coral Reefs*, vol. 37, No. 1, pp. 253–266.
- Diesing, Markus, and Terje Thorsnes (2018). Mapping of cold-water coral carbonate mounds based on geomorphometric features: an object-based approach. *Geosciences*, vol. 8, No. 2, art. 34.
- Dueñas, Luisa F., and others (2016). The Antarctic Circumpolar Current as a diversification trigger for deep-sea octocorals. *BMC Evolutionary Biology*, vol. 16, No. 1, art. 2.
- Fabri, Marie-Claire, and others (2019). Evaluating the ecological status of cold-water coral habitats using non-invasive methods: An example from Cassidaigne canyon, northwestern Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography*, vol. 178, art. 102172.
- Fink, Hiske G., and others (2012). Oxygen control on Holocene cold-water coral development in the eastern Mediterranean Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 62, pp. 89–96.
- Fisher, Charles R., and others (2014). Footprint of *Deepwater Horizon* blowout impact to deep-water coral communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, No. 32, pp. 11744–11749.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009) = Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО) (2011). *Международные руководящие принципы регулирования глубоководного промысла в открытом море*. Рим: 27 сс.
- Freiwald, A., and others (2017). Global distribution of cold-water corals (version 5.0). Fifth update to the dataset in Freiwald and others (2004) by UNEP-WCMC, in collaboration with Andre Freiwald and John Guinotte. Cambridge (UK): United Nations Environment Programme World Conservation-Monitoring Centre.
- Gammon, Malindi J., and others (2018). The physiological response of the deep-sea coral *Solenosmilia variabilis* to ocean acidification. *PeerJ*, vol. 6, e5236.
- General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) Compilation Group (2020). GEBCO 2020 Grid (<https://doi.org/10.5285/a29c5465-b138-234d-e053-6c86abc040b9>).
- Georgian, Samuel E., and others (2016a). Biogeographic variability in the physiological response of the cold-water coral *Lophelia pertusa* to ocean acidification. *Marine Ecology*, vol. 37, No. 6, pp. 1345–1359. <https://doi.org/10.1111/maec.12373>.
- Georgian, Samuel E., and others (2016b). Oceanographic patterns and carbonate chemistry in the vicinity of cold-water coral reefs in the Gulf of Mexico: Implications for resilience in a changing ocean. *Limnology and Oceanography*, vol. 61, No. 2, pp. 648–665.
- Georgian, Samuel E., and others (2020). Habitat suitability modelling to predict the spatial distribution of cold-water coral communities affected by the Deepwater Horizon oil spill. *Journal of Biogeography*.
- Girard, Fanny, and Charles R. Fisher (2018). Long-term impact of the *Deepwater Horizon* oil spill on deep-sea corals detected after seven years of monitoring. *Biological Conservation*, vol. 225, pp. 117–127.
- Glazier Amanda, and others (2020) Regulation of ion transport and energy metabolism enables certain coral genotypes to maintain calcification under experimental ocean acidification. *Molecular Ecology*, vol. 29, pp. 1657–1673.
- Gómez, Carlos E., and others (2018). Growth and feeding of deep-sea coral *Lophelia pertusa* from the California margin under simulated ocean acidification conditions. *PeerJ*, vol. 6, e5671.
- Hebbeln, Dierk, and others (2019). The fate of cold-water corals in a changing world: a geological perspective. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 119.
- Hennige, S.J., and others (2015). Hidden impacts of ocean acidification to live and dead coral framework. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 282, No. 1813, 20150990.
- Henry, Lea-Anne, and J. Murray Roberts (2007). Biodiversity and ecological composition of macrobenthos on cold-water coral mounds and adjacent off-mound habitat in the bathyal Porcupine Seabight, NE Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 54, No. 4, pp. 654–672.
- Holland, L.P., and others (2019). Genetic connectivity of deep-sea corals in the New Zealand region. *New Zealand Aquatic Environment & Biodiversity Report, Wellington*.
- Hsing, Pen-Yuan, and others (2013). Evidence of lasting impact of the *Deepwater Horizon* oil spill on a deep Gulf of Mexico coral community. *Elementa: Science of the Anthropocene*, vol. 1.
- Kahn, Amanda S., and others (2015). Benthic grazing and carbon sequestration by deep-water glass sponge reefs. *Limnology and Oceanography*, vol. 60, No. 1, pp. 78–88.
- Kazanidis, Georgios, and others (2018). Unravelling the versatile feeding and metabolic strategies of the cold-water ecosystem engineer *Spongosorites coralliophaga* (Stephens, 1915). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 141, pp. 71–82.
- Kazanidis, Georgios, and Ursula F.M. Witte (2016). The trophic structure of *Spongosorites coralliophaga*-coral rubble communities at two northeast Atlantic cold water coral reefs. *Marine Biology Research*, vol. 12, No. 9, pp. 932–947.
- Kurmann, Melissa, and others (2017). Intra-specific variation reveals potential for adaptation to ocean acidification in a cold-water coral from the Gulf of Mexico. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 111.

- Larcom, Elizabeth A., and others (2014). Growth rates, densities, and distribution of *Lophelia pertusa* on artificial structures in the Gulf of Mexico. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 85, pp. 101–109.
- Larsson, Ann I., and others (2014). Embryogenesis and larval biology of the cold-water coral *Lophelia pertusa*. *PLoS One*, vol. 9, No. 7, e102222.
- Lartaud, Frank, and others (2017). Growth patterns in long-lived coral species. In *Marine Animal Forests: The Ecology of Benthic Biodiversity Hotspots*, Sergio Rossi and others, eds. Springer International Publishing.
- Levin, Lisa A., and Nadine Le Bris (2015). The deep ocean under climate change. *Science*, vol. 350, No. 6262, pp. 766–768.
- Lunden, Jay J., and others (2014). Acute survivorship of the deep-sea coral *Lophelia pertusa* from the Gulf of Mexico under acidification, warming, and deoxygenation. *Frontiers in Marine Science*, vol. 1, art. 78.
- Maier, Sandra R., and others (2019). Survival under conditions of variable food availability: Resource utilization and storage in the cold-water coral *Lophelia pertusa*. *Limnology and Oceanography*.
- Meistertzheim, Anne-Leila, and others (2016). Patterns of bacteria-host associations suggest different ecological strategies between two reef building cold-water coral species. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 114, pp. 12–22.
- Mienis, F., and others (2007). Hydrodynamic controls on cold-water coral growth and carbonate-mound development at the SW and SE Rockall Trough Margin, NE Atlantic Ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 54, No. 9, pp. 1655–1674.
- Mienis, F., and others (2019). Experimental assessment of the effects of coldwater coral patches on water flow. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 609, pp. 101–117.
- Miller, Karen J., and Rasanthi M. Gunasekera (2017). A comparison of genetic connectivity in two deep sea corals to examine whether seamounts are isolated islands or stepping stones for dispersal. *Scientific Reports*, vol. 7, art. 46103.
- Molinski, Tadeusz, and others (2009). Drug development from marine natural products. *Nature Reviews Drug Discovery*, vol. 8, No. 1, pp. 69–85.
- Molodtsova, Tina N., and Dennis M. Opresko (2017). Black corals (Anthozoa: Antipatharia) of the Clarion-Clipperton Fracture Zone. *Marine Biodiversity*, vol. 47, No. 2, pp. 349–365.
- Morato, Telmo, and others (2020). Climate-induced changes in the suitable habitat of cold-water corals and commercially important deep-sea fishes in the North Atlantic. *Global Change Biology*, vol. 26, No. 4, pp. 2181–2202.
- Murray, Fiona, and others (2018). Data challenges and opportunities for environmental management of North Sea oil and gas decommissioning in an era of blue growth. *Marine Policy*, vol. 97, pp. 130–138.
- Osterloff, Jonas, and others (2016). A computer vision approach for monitoring the spatial and temporal shrimp distribution at the LoVe observatory. *Methods in Oceanography*, vol. 15, pp. 114–128.
- Pham, Christopher K., and others (2014). Marine litter distribution and density in European seas, from the shelves to deep basins. *PLoS One*, vol. 9, No. 4.
- Pierdomenico, Martina, and others (2017). Megabenthic assemblages at the Hudson Canyon head (NW Atlantic margin): Habitat-faunal relationships. *Progress in Oceanography*, vol. 157, pp. 12–26.
- Quattrini, Andrea M., and others (2012). Megafaunal-habitat associations at a deep-sea coral mound off North Carolina, USA. *Marine Biology*, vol. 159, No. 5, pp. 1079–1094.
- Quattrini, Andrea M., and others (2013). Niche divergence by deep-sea octocorals in the genus *Callogorgia* across the continental slope of the Gulf of Mexico. *Molecular Ecology*, vol. 22, No. 15, pp. 4123–4140.

- Quattrini, Andrea M., and others (2015). Testing the depth-differentiation hypothesis in a deepwater octocoral. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 282, No. 1807, 20150008.
- Quattrini, Andrea M., and others (2017). Environmental filtering and neutral processes shape octocoral community assembly in the deep sea. *Oecologia*, vol. 183, No. 1, pp. 221–236.
- Radice, Veronica Z., and others (2016). Vertical water mass structure in the North Atlantic influences the bathymetric distribution of species in the deep-sea coral genus *Paramuricea*. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 116, pp. 253–263.
- Robert, Katleen, and others (2016). Improving predictive mapping of deep-water habitats: Considering multiple model outputs and ensemble techniques. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 113, pp. 80–89.
- Roberts, J.M., and others (2009). Mingulay reef complex: an interdisciplinary study of cold-water coral habitat, hydrography and biodiversity. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 397, pp. 139–151.
- Rocha, Joana, and others (2011). Cnidarians as a source of new marine bioactive compounds—an overview of the last decade and future steps for bioprospecting. *Marine Drugs*, vol. 9, No. 10, pp. 1860–1886.
- Ross, Steve W., and Andrea M. Quattrini (2009). Deep-sea reef fish assemblage patterns on the Blake Plateau (Western North Atlantic Ocean). *Marine Ecology—an Evolutionary Perspective*, vol. 30, No. 1, pp. 74–92.
- Schönberg, Christine H.L., and others (2017). Bioerosion: the other ocean acidification problem. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 74, No. 4, pp. 895–925.
- Soetaert, Karline, and others (2016). Ecosystem engineering creates a direct nutritional link between 600-m deep cold-water coral mounds and surface productivity. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 35057.
- Strömberg, Susanna M., and Ann I. Larsson (2017). Larval behavior and longevity in the cold-water coral *Lophelia pertusa* indicate potential for long distance dispersal. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 411.
- Sweetman, Andrew K., and others (2017). Major impacts of climate change on deep-sea benthic ecosystems. *Elementa: Science of the Anthropocene*, vol. 5, art. 4.
- Tamborrino, Leonardo, and others (2019) Mid-Holocene extinction of cold-water corals on the Namibian shelf steered by the Benguela oxygen minimum zone. *Geology*, vol. 47, No. 12, pp. 1185–1188.
- Taylor, M.L., and others (2016). Plastic microfibre ingestion by deep-sea organisms. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 33997.
- Thornalley, David J.R., and others (2018). Anomalously weak Labrador Sea convection and Atlantic overturning during the past 150 years. *Nature*, vol. 556, No. 7700, pp. 227–230.
- Thurber, Andrew R., and others (2014). Ecosystem function and services provided by the deep sea. *Biogeosciences*, vol. 11, No. 14, pp. 3941–3963.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van Engeland, Tom, and others (2019). Cabled ocean observatory data reveal food supply mechanisms to a cold-water coral reef. *Progress in Oceanography*, vol. 172, pp. 51–64.
- Van Oevelen, Dick, and others (2009). The cold-water coral community as hotspot of carbon cycling on continental margins: A food-web analysis from Rockall Bank (northeast Atlantic). *Limnology and Oceanography*, vol. 54, No. 6, pp. 1829–1844.
- Van Soest, R.W.M., and N.J. de Voogd (2015). Sponge species composition of north-east Atlantic cold-water coral reefs compared in a bathyal to inshore gradient. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol. 95, No. 7, pp. 1461–1474.

- Victorero, Lisette, and others (2018). Out of sight, but within reach: A global history of bottom-trawled deep-sea fisheries from > 400 m depth. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, No. 98.
- White, Helen K., and others (2012a). Impact of the *Deepwater Horizon* oil spill on a deep-water coral community in the Gulf of Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 109, No. 50, pp. 20303–20308.
- White, Martin, and others (2005). Deep-water coral development as a function of hydrodynamics and surface productivity around the submarine banks of the Rockall Trough, NE Atlantic. In *Cold-Water Corals and Ecosystems*, pp. 503–514. Springer.
- White, Martin and others (2012b). Cold-water coral ecosystem (Tisler Reef, Norwegian Shelf) may be a hotspot for carbon cycling. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 465, pp. 11–23.
- Wienberg, Claudia, and Jürgen Titschack (2017). Framework-forming scleractinian cold-water corals through space and time: a late Quaternary North Atlantic perspective. *Marine Animal Forests: The Ecology of Benthic Biodiversity Hotspots*, pp. 699–732.
- Wienberg, Claudia, and others (2018). The giant Mauritanian cold-water mound province: Oxygen control on coral mound formation. *Quaternary Science Reviews*, vol. 185, pp. 135–152.
- Williams, Alan, and others (2010). Seamount megabenthic assemblages fail to recover from trawling impacts. *Marine Ecology*, vol. 31, pp. 183–199.
- Zeng, Cong, and others (2017). Population genetic structure and connectivity of deep-sea stony corals (Order Scleractinia) in the New Zealand region: Implications for the conservation and management of vulnerable marine ecosystems. *Evolutionary Applications*, vol. 10, No. 10, pp. 1040–1054.

Глава 7F

Эстуарии

И ДЕЛЬТЫ

Участники: Колин Д. Вудрофф (координатор), Роналду Кристофолетти, Пабло Мунис, Дейна Хант, Цяо Бин и Мориаки Ясухара.

Ключевые тезисы

- Ресурсы и здоровье эстуариев и дельт подвергаются нагрузкам со стороны человеческих поселений, рыболовства, судоходства, инженерно-технических мероприятий (включая функционирование плотин, расположенных вверх по течению), а также досуговой и туристической активности.
- До конца не выяснены взаимодействия между многочисленными стрессорами, влияющими на эстуарные и дельтовые местообитания.
- Сохраняется серьезный пробел в определении измеримых индикаторов здоровья экосистем и благополучия людей в различных эстуарных и дельтовых системах.

1. Введение

Эстуарии и дельты, где крупные реки встречаются с морем, представляют собой высокопродуктивные системы, поддерживающие разнообразную биоту, чья структура зависит от градиентов солености, питательных веществ и других факторов, характеризующихся временной изменчивостью. Эта изменчивость отражает действие как природных (осадки, приливы), так и антропогенных (застройка, загрязнение) побудителей. В своем естественном состоянии эстуарии и дельты — это зачастую густонаселенные и беспокойные системы. При этом они, как правило, поддерживают компоненты биоразнообразия, относящиеся к различным экосистемам, многие из которых разбираются в других главах настоящей «Оценки», например главах 7H (мангры), 7I (соленые марши), 7G (луга морских трав), 7B (песчаные и илистые субстраты) и 7A (приливно-отливная зона, нередко обширная). Поскольку в устьях рек пресная вода впадает в океан, они становятся накопителями для нутриентов, наносов и загрязнителей с суши (гл. 10–13) и часто оказываются пристанищем для инвазивных видов, в частности из балластных вод (гл. 22). Эстуарии и дельты ценны присущей им биотой, а также своей способностью поддерживать промысловое и натуральное рыболовство (гл. 15) и служить привлекательным объектом туристической и рекреационной деятельности. Как указано в первой «Оценке состояния Мирового океана» (United Nations, 2017), в 2014 году их общая экономическая ценность была определена в более чем 6,1 трлн долл. США.

Будучи экономически важными, большинство эстуариев и дельт были трансформированы человеческим вмешательством и оказались urba-

низированы и индустриализованы. На них всё сильнее сказываются последствия глобальных изменений, включая подъем уровня моря, перемены в режиме осадков и обострение связанных с этим природных опасностей, например циклонов и штормовых нагонов (Renaud and others, 2013). Большинство мегаполисов расположены на побережье, и сопутствующие их жизнедеятельности тяжелая промышленность, урбанизация и рекреационная активность способны причинять вред прибрежным районам (Todd and others, 2019). Первая «Оценка» содержала комплексный, но предварительный глобальный обзор состояния эстуариев и дельт. На основании качественного анализа ограниченного объема данных состояние лишь немногих из этих водоемов было сочтено очень хорошим. У 62 процентов из них оно было сочтено плохим или очень плохим, причем у большинства оно было признано ухудшающимся.

В настоящей главе актуализируется информация из первой «Оценки». Делается акцент на то, что эстуарии и дельты служат уникальной средой обитания для многих организмов как морского, так и прибрежного происхождения и обеспечивают возможности, позволяющие людям провести свой досуг, добыть себе пищу и снабдить себя водой. На эстуарные и дельтовые среды влияют такие краткосрочные, эпизодические возмущения, как штормы, и такие долгосрочные тенденции, как изменение климата (Doney and others, 2012; Harris and others, 2018), которые часто переплетаются между собой: например, штормы могут приводить к «досаждающим» наводнениям, которые усугубляются из-за подъема уровня моря. Достигнуты успехи в налаживании

таких систем наблюдений (спутники, глобальные наблюдательские сети, буи), которые рассчитаны на фиксирование быстрых изменений в окружающей обстановке. Однако способность отслеживать эти наблюдения, дешифровать

их результаты и заниматься моделированием на их основе всё еще недостаточно развита для того, чтобы оптимально распоряжаться эстуарными и дельтовыми средами.

2. Зафиксированные изменения в состоянии эстуариев и дельт

2.1. Экологические изменения с 2010 по 2020 год

2.1.1. Вода и наносы

В целом наблюдается продолжающееся снижение доставляемых реками объемов воды и наносов, что является результатом человеческой деятельности в водосборных бассейнах по всему миру, сопровождающейся, например, изменениями в землеустроительной практике или сооружением плотин (Li and others, 2018; Day and others, 2019; Dunn and others, 2019). Вместе с тем в высоких широтах таяние сухопутного льда и вечной мерзлоты может усилить приток пресной воды в эстуарии (гл. 3). Уменьшение поступления наносов ускоряет утрату прибрежных водно-болотных угодий, вызываемую эрозией, и оказывает влияние на организмы, отыскивающими пищу в осевших или взвешенных мягких наносах, причем это влияние усиливается работами по добыче песка (Anthony and others, 2015). В свою очередь, сильная седиментация может приводить к затенению таких первичных производителей, как морские травы, и удушению бентических организмов. Из-за урбанизации уровень половодий в эстуариях повышается, а уровень межени — понижается, что вызывает потенциально опасные колебания солености и угрожает приливно-отливным экосистемам (Freeman and others, 2019).

2.1.2. Эвтрофикация

Из-за их близости к крупным городам, а также непрерывной активизации сельского хозяйства, лесоводства и аквакультуры серьезной проблемой для эстуариев остаются загрузка нутриентами, в основном азотом и фосфором (Pesce and others, 2018; Todd and others, 2019), и привнесение бытовых сточных вод, удобрений и отходов животноводства, которые вызывают гипоксию

придонной воды (Yasuhara and others, 2017; Breitburg and others, 2018a, 2018b). Эвтрофикация может также приводить к цветению цианобактерий, динофлагеллят, а иногда и макроводорослей (Teichberg and others, 2010), в том числе к вредоносным водорослевым цветениям. В развитых странах, например в Соединенных Штатах (Чесапикский залив) и Японии (залив Осака), ситуация стабилизируется или частично выправляется благодаря улучшению санитарии и сокращению привносимых нутриентов (Lefcheck and others, 2018), тогда как вдоль побережий густонаселенных азиатских стран она стремительно ухудшается из-за плохой санитарии, повышенного притока нутриентов и дальнейшего роста населения (Boesch, 2019). Гипоксия придонной воды способна оборачиваться гибелью рыб, что отрицательно сказывается на местной экономике (Breitburg and others, 2018a, 2018b; Yasuhara and others, 2019).

2.1.3. Глобальные изменения

Эстуарии и дельты уже затрагиваются глобальными изменениями. Наблюдается расширение ареалов рыб и ракообразных к полюсам (Hallett and others, 2017; Pecl and others, 2017). Учащение штормов и экстремальных погодных явлений влияет на соленость и седиментацию (Prandle and Lane, 2015; Day and Rybczyk, 2019). Будущие повышения температур могут приводить к локальным эпизодам вымирания, а также к усилению концентраций патогенных микробов и повышению рисков для здоровья людей (Robins and others, 2016). Подъем уровня моря станет усугубляться речными наводнениями, что будет приводить к более обширному затоплению прибрежных территорий (Moftakhari and others, 2015, 2017; Kumbier and others, 2018; Ikeuchi and others, 2017; Nichols and others, 2019). К 2050 году ежегодные затраты, вызываемые затоплением

прибрежных городов, могут составить порядка 60–63 млрд долл. США (Hallegatte and others, 2013), а к 2200 году 1,46 процента населения планеты будет вынуждено переселиться, поскольку места его проживания окажутся навсегда затопленными (Desmet and others, 2018). Затопление может приводить к значительной утрате местобитаний из-за «прибрежного сжатия», при котором стационарная инфраструктура препятствует миграции литоральных экосистем в сторону суши (Doody, 2013; Phan and others, 2015).

2.1.4. Оседание дельт

Антропогенные нагрузки оказывают особенное воздействие на дельты в силу высоких темпов подъема относительного уровня моря и социально-экономической уязвимости (Tessler and others, 2015; Hiatt and others, 2019). Воздействие подъема уровня моря усугубляется оседанием в крупных дельтах (мегадельтах) из-за человеческой деятельности, в первую очередь добычи подземных вод (Syvitski and others, 2009; Erban and others, 2014; Auerbach and others, 2015; Brown and Nicholls, 2015; Schmidt, 2015; Minderhoud and others, 2017, 2019; Wright and Wu, 2019). Сдерживать современные угрозы можно с помощью защитной инфраструктуры, однако в густонаселенных странах или странах с низким уровнем дохода инженерно-технические решения могут оказаться нереализуемыми (Tessler and others, 2016).

2.1.5. Инвазивные виды

Во многих эстуариях и дельтах расположены крупные порты и ощущаются серьезные проблемы с инвазивными видами, попадающими туда при сбросе балластных вод с судов (Astudillo and others, 2014; Shalovenkov, 2019). Инвазивные виды могут напрямую влиять на ресурсы (источая их) и на здоровье эстуариев и дельт (сказываясь на их экологии и сбалансированности и создавая значительные опасности для биоразнообразия). Темпы интродукции инвазивных видов ускоряются вслед за усилением судоходства (Seebens and others, 2017). В странах с высоким уровнем дохода инвазивных видов насчитывается в целом примерно в 30 раз больше, чем в странах с низким уровнем дохода; это объясняется как активностью перевозок и численностью населения, так и способностью обнаруживать такие инвазии (Seebens and others, 2018).

В европейских морях, включая Средиземное, наблюдаемые темпы интродукций замедляются (Korpinen and others, 2019).

2.1.6. Деграляция и восстановление экосистемных услуг

Эстуарии и дельты являются существенным источником обеспечивающих, регулирующих, поддерживающих и культурных экосистемных услуг (гл. 44 первой «Оценки»). Эти системы открывают рекреационные возможности в виде, например, катания на лодках, плавания, любования дикой природой и рыбалки (Whitfield, 2017). Некоторые организмы играют в этих местообитаниях основополагающую роль: они их создают, видоизменяют и поддерживают. Например, устрицы образуют рифы, которые формируют среду обитания, уменьшают абразию и улучшают качество воды. Однако в деградированных эстуариях устрицы страдают от чрезмерного вылова, обилия наносов и заболеваемости, а также от повышенной кислотности океана (Janis and others, 2016; Day and Rybczyk, 2019). Исчезновение морских трав, соленых маршей и мангровых зарослей, а также ухудшение качества воды (Reynolds and others, 2016; Schmidt and others, 2017) приводят к снижению разнообразия и численности у рыбной молодежи (Whitfield, 2017). Усилия по восстановлению были успешными в относительно небольшом количестве эстуариев, но эти усилия можно сделать частью стратегий, предусматривающих естественную защиту побережий (Bilkovic and others, 2016; Ducrotoy and others, 2019).

2.2. Факторы, связанные с изменениями: побудители, нагрузки, воздействия и реакция

К ухудшению здоровья и продуктивности эстуариев и дельт приводили многие виды человеческой деятельности: от прямых воздействий, таких как уничтожение местобитаний в ходе застройки, до долгосрочных косвенных, вызываемых глобальным изменением климата (Cavallaro and others, 2018). Усиливаются нагрузки в виде функционирования человеческих поселений, вторжения прибрежной инфраструктуры, рекреационной активности, промысла рыб, моллюсков и ракообразных, приращения суши и осушения заболоченных участков (Sengupta and others, 2018), что приводит к экологической де-

градации и гибели чувствительных морских организмов (Buttigieg and others, 2018). Ответом на это становится активизация усилий по защите экосистем ради присущей им ценности, здоровья людей и рачительного ресурсопользования. Дополнительным фактором антропогенной нагрузки на эстуарные среды становится также их модификация в ходе развития крупных контейнерных портов, обслуживающих суда с большой осадкой, поскольку оно сопровождается дноуглубительными работами и утилизацией вынутого грунта для мелиорации пляжей или видоизменения береговой линии (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019).

По-прежнему сложно предсказать интенсивность и масштабность побудителей и нагрузок или реакцию биологических сообществ и экосистемных функций. Температура, осадочные аномалии и подъем уровня моря оказывают существенное влияние на эстуарные экосистемы как в кратко-, так и долгосрочной перспективе (Elliott and Whitfield, 2011; McLeod and others, 2011; Condie and others, 2012; Turra and others, 2013; Bernardino and others, 2015, 2016). Как усредненная долгосрочная динамика физиологических диапазонов, так и более краткосрочные случаи выхода за эти диапазоны будут влиять на метаболизм, рост и воспроизводство эстуарной биоты, что в сочетании с локальной эвтрофикацией может приводить к острому кислородному истощению и массовой гибели организмов (Gillanders and others,

2011). В более длительных временных масштабах на рыбные популяции и экосистемы влияют экологически нагрузки, порождаемые рыболовством (Muniz and others, 2019). Например, в Ла-Плате промысловое усилие, прилагаемое кустарными и промышленными флотами, осталось неизменным или даже немного снизилось, но уловы двух важнейших видов достигли самых низких значений за последние 35 лет (Gianelli and Defeo, 2017; García-Alonso and others, 2019).

Притом что многие виды человеческой деятельности имеют негативные последствия для здоровья индивидуальных эстуариев и дельт, за последнее время предприняты усилия по восстановлению продуктивности прибрежных вод. В частности, разрабатываются планы по регулированию нутриентов и загрязнителей, восстанавливаются экосистемы и принципиально важные виды, а эстуарии и дельты получают защиту, становясь частью парков и охраняемых морских районов (Lefcheck and others, 2018; Boesch, 2019). Кое-где, например в Соединенных Штатах и Гонконге (Китай), восстановлены устричные рифы, которые теперь в состоянии защищать побережья и фильтровать водную толщу (Morris and others, 2019). В других местах сходным целям (защита побережья от штормов и подъема уровня моря, а также предоставление критически значимой среды обитания для рыбной молоди и иной биоты) могут служить морские травы, соленые марши или мангровые заросли.

3. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия

Эстуарии и дельты имеют социально-экономическое и культурное значение, поскольку предоставляют товары и услуги, включая рыбные ресурсы и экосистемные процессы. Существуют местные традиционные сообщества, у которых от этих ресурсов зависит жизненный уклад, будь то ведение натурального рыболовства или получение доходов от туристической деятельности. Поэтому для того, чтобы понимать происходящие изменения и справляться с их воздействием на эстуарии и дельты, совершенно необходимо комплексное рассмотрение экологических, биологических, культурных, экономических и антропологических вопросов.

Всемирная организация здравоохранения выступила с концепцией «Единое здравоохранение», которая предполагает комплексный подход к взаимодействиям между людьми, животными и экосистемами, так как признается, что изменения в одном из этих элементов будут влиять на остальные. Ухудшение здоровья эстуариев из-за умножения загрязняющих веществ или инвазивных видов может создать прямую угрозу для здоровья людей. Степень влияния на людей зависит от социально-экологических факторов. Если для городского населения проблемы могут выразиться в ослаблении противостормовой защиты и в потреблении зараженной рыбы, то для

местных автохтонных сообществ к этому списку могут добавиться еще и утрата культурных ценностей, сложности с санитарией и социальное неравенство. Коренным населением и местными прибрежными сообществами выработаны традиционные знания и навыки, необходимые для сохранения эстуариев, их устойчивого использования и управления ими (Breitburg and others, 2018b). Вызываемые урбанизацией изменения в эстуариях могут привести к утрате самобытности и культурных устоев сообществами, чей жизненный уклад зависит от эстуарных ресурсов.

Сейчас больше известно о том, какие экосистемные услуги предоставляются эстуариями и какого рода конфликты возникали из-за изменений в их экосистемах (Nicholls and others, 2018). Наука может выступать мощным инструментом, снабжающим политическую сферу информацией, которая позволяет принимать решения на местном, региональном и национальном уровнях и провозглашать общие цели (например, оформленные Повесткой дня в области устойчивого развития на период до 2030 года¹) на глобальном уровне (Dietz, 2013; Howarth and Painter, 2016). Соединяя общественное участие, в том числе участие коренных народов и местного населения, с научным анализом, можно добиваться эффективности в научной коммуникации, общении и принятии решений. Улучшение коммуникации между заинтересованными сторонами, например благодаря привлечению социологов, помогающих им укрепить взаимное доверие, способно создать условия для эффективной передачи знаний и адаптивного управления (Fischhoff, 2013). Инновационной областью, приносящей пользу природоведческим и социальным дисциплинам, является гражданская наука. Предусматривая подключение коренного населения и местных сообществ к научным исследованиям, она могла бы увязывать традиционные знания с научными и помогать развитию комплексного распоряжения эстуариями. Сложность экосистем и их связи с другими средами

обитания делают совместное управление и сотрудничество между правительствами и местными сообществами непременным условием поддержания прибрежного биоразнообразия и экосистемных функций (Teixeira and others, 2013; Brondizio and others, 2016).

Изменения в естественной среде эстуариев и дельт, в экосистемных услугах, предоставляемых ими, и в социально-экономической динамике вокруг них сказываются на достижении целей, поставленных в Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Например, происходящие в эстуариях социально-экологические конфликты, прежде всего связанные с коренными народами и местными сообществами, затрагивают то, что задумано по части ликвидации нищеты (цель 1), гендерного равенства (цель 5), санитарии (цель 6), устойчивых городов (цель 11) и безопасности морепродуктов (цель 14). Если последствия происходящих изменений удастся обратить вспять с помощью позитивных действий, согласующихся с Повесткой дня на период до 2030 года, то за короткое время общество могло бы обрести ряд благ. Сохранение эстуариев с их биоразнообразием, а также культурного разнообразия особенно актуально для задач 14.2 и 14.5, которые уточняют цели в области устойчивого развития и настраивают на содействие защите и сохранению прибрежных ресурсов (Neumann and others, 2017). Их сохранение могло бы также означать предоставление других услуг, например в виде активизации экотуризма. Поощрение сопричастности человека природе помогает упрочить природоохранные усилия в ассоциированных экосистемах. Чтобы достичь этой цели, полезно усвоить (вместе с ответственными лицами и обществом) новаторский подход, который предполагает адаптивное управление эстуариями и их сохранение и устойчивое использование и будет способствовать человеческому благополучию в интересах будущих поколений (Szabo and others, 2015).

4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)

Притом что эстуарии и дельты широко распространены во всем мире и как категория распро-

деляются на ряд геоморфологических типов, в глобальном отношении они не инвентаризиро-

¹ См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

ваны. В первой «Оценке» высказывалось предположение, что может насчитываться в общей сложности около 4500 эстуариев. Однако более свежая оценка, которая получена с помощью глобальной цифровой модели рельефа, снабженной координатной привязкой, дает цифру в более чем 53 000 эстуариев (McSweeney and others, 2017). Существует примерно 1200 периодически бессточных, частично соленых озер и лагун, в частности вдоль побережий на юге Африки и востоке Австралии, которым свойственна мертвая зыбь. У них будет иной, чем у эстуариев (которые постоянно открыты для моря), набор реакций на изменение климата, включая перемены в сточном режиме, усиление наводнений и интрузию соленой воды в поверхностные и грунтовые воды (Carrasco and others, 2016). Как показало исследование, выполненное недавно с помощью аналогичного подхода, во всем мире насчитывается около 11 000 дельт, в 25 процентах из которых за последние десятилетия произошел в нетто-выражении прирост суши в результате того, что происходящее обезлесение усиливает приток речных наносов, тогда как в примерно 1000 дельтовых систем произошло сокращение наносов и утрата суши в результате сооружения плотин (Nienhuis and others, 2020).

Первая «Оценка» содержала предварительный анализ состояния выборочных эстуариев и их классификацию по континентам. По-прежнему недостает адекватных данных, которые позволили бы усовершенствовать этот анализ или рассмотреть эстуарии и дельты в региональной

разбивке, методично применяемой в настоящей «Оценке». Вместе с тем недавно появилось несколько компиляций, откуда можно почерпнуть данные по нескольким регионам, которые ранее были слабо задокументированы. Например, имелось мало информации об эстуариях Арктики, которые станут, вероятно, приобретать всё большее значение в условиях, когда глобальное потепление открывает в этом регионе судоходные пути (Kosyan, 2017). Региональные компиляции дали больше информации по Южному полушарию. В частности, предметно рассмотрены эстуарии на восточном побережье Африки и в западной части Индийского океана (Dior and others, 2016) и сделан обзор бразильских эстуариев (Lana and Bernardino, 2018). Ранее имелось относительно мало информации о многочисленных эстуариях и дельтах вдоль раскинувшегося на 18 000 км побережья Китая, где располагается большое число крупных мегаполисов, таких как Шанхай и Гуанчжоу, которые очень чувствительны к опасным прибрежным факторам, обусловленным подъемом уровня моря и штормовыми нагонами (Yin and others, 2012; Kuang and others, 2014; Chen and others, 2018). В этих урбанизированных мегадельтах проживают миллионы людей и нередко заключено богатое биоразнообразие, сталкивающееся с такими угрозами, как эвтрофикация, загрязнение, изменение побережья и появление инвазивных видов (Lai and others, 2016).

5. Перспективы

Судя по тенденциям последних десятилетий, население прибрежных зон будет расти, причем происходящая урбанизация усиленно проявляется в эстуариях и дельтах. Эти антропогенные стрессы будут главным источником нагрузок, которые продолжают влиять на биоразнообразие и здоровье местообитаний в таких прибрежных экосистемах. Изменение климата будет усугублять эти стрессы: представляется вероятным учащение штормов и ожидается ускорение подъема уровня моря, особенно в случае крупных дельт, которые испытывают оседание. Потенциал для поддержания или улучшения состояния

экосистем заложен в правильном управлении, но при этом защита низколежащих мегаполисов будет требовать модернизации инженерно-технической инфраструктуры.

Устойчивость эстуариев и дельт можно рассматривать с точки зрения функциональных процессов – в геоморфологическом, экологическом или экономическом ракурсе (Mahoney and Bishop, 2018). Изменения способны приводить как к снижению устойчивости, так и ее повышению, но большинство изменений приносили вред (Day and others, 2016). К числу предвидимых экосистемных последствий относятся: из-

менение пищевых сетей из-за утраты видов, имеющих принципиальную важность, являющихся высшими хищниками или выступающих в качестве экосистемных «инженеров»; утрата местообитаний из-за подъема уровня моря и работ по приращению суши; миграция морских видов к полюсам в порядке адаптации к изменению климата. Во многих эстуариях и дельтах уже заметно сокращение заболоченных площадей в результате «прибрежного сжатия» и ведения аквакультурного хозяйства. Можно ожидать дальнейшего умножения инвазивных видов, хотя достигнут значительный прогресс в их выявлении, приоритизации и искоренении.

Социально-экономические последствия продолжающихся изменений в системе предсказать сложнее. Однако растущее демографическое давление и расширяющаяся урбанизация вокруг эстуариев и дельт будут, скорее всего, означать дальнейшее ведение дноуглубительных работ для поддержания судоходности, заиление каналов и абразию береговой линии, а также утрату водно-болотных угодий, что будет сопровождаться сужением возможностей для проведения досуга, освоения рыбных запасов и получения чистой воды. Стремление защитить обширные жилые, промышленные и сельскохозяйственные районы от штормовых нагонов и подъема уровня моря будет требовать огромных инве-

стиций в инженерно-технические решения, а риски выхода соответствующей инфраструктуры из строя представляются катастрофическими. Во многих районах возникнет со временем необходимость переезда дальше от берега. Даже там, где растущее демографическое давление можно сдержать, будут требоваться значительные инвестиции на восстановление критически значимых местообитаний. Достоверность оценок того, как меняются экосистемные услуги и каковы будут последствия изменений для благополучия людей, выиграет от улучшения мониторинга и от инвестиций в научные исследования. Необходимо комплексное планирование прибрежной зоны, позволяющее добиться ее устойчивого использования и охватить природоохранной деятельностью не только охраняемые районы, что может потребовать более широких стратегий финансирования (например, с подключением государственных источников) и многосекторального сотрудничества. Управление прибрежной зоной может потребовать внедрения новых стандартов для строительства зданий и сооружений, экомаркировки, инновационных экономических инструментов для финансирования природоохраны и платы за экосистемные услуги, например за секвестрацию «голубого углерода».

6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала

В деле управления землепользованием в эстуариях и дельтах таким образом, чтобы будущие поколения тоже могли пользоваться эстетическими, культурными и поддерживающими услугами, которые предоставляют эти экосистемы, стоят непростые задачи (Elliott and others, 2019). Существующие модели не имеют достаточной пространственной и временной детализации, чтобы симитировать будущие экстремальные явления (Haigh and others, 2016; Robins and others, 2018), в том числе составные наводнения, порождаемые как речными, так и океанскими источниками. Такие наводнения приводят к экологической деградации, включая эрозию и эвтрофикацию водно-болотных угодий, и подвергают людей воздействию вредных патогенов,

переносимых водой (Yin and others, 2018). Относительно мало известно о долгосрочных последствиях стремительного вмешательства человека в жизнедеятельность дельт. Чтобы избежать неприемлемых изменений, надлежит более внятно описать переломные (в социально-экономическом отношении) моменты. Нужен большой объем сведений, позволяющих прицельно заниматься сохранением прибрежных водно-болотных угодий там, где это принесет наибольшую пользу или сможет ослабить потребность в создании искусственных защитных сооружений (Van Coppenolle and others, 2018; Van Coppenolle and Temmerman, 2019). Будущая выносливость мегадельт и заключенных в них мегаполисов будет зависеть от удачности стра-

тегий, посвященных ресурсному обеспечению и чрезвычайным ситуациям, и от успешности инвестиций в искусственную и «живую» защиту побережий от затопления. Применение моделирования, инженерно-технических решений и естественных наук необходимо сочетать с общественными науками и разъяснительной работой (Bonebrake and others, 2018). Инновационные технологии и природоориентированные решения уже помогают снизить уязвимость к прибреж-

ным опасностям, но нужна коллаборативная наука, которая снабжает население эстуарных и дельтовых местностей экологической информацией, надежными кратко- и долгосрочными прогнозами и результатами соответствующих наблюдений для валидации моделей, совершенствуя тем самым даталогические подходы к обеспечению выносливости прибрежной зоны (Nichols and others, 2019).

Справочная литература

- Anthony, Edward J., and others (2015). Linking rapid erosion of the Mekong River delta to human activities. *Scientific Reports*, vol. 5, art. 14745.
- Astudillo, Juan-Carlos, and others (2014). Status of six non-native marine species in the coastal environment of Hong Kong, 30 years after their first record. *BioInvasions Records*, vol. 3, No. 3, pp. 123–37. <https://doi.org/10.3391/bir.2014.3.3.01>.
- Auerbach, L.W., and others (2015). Flood risk of natural and embanked landscapes on the Ganges–Brahmaputra tidal delta plain. *Nature Climate Change*, vol. 5, No. 2, p. 153.
- Bernardino, Angelo Fraga, and others (2015). Predicting ecological changes on benthic estuarine assemblages through decadal climate trends along Brazilian Marine Ecoregions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 166, pp. 74–82.
- Bernardino, Angelo Fraga, and others (2016). Benthic estuarine communities in Brazil: moving forward to long term studies to assess climate change impacts. *Brazilian Journal of Oceanography*, vol. 64, No. SPE2, pp. 81–96.
- Bilkovic, Donna, and others (2016). The role of living shorelines as estuarine habitat conservation strategies. *Coastal Management*, vol. 44, No. 3, pp. 161–174.
- Boesch, Donald F. (2019). Barriers and bridges in abating coastal eutrophication. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 123. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00123>.
- Bonebrake, Timothy C., and others (2018). Managing consequences of climate-driven species redistribution requires integration of ecology, conservation and social science. *Biological Reviews*, vol. 93, No. 1, pp. 284–305.
- Breitburg, Denise and others (2018a). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, vol. 359, No. 6371, eaam7240.
- Breitburg, Denise and others (2018b). *The Ocean Is Losing Its Breath: Declining Oxygen in the World's Ocean and Coastal Waters; Summary for Policy Makers*. IOC/2018/TS/137 REV. Paris.
- Brondizio, Eduardo S., and others (2016). Catalyzing action towards the sustainability of deltas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 19, pp. 182–94. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.05.001>.
- Brown, S., and R.J. Nicholls (2015). Subsidence and human influences in mega deltas: the case of the Ganges–Brahmaputra–Meghna. *Science of the Total Environment*, vol. 527, pp. 362–374.
- Buttigieg, Pier Luigi, and others (2018). Marine microbes in 4D—using time series observation to assess the dynamics of the ocean microbiome and its links to ocean health. *Current Opinion in Microbiology*, vol. 43, pp. 169–185.
- Carrasco, A. Rita, and others (2016). Coastal lagoons and rising sea level: a review. *Earth-Science Reviews*, vol. 154, pp. 356–368.
- Cavallaro, N., and others (2018). *USGCRP, 2018: Second State of the Carbon Cycle Report (SOCCR2): A Sustained Assessment Report*. Washington, D.C.: U.S. Global Change Research Program.

- Chen, Shihong, and others (2018). Assessment of tropical cyclone disaster loss in Guangdong Province based on combined model. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 9, No. 1, pp. 431–441.
- Condie, Scott A., and others (2012). Modelling ecological change over half a century in a subtropical estuary: impacts of climate change, land-use, urbanization and freshwater extraction. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 457, pp. 43–66.
- Day, John W., and John M. Rybczyk (2019). Chapter 36 – Global Change Impacts on the Future of Coastal Systems: Perverse Interactions Among Climate Change, Ecosystem Degradation, Energy Scarcity, and Population. In *Coasts and Estuaries*, Eric Wolanski and others, eds., pp. 621–39. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814003-1.00036-8>.
- Day, John W., and others (2016). Approaches to defining deltaic sustainability in the 21st century. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 183, pp. 275–291.
- Day, John W., and others (2019). Chapter 9 – Delta Winners and Losers in the Anthropocene. In *Coasts and Estuaries*, Eric Wolanski, and others, eds., pp. 149–65. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814003-1.00009-5>.
- Desmet, Klaus, and others (2018). Evaluating the Economic Cost of Coastal Flooding. Working Paper 24918. National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w24918>.
- Dietz, Thomas (2013). Bringing values and deliberation to science communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, No. Supplement 3, pp. 14081–14087.
- Diop, Salif, and others (2016). *Estuaries: A Lifeline of Ecosystem Services in the Western Indian Ocean*. Springer.
- Doney, Scott C., and others (2012). Climate change impacts on marine ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, vol. 4, No. 1, pp. 11–37. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-041911-111611>.
- Doody, J. Patrick (2013). Coastal squeeze and managed realignment in southeast England, does it tell us anything about the future? *Ocean & Coastal Management*, vol. 79, pp. 34–41.
- Ducrotoy, J-P., and others (2019). Temperate estuaries: their ecology under future environmental changes. In *Coasts and Estuaries*, pp. 577–594. Elsevier.
- Dunn, Frances E., and others (2019). Projections of declining fluvial sediment delivery to major deltas worldwide in response to climate change and anthropogenic stress. *Environmental Research Letters*, vol. 14, No. 8, 084034.
- Elliott, Michael, and Alan K. Whitfield (2011). Challenging paradigms in estuarine ecology and management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 94, No. 4, pp. 306–314.
- Elliott, Michael, and others (2019). A Synthesis: What Is the Future for Coasts, Estuaries, Deltas and Other Transitional Habitats in 2050 and Beyond? In *Coasts and Estuaries*, pp. 1–28. Elsevier.
- Erban, Laura E., and others (2014). Groundwater extraction, land subsidence, and sea level rise in the Mekong Delta, Vietnam. *Environmental Research Letters*, vol. 9, No. 8, 084010.
- Fischhoff, Baruch (2013). The sciences of science communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, No. Supplement 3, pp. 14033–14039.
- Freeman, Lauren, and others (2019). Impacts of urbanization and development on estuarine ecosystems and water quality. *Estuaries and Coasts*, vol. 42, pp. 1821–1838.
- García-Alonso, Javier, and others (2019). Río de la Plata: A Neotropical Estuarine System. In *Coasts and Estuaries*, pp. 45–56. Elsevier.
- Gianelli, Ignacio, and Omar Defeo (2017). Uruguayan fisheries under an increasingly globalized scenario: long-term landings and bioeconomic trends. *Fisheries Research*, vol. 190, pp. 53–60.
- Gillanders, Bronwyn M., and others (2011). Potential effects of climate change on Australian estuaries and fish utilising estuaries: a review. *Marine and Freshwater Research*, vol. 62, No. 9, pp. 1115–1131.

- Haigh, Ivan D., and others (2016). Spatial and temporal analysis of extreme sea level and storm surge events around the coastline of the UK. *Scientific Data*, vol. 3, art. 160107.
- Hallegatte, Stephane, and others (2013). Future flood losses in major coastal cities. *Nature Climate Change*, vol. 3, No. 9, p. 802.
- Hallett, Chris S., and others (2017). Observed and predicted impacts of climate change on the estuaries of south-western Australia, a Mediterranean climate region. *Regional Environmental Change*, vol. 18, pp. 1357–73.
- Harris, Rebecca M.B., and others (2018). Biological responses to the press and pulse of climate trends and extreme events. *Nature Climate Change*, vol. 8, No. 7, p. 579.
- Hiatt, Matthew, and others (2019). Drivers and impacts of water level fluctuations in the Mississippi River delta: Implications for delta restoration. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 224, pp. 117–137.
- Howarth, Candice, and James Painter (2016). Exploring the science-policy interface on climate change: the role of the IPCC in informing local decision-making in the UK. *Palgrave Communications*, vol. 2, No. 1, art. 16058.
- Ikeuchi, Hiroaki, and others (2017). Compound simulation of fluvial floods and storm surges in a global coupled river-coast flood model: Model development and its application to 2007 Cyclone Sidr in Bangladesh. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, vol. 9, No. 4, pp. 1847–1862.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2019). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*.
- Janis, Samuel, and others (2016). Billion oyster project: linking public school teaching and learning to ecological restoration of New York Harbor using innovative applications of environmental and digital technologies. *International Journal of Digital Content Technology and Its Applications*, vol. 10, No. 1.
- Korpinen, Samuli, and others (2019) *Multiple pressures and their combined effects in Europe's seas*. ETC/ICM Technical Report 4/2019: European Topic Centre on Inland, Coastal and Marine waters.
- Kosyan, Ruben (2017). *The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence*. Springer.
- Kuang, Cuiping, and others (2014). Numerical assessment of the impacts of potential future sea level rise on hydrodynamics of the Yangtze River Estuary, China. *Journal of Coastal Research*, vol. 30, No. 3, pp. 586–597.
- Kumbier, Kristian, and others (2018). Investigating compound flooding in an estuary using hydrodynamic modelling: a case study from the Shoalhaven River, Australia.
- Lai, Racliffe W.S., and others (2016). Hong Kong's marine environments: History, challenges and opportunities. *Regional Studies in Marine Science*, vol. 8, pp. 259–273.
- Lana, Paulo da Cunha, and Angelo F. Bernardino (2018). *Brazilian Estuaries: A Benthic Perspective*. 1st ed. Brazilian Marine Biodiversity. Springer International Publishing.
- Lefcheck, Jonathan S., and others (2018). Long-term nutrient reductions lead to the unprecedented recovery of a temperate coastal region. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 14, pp. 3658–3662.
- Li, Tong, and others (2018). Driving forces and their contribution to the recent decrease in sediment flux to ocean of major rivers in China. *Science of the Total Environment*, vol. 634, pp. 534–541.
- Mahoney, Peter C., and Melanie J. Bishop (2018). Are geomorphological typologies for estuaries also useful for classifying their ecosystems? *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 28, No. 5, pp. 1200–1208.
- Mcleod, Elizabeth, and others (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 9, No. 10, pp. 552–560.

- McSweeney, S.L., and others (2017). Intermittently closed/open lakes and lagoons: their global distribution and boundary conditions. *Geomorphology*, vol. 292, pp. 142–152.
- Minderhoud, P.S.J., and others (2017). Impacts of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong delta, Vietnam. *Environmental Research Letters*, vol. 12, No. 6, 064006.
- Minderhoud, P.S.J., and others (2019). Mekong delta much lower than previously assumed in sea level rise impact assessments. *Nature Communications*, vol. 10, No. 1, art. 3847. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11602-1>.
- Moftakhari, Hamed R., and others (2015). Increased nuisance flooding along the coasts of the United States due to sea level rise: past and future. *Geophysical Research Letters*, vol. 42, No. 22, pp. 9846–9852.
- Moftakhari, Hamed R., and others (2017). Cumulative hazard: The case of nuisance flooding. *Earth's Future*, vol. 5, No. 2, pp. 214–223.
- Morris, Rebecca L., and others (2019). Design options, implementation issues and evaluating success of ecologically engineered shorelines.
- Muniz, Pablo, and others (2019). Río de la Plata: Uruguay. In *World Seas: An Environmental Evaluation*, pp. 703–724. Elsevier.
- Neumann, Barbara, and others (2017). Strong sustainability in coastal areas: a conceptual interpretation of SDG 14. *Sustainability Science*, vol. 12, No. 6, pp. 1019–1035.
- Nicholls, Robert J., and others (2018). Erratum to: Ecosystem Services for Well-Being in Deltas: Integrated Assessment for Policy Analysis. In *Ecosystem Services for Well-Being in Deltas*, pp. E1–E1. Springer.
- Nichols, Charles Reid, and others (2019). Collaborative science to enhance coastal resilience and adaptation. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 404.
- Nienhuis, J. H., and others (2020). Global-scale human impact on delta morphology has led to net land area gain. *Nature*, vol. 577, No. 7791, pp. 514–18. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1905-9>.
- Pecl, Gretta T., and others (2017). Biodiversity redistribution under climate change: impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, vol. 355, No. 6332, eaai9214.
- Pesce, M., and others (2018). Modelling climate change impacts on nutrients and primary production in coastal waters. *Science of the Total Environment*, vol. 628, pp. 919–937.
- Phan, Linh K., and others (2015). Coastal mangrove squeeze in the Mekong Delta. *Journal of Coastal Research*, vol. 31, No. 2, pp. 233–243. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00049.1>.
- Prandle, David, and Andrew Lane (2015). Sensitivity of estuaries to sea level rise: vulnerability indices. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 160, pp. 60–68.
- Renaud, Fabrice G., and others (2013). Tipping from the Holocene to the Anthropocene: How threatened are major world deltas? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 5, No. 6, pp. 644–654.
- Reynolds, Laura, and others (2016) Ecosystem services returned through seagrass restoration. *Restoration Ecology*, vol. 24, No. 5, pp. 583–588.
- Robins, Peter E., and others (2016). Impact of climate change on UK estuaries: A review of past trends and potential projections. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 169, pp. 119–135.
- Robins, Peter E., and others (2018). Improving estuary models by reducing uncertainties associated with river flows. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 207, pp. 63–73.
- Schmidt, Allison L., and others (2017). Regional-scale differences in eutrophication effects on eelgrass-associated (*Zostera marina*) macrofauna. *Estuaries and Coasts*, vol. 40, No. 4, pp. 1096–1112.
- Schmidt, Charles W. (2015). *Delta Subsidence: An Imminent Threat to Coastal Populations*. NLM-Export.
- Seebens, Hanno, and others (2017). No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications*, vol. 8, art. 14435.

- Seebens, Hanno, and others (2018). Global rise in emerging alien species results from increased accessibility of new source pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 10, pp. E2264–E2273.
- Sengupta, Dhritiraj, and others (2018). Building beyond land: an overview of coastal land reclamation in 16 global megacities. *Applied Geography*, vol. 90, pp. 229–238.
- Shalovenkov, Nickolai (2019). Alien Species Invasion: Case Study of the Black Sea. In *Coasts and Estuaries*, pp. 547–568. Elsevier.
- Syvitski, James, and others (2009) Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience*, vol. 2, pp. 681–686.
- Szabo, Sylvia, and others (2015). Sustainable development goals offer new opportunities for tropical delta regions. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, vol. 57, No. 4, pp. 16–23.
- Teichberg, Mirta, and others (2010). Eutrophication and macroalgal blooms in temperate and tropical coastal waters: nutrient enrichment experiments with *Ulva* spp. *Global Change Biology*, vol. 16, No. 9, pp. 2624–37. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02108.x>.
- Teixeira, João Batista, and others (2013). Traditional ecological knowledge and the mapping of benthic marine habitats. *Journal of Environmental Management*, vol. 115, pp. 241–250.
- Tessler, Z.D., and others (2015). Profiling risk and sustainability in coastal deltas of the world. *Science*, vol. 349, No. 6248, pp. 638–643. <https://doi.org/10.1126/science.aab3574>.
- Tessler, Z.D., and others (2016). A global empirical typology of anthropogenic drivers of environmental change in deltas. *Sustainability Science*, vol. 11, No. 4, pp. 525–537.
- Todd, Peter A., and others (2019). Towards an urban marine ecology: characterizing the drivers, patterns and processes of marine ecosystems in coastal cities. *Oikos*.
- Turra, Alexander, and others (2013). Global environmental changes: setting priorities for Latin American coastal habitats. *Global Change Biology*, vol. 19, No. 7, pp. 1965–1969.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van Coppenolle, Rebecca, and others (2018). Contribution of mangroves and salt marshes to nature-based mitigation of coastal flood risks in major deltas of the world. *Estuaries and Coasts*, vol. 41, No. 6, pp. 1699–1711.
- Van Coppenolle, Rebecca, and Stijn Temmerman (2019). A global exploration of tidal wetland creation for nature-based flood risk mitigation in coastal cities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 226, art. 106262.
- Whitfield, Alan K. (2017). The role of seagrass meadows, mangrove forests, salt marshes and reed beds as nursery areas and food sources for fishes in estuaries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol. 27, No. 1, pp. 75–110.
- Wright, Lynn Donelson, and Wei Wu (2019). Pearl River Delta and Guangzhou (Canton) China. In *Tomorrow's Coasts: Complex and Impermanent*, pp. 193–205. Springer.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2017). Combining marine macroecology and palaeoecology in understanding biodiversity: microfossils as a model. *Biological Reviews*, vol. 92, No. 1, pp. 199–215.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2019). Palaeo-records of histories of deoxygenation and its ecosystem impact. Ocean deoxygenation: Everyone's problem. IUCN.
- Yin, Jie, and others (2012). National assessment of coastal vulnerability to sea level rise for the Chinese coast. *Journal of Coastal Conservation*, vol. 16, No. 1, pp. 123–133.
- Yin, Jiabo, and others (2018). Large increase in global storm runoff extremes driven by climate and anthropogenic changes. *Nature Communications*, vol. 9, No. 1, art. 4389.

Глава 7G

Луга морских трав

Участники: Хью Керкман (координатор), Пол Лэвери и Элизабет Синклэр.

Ключевые тезисы

- Луга морских трав продолжают переживать упадок, который имеет угрожающие темпы и особенно ощущается там, где существование лугов вступает в конфликт с человеческой деятельностью.
- Из-за изменений, обусловливаемых климатом, в морских экосистемах реконфигурируется распространение биологических видов, причем к 2100 году ожидается функциональное исчезновение некоторых из этих видов.
- Определенную роль в смягчении воздействия климатических изменений будет играть секвестрация «голубого углерода».
- Успешность долгосрочных решений в деле сохранения и восстановления местообитаний будет зависеть от баланса между социальными, экономическими и экологическими факторами.

1. Введение

Морские травы – это морские цветковые растения, обитающие в прибрежных водах. Самая последняя глобальная оценка показала, что с 1980 года морские травы исчезали со скоростью 110 км² в год и что с 1879 года, когда были впервые зарегистрированы ареалы таких трав, известная площадь этих ареалов сократилась на 29 процентов (Waycott and others, 2009). Выросли среднегодовые темпы этого упадка: если за период до 1940 года они составляли 0,9 процента, то с 1990 года они равняются 7 процентам. Темпы утраты морских трав сопоставимы с показателями, зафиксированными по манграм, коралловым рифам и тропическим лесам, что ставит морские луга в ряд самых угрожаемых экосистем на Земле. Упадок морских трав – это результат изменения окружающих условий, обусловленного прежде всего прибрежной застройкой, приращением суши, обезлесением, разведением водорослей и рыб, переловом и сбросом мусора. Четырьмя главными факторами деградации морских трав являются плохое качество воды, физическое возмущение, деградация пищевых сетей и выедание животными.

За период после первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017) упадок лугов морских трав повсеместно продолжался (Unsworth and others, 2019). Необходимо внедрять эффективные хозяйственные стратегии, позволяющие обратить вспять утрату таких лугов и упрочить их фундаментальную роль в прибрежных океанских местообитаниях. Чтобы

добиться сохранения лугов морских трав во всем мире, требуется многогранный и междисциплинарный подход (см. приводимую ниже вставку). Долгосрочные решения будут требовать баланса социальных, экономических и экологических факторов. Появляются примеры удачных решений такого рода, в частности когда выясняется мнение сообществ, традиционно пользующихся морскими лугами и заботящихся о них, и когда эти сообщества получают возможность расширить такую заботу. Коренные народы обладают культурой, которая холистически связывает их с землей и морем, предусматривая в том числе связь с мощными и значимыми ареалами (National Oceans Office, 2002).

Глобальные экологические изменения влияют на сообщества, живущие у моря или зависящие от морских ресурсов. Утрата и упадок лугов означают, что продолжится утрата мест нагула рыб и их промысла и что прибрежные районы будут становиться менее привлекательными с точки зрения туризма, борьбы с береговой абразией, мореведческого образования, нагула рыб, чистой воды и прозрачности. В прибрежных сообществах по всему миру ощущаются воздействия штормовых нагонов, береговой абразии и затопления. Существуют четкие научные выкладки, согласно которым защита и восстановление естественных местообитаний могут становиться экономичным дополнением к тому, чтобы защищать прибрежные сообщества путем строительства инфраструктуры (Ruckelshaus and

others, 2016). Из-за отсутствия долгосрочных наборов данных, комплексно показывающих видовое распространение, трудно провести количественное определение тех смещений в ареалах морских трав (и многих бентических морских видов), которые обусловлены климатом. Между тем такие смещения способны приводить к зачастую непредвиденным и драматичным последствиям, конечным итогом которых могут стать утрата биоразнообразия и гомогенизация сообществ (Brustolin and others, 2019). Сочетание таких факторов, как миграция видов, модифицирующих облик местообитаний, к полюсам в результате изменения климата (Н. Kirkman (личная переписка) и рыбопромысловая нагрузка, может

приводить к снижению экосистемной выносливости (например, Ling and Keane, 2018).

Количественное определение конкретных способов оздоровления морских трав после их упадка представляется особенно трудным. О'Брайен и др. (O'Brien and others, 2018) продемонстрировали четыре разных сценария деградации и оздоровления моретравяных экосистем. При улучшении условий процесс оздоровления может пойти быстро, однако отсутствие морских трав в ландшафтном масштабе может сохраняться на протяжении многих десятилетий. Названными авторами предложены рамочные параметры для моделирования экосистемной выносливости (O'Brien and others, 2018).

Задачи и возможные решения в деле сокращения утраты лугов морских трав

Задача 1: общественное признание важности морских трав. Объяснять, что такое морские травы и каково их значение в прибрежных системах.

Задача 2: актуализированная информация о статусе и состоянии. Объяснять и фиксировать статус и состояние многочисленных морских лугов.

Задача 3: выявление угрожающей деятельности в локальном масштабе с целью выработки соответствующих хозяйственных мер. Предлагать способы регулирования локальной деятельности, угрожающей морским лугам.

Задача 4: баланс между нуждами людей и потребностями планеты. Усиливать понимание взаимодействий между социально-экономическими и экологическими элементами систем морских трав.

Задача 5: проведение научных исследований в поддержку природоохранных мероприятий. Пользуясь тем, что в настоящее время выполняются резонансные исследования по морским травам с точки зрения продовольственной безопасности и «голубого углерода», расширять профиль таких исследований.

Задача 6: природоохранные действия в эпоху климатических изменений. Использовать индикаторы, заранее предупреждающие о воздействии климатических изменений на морские травы. Применять инновационные методы восстановления

Источник: Unsworth and others, 2019 (адаптировано).

2. Социально-экономические последствия

Продолжающемуся упадку морских и эстуарных экосистем во всем мире способствует прибрежная застройка. Рост туризма, развитие промышленности и активизация градостроительства в прибрежных районах будут требовать более осторожного и устойчивого хозяйствования.

Многие социоэкологические системы настроены на то, что для поддержки множества важных экосистемных услуг нужны здоровые луга морских трав (Cullen-Unsworth and others, 2014). Гибель морских трав в одном небольшом ареале или эстуарии может показаться незначительной,

но важно учитывать кумулятивный эффект от множественных возмущений по всей протяженности побережья.

Морские травы растут во многих эстуарных областях, где освоительная деятельность и портовое хозяйство нередко требуют обширных ремонтных дноуглубительных работ. Физическое уничтожение морских трав во время таких работ носит небольшие масштабы, поскольку происходит только в полосе грунтозабора. Больше ущерба наносится в результате затенения, создаваемого шлейфом от земснаряда, и удушения растений отложениями, взмученными во время дноуглубительных работ. Оценены возможности смягчения рисков, позволяющего снизить воздействие на морские травы (Wu and others, 2018). К планам застройки и иным планам, чреватых антропогенными изменениями, следует подходить осмотрительно. Если вероятны утрата или сокращение площади лугов морских трав, следует рассматривать возможность компенсирующих замен или высадки новых трав. Вместе с тем компенсирующие замены поощрять не следует, поскольку они редко когда равнозначны утраченной среде обитания. Кроме того, во многих акваториях может не оказаться подходящих участков для повторной высадки морских трав (что приведет к нетто-утрате морских лугов), а успех восстановления не гарантируется.

Экономических оценок моретравяных систем выполнено не так много (Constanza and others, 2014), и в большинстве расчетов их ценность

занижается. Для достоверного расчета их долларовой стоимости совершенно необходимо располагать моделями, которые позволяют полнее учитывать производные показатели и увязывать структуру и функцию экосистемы со всеми ассоциируемыми с нею экономическими услугами (Dewsbury and others, 2016).

Благодаря соединенности нутриентов и биоты коралловые рифы (гл. 7D) и мангры (гл. 7H) синергически участвуют в экономичном производстве полезной пищи. Здоровье морской среды улучшают и морские травы, участвующие в естественной фильтрации патогенов. Лэм и др. (Lamb and others, 2017) обнаружили, что там, где имеются луга морских трав, относительная встречаемость потенциальных бактериальных патогенов у человека и морских организмов снижается на 50 процентов. Натурная съемка более 8000 рифообразующих кораллов, расположенных рядом с лугами морских трав, показала двукратное снижение заболеваемости по сравнению с кораллами на спаренных участках, рядом с которыми таких лугов нет.

Луга морских трав имеют важное культурное значение: они играют необычайно солидную роль в сохранении ценного подводного археологического и исторического наследия (Krause-Jensen and others, 2016). Значимость морских трав в этой области по большей части игнорируется, а ведь по скорости роста и возрасту их корневищ можно определить возраст затонувшей амфоры.

3. Изменения (в региональной разбивке)

Стоит констатировать нехватку данных по многим областям и отсутствие глобального сбора данных.

Нехватка данных лучше всего иллюстрируется примерами с островов в восточноазиатских морях. Юго-Восточная Азия и Австралия отличаются наибольшим разнообразием видов морских трав и типов их местообитаний, а базовой информации о таких местообитаниях до сих пор не хватает. Фортес и др. (Fortes and others, 2018) указали на недостаточно хорошую представленность выясненных данных о распространении морских трав в Юго-Восточной Азии, их масштабах и ви-

довом разнообразии, а также на пробелы в их изучении и в знаниях о них. По расчетам указанных авторов, площадь этого биогеографического региона морских экорегионов мира составляет приблизительно 36 700 км², причем это, вероятно, заниженная оценка, поскольку некоторые экорегионы плохо представлены, а актуализированная информация отсутствует.

В мелководных биотопах восточноазиатских островов присутствуют обширные коралловые рифы, окаймленные морскими травами и манграми. Основные луга морских трав в Индии растут вдоль юго-восточного побережья в Маннарском

заливе (между Индией и Шри-Ланкой) и в заливе Полк, а также в лагунах акватории от Лаккадивских островов в Аравийском море до Андамских и Никобарских островов в Бенгальском заливе. Маннарский залив, который объявлен национальным морским парком, занимает площадь примерно 10 500 км² и включает 21 остров, расположенный параллельно береговой линии. Чтобы эта область оставалась для местных жителей (которые используют луга морских трав для рыбного промысла) ценным местом, где происходит нагул рыбы, требуются хозяйственные меры, картирование и мониторинг. Следует разъяснять местному населению способы использования морских трав и важность этой экосистемы. Морские травы играют ключевую роль в том, чтобы Индонезия сохраняла за собой второе место среди крупнейших в мире производителей морепродуктов. Опасное состояние морских трав этой страны подорвет их выносливость к изменению климата и приведет к утрате ими высокой ценности в качестве поставщика экосистемных услуг (Unsworth and others, 2018).

Приблизительно 800 островов к западу от Мьяе (Мьянма) имеют коралловые рифы и мангры, а с их подветренной стороны растут морские травы. Ценные местообитания этих трав не картированы, тогда как существует вероятность, что там ведется чрезмерная эксплуатация рыб и ракообразных [Н. Kirkman (личная переписка)].

4. Перспективы

Во всем мире повышается общая осведомленность о морских травах и о важных экосистемных услугах, предлагаемых ими. Концептуальные и математические модели помогают хозяйственникам добиваться научно обоснованного хозяйственного подхода к морским травам. Услуги, ассоциируемые с морскими травами, способны вписаться в концептуальную модель «побудители – нагрузки – состояние – воздействия – реакция», которая была взята на вооружение применительно к некоторым моретравяным экосистемам мира, в том числе в Европейском союзе для отчетности о состоянии окружающей среды (Kelble and others, 2013). Целью усвоения этой модели является формирование научно

Как сообщают Ариас-Ортіс и др. (Arias-Ortiz and others, 2018), в результате эпизода морской жары в 2010–2011 годах оказалось повреждено 36 процентов лугов морских трав в заливе Шарк (Западная Австралия). В этом заливе находится крупнейший для моретравяной экосистемы запас углерода: на него приходится до 1,3 процента всего углерода, хранящегося в разных районах мира в верхнем метре отложений, в которых растут морские травы.

Из-за циклонов и связанного с ними повышения мутности воды и стока загрязнителей утрачены крупные участки морских трав вдоль побережья Квинсленда на востоке Австралии. Прогнозируется усиление интенсивности таких циклонов в результате изменения климата. Из-за климатических изменений и человеческой деятельности происходит также тревожно быстрый упадок лугов *Posidonia oceanica* в Средиземноморье (Telesca and others, 2015).

При этом недостает координации в том, как и какого рода данные следует собирать, что приводит к невозможности межрегионального анализа наборов данных.

Гибель морских трав происходит не только в Австралии и Азии, но и по всему миру. В Карибском бассейне имели место серьезные изменения, которые повлекла за собой инвазия *Halophila stipulacea*. Наконец, Средиземноморье переживает тропикализацию (Hyndes and others, 2016).

обоснованного консенсуса в определении характеристик и фундаментальных регулирующих процессов, при которых такие экосистемы сохраняют устойчивость и способность обеспечивать разнообразные экосистемные услуги. Для достижения этой цели необходимо рассмотреть региональные, социальные, политические, культурные, экономические и здравоохранительные факторы в исследовательском и хозяйственном контексте, учитывая при этом экологические переменные.

Для определения того, происходит ли выздоровление или ухудшение и осуществляется ли регулирование, важны мониторинг, оценка и отчетность для хозяйственников. Везде, где со-

стояние морских трав нуждается в регулировании, следует внедрять многоуровневый подход к мониторингу, к разработке которого следует привлекать как ученых, так и хозяйственников. Неклз и др. (Neckles and others, 2012) представили концептуальную модель такого подхода.

Зиммерман и др. (Zimmerman and others, 2015) использовали математическую модель для прогнозирования того, как потепление океана, его закисление и качество его воды влияют на взморник в Чесапикском заливе.

5. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях

Оценка пробелов в знаниях об австралийских морских травах выявила недостатки на многих исследовательских направлениях, включая таксономию и систематику, физиологию, популяционную биологию, биогеохимию и микробиологию донных отложений, экосистемную функцию, местообитания фауны, угрозы, санацию и восстановление, картирование и мониторинг, а также хозяйственные инструменты (York and others, 2017). Эти пробелы характерны для всего мира, и их необходимо устранять, если мы хотим, чтобы экосистемы эффективно регулировались и могли предоставлять разнообразные услуги. Для достижения этой цели необходимо рассмотреть региональные, социальные, политические, культурные, экономические и здравоохранительные факторы в исследовательском и хозяйственном контексте, учитывая при этом экологические переменные. Следует продумать исследовательские программы, которые охватывают взаимодействие сразу нескольких стрессоров. Эти системы чрезвычайно сложны, и достоверное предсказание всех нисходящих воздействий в экспериментах со множественными стрессорами — дело непростое. Прогресс с устранением пробелов в знаниях будет зависеть от технологических достижений в области дистанционного зондирования, геномики, микродатчиков, компьютерного моделирования и статистического

анализа. Междисциплинарные подходы позволят и впредь расширять понимание сложных взаимодействий между морскими травами и их средой. Учитывая экосистемные услуги, предоставляемые лугами морских трав (прежде всего в виде поддержки рыбных промыслов), и разрушительные действия, которые угрожают их существованию, следует выяснять мнения экспертов, чтобы подыскивать потенциальные решения, не допускающие дальнейшей гибели таких лугов. Ожидается, что для смягчения возмущений, которыми подвергаются морские травы, будут всё сильнее требоваться меры по восстановлению последних (Statton and others, 2018).

Пробелы в знаниях ощущаются и применительно к исследованию социокультурно-экономических аспектов, несмотря на растущее осознание важности взаимоотношений между морскими травами и людьми. Предлагаемые решения включают усиление разъяснительной работы с сообществами, которые не понимают полезности морских трав, например в случае активного удаления морских трав на Мальдивских Островах и в других туристических точках¹, а также чрезмерного вымывания органических наносов на берег в случае сооружения неправильной пляжной инфраструктуры, например волнорезов или пристаней.

6. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала

6.1. Картирование

Необходимо улучшить детализацию и отчетливость карт распространения морских трав.

Самая свежая глобальная карта их распространения была составлена почти 10 лет назад. Ее следует обновить путем дальнейшего картирования лугов морских трав и ассоциированных с

¹ URL: www.maldivesresilientreefs.com/campaigns/seagrass/.

ними местообитаний. Картирование этих лугов проводится во многих разных уголках планеты, но до сих пор отсутствуют центры, которые бы заносили продукты этой работы на глобальную карту и формировали метаданные. Такая карта стала бы источником актуализированных данных об утрате или приросте моретравяных участков, о разнообразии морских трав и о том, не требуется ли дополнительная информация. Происходит также совершенствование спутниковых технологий, которые стали чаще использоваться для картирования морских трав.

Луга морских трав – это динамичные системы, что усложняет задачу их картирования и мониторинга, тем более что некоторые виды являются эфемерами (вселенцами или оппортунистами) и/или подвержены ущербу от штормов. Даффи и др. (Duffy and others, 2019) выдвинули идею экосистемной карты, которая составляется с помощью сети наблюдения за морским биоразнообразием и в которой биоразнообразие увязывается с геофизическими переменными среды.

В настоящее время нет хранилища, через посредство которого можно было бы обмениваться информацией и отслеживать изменения в экологически значимых масштабах. Значит, экологам и хозяйственникам, занимающимся морскими травами, потребуется определить комплект показателей и пробоотборных методик, позволяющих получать данные, которыми можно будет обмениваться и которые можно будет сравнивать по разным регионам. Детальное картирование может выполняться с помощью беспилотников или многолучевых гидролокаторов бокового обзора. Хамана и Комацу (Hamana and Komatsu, 2016) использовали систему узкой многолучевой гидролокации для обнаружения лугов морских трав и оценки их относительной численности. Гумусай и др. (Gumusay and others, 2019) провели обзор литературы о картировании, мониторинге и обнаружении морских трав с применением акустических систем. Высококачественные базы данных аэрофотосъемки позволяют отслеживать изменения моретравяного покрова в масштабах от локального до регионального (например, Evans and others, 2018). Поскольку ни один из этих вариантов не привязан к конкретному виду морских трав, требуется натурная доводка. Существует и такая пробле-

ма, как прозрачность воды после штормов, во время дноуглубительных работ или в результате загрязнения и эвтрофикации с суши. Эвтрофикация происходит, когда в море попадает большое количество питательных веществ, которые поглощаются макроводорослями, растущими на листьях морской травы и могущими удушать морские травы и предотвращать фотосинтез.

6.2. Секвестрация углерода

Моретравяные экосистемы обладают бóльшей способностью секвестрировать углерод, чем экосистемы суши (Macreadie and others, 2019). На морские травы – в совокупности с полосами маршей и мангровыми зарослями – приходится примерно 50 процентов общего объема углерода, секвестрированного в морских отложениях («голубой углерод»), хотя они занимают лишь 0,2 процента площади океана, а показатели секвестрации органического углерода в них (на единицу площади) превышают аналогичные показатели наземных лесов на один-два порядка. Луга морских трав секвестрируют диоксид углерода посредством фотосинтеза и накапливают большие его количества не только в растениях, но и (что важнее) в донных отложениях (McLeod and others, 2011; Fourqurean and others, 2012). Секвестрация в отложениях сильно различается в зависимости от вида травы. Крупные морские травы, такие как *Posidonia* spp., образуют дернину глубиной несколько метров, которая может сохраняться тысячелетиями (Mateo and others, 1997). По оценкам Мазаррасы и др. (Mazarrasa and others, 2015), среднегодовая скорость накопления нерастворенного неорганического углерода в моретравяных отложениях составляет $126,3 \pm 31,05$ г на м². Если принять, что общемировая площадь лугов морских трав составляет от 177 000 до 600 000 км², то получается, что в глобальном масштабе эти экосистемы хранят от 11 до 39 пикограммов нерастворенного неорганического углерода в верхнем метре отложений и накапливают от 22 до 75 тераграммов такого углерода в год. К сожалению, густые луга постоянно находятся под угрозой (см. приведенные выше оценки глобальных темпов их утраты), а вместе с их гибелью происходит выброс хранившегося ими CO₂. Подсчитано, например, что продолжающаяся гибель морских трав в Австралии

приводит к ежегодному выделению в атмосферу до 3 млн т CO₂, в результате чего годовые выбросы CO₂ из-за изменений в землепользовании возрастают на 12–21 процент (Serrano and others, 2019). Кроме того, повреждение и упадок лугов морских трав будут снижать уровень происходящей секвестрации диоксида углерода.

Сохраняя и восстанавливая покрытые растительностью прибрежные экосистемы, можно избежать выбросов парниковых газов и усиливать их секвестрацию, и эта возможность была признана многими странами в качестве одного из способов достижения принципиальных целей, поставленных в деле сокращения выбросов таких газов (Martin and others, 2016). Однако для того, чтобы эта возможность стала реальностью, необходимо устранить ряд ключевых информационных пробелов и принципиальных проблем. Недавний обзор, сделанный Макриди и др. (Macreadie and others, 2019), дает комплексную «дорожную карту» на ближайшие десятилетия в отношении будущих научных исследований в области «голубого углерода».

6.3. Изменение климата

Изменение климатической и океанской обстановки сказывается на ценных морских ресурсах и на сообществах, которые от них зависят. Влияние климатических изменений на луга морских трав выражается в нескольких формах. Были сделаны прогнозы о том, что более частыми и суровыми станут экстремальные климатические явления (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013) и что это повлечет за собой стремительное изменение экосистем, масштабность которого будет больше, чем при постепенно изменяющемся климате (Wernberg and others, 2016). Следует проводить оценки климатической уязвимости у ключевых морских организмов и местообитаний, чтобы лучше понять, какие биологические виды наиболее уязвимы и могут требовать инновационных хозяйственных стратегий². Ожидается, что экосистемная реконфигурация, вызванная обусловленными климатом изменениями в распределении видов, будет иметь серьезные экологические, социальные и экономические последствия: экосистемы

умеренного пояса будут вытесняться тропическими (Vergés and others, 2014). Смещение ареалов может вызываться и занесением инвазивных видов, которое влечет за собой изменение предоставляемых экосистемой услуг. Так, в последние 20 лет Карибский бассейн оказался заражен *Halophila stipulacea*, и исследования показывают резкие изменения в рыбных скоплениях, а также воздействие на черепах. В свою очередь, появление нетуземного вида *Zostera japonica* изменило колонизируемые им эстуариевые сообщества (Vergés and others, 2014). Согласно прогнозам, изменение климата может привести к тому, что во многих местах снизится частота штормов, но повысится их интенсивность (Gera and others, 2014), а значит, будут иметь место эпизоды локальных возмущений и потери качества воды, длящиеся каждый раз от нескольких недель до нескольких месяцев. Это станет беспокоящим фактором для лугов морских трав и вызовет изменения в хозяйствовании и политике. Кислотность, возникающая при высоких значениях диоксида углерода, нутриентов и температуры (подробнее о закислении океана см. гл. 5), может становиться для морских трав полезной благодаря избавлению от известковых эпифитов, однако Альстерберг и др. (Alsterberg and others, 2013) предсказывают, что может увеличиться численность неизвестковых эпифитов, таких как нитевидные водоросли и диатомеи. Это может привести к сдвигам в структуре эпифитного сообщества от менее съедобных (известковых) водорослей к более съедобным. Кроме того, поскольку при высоком содержании диоксида углерода морские травы производят меньше фенольных соединений, отпугивающих поедателей (Arnold and others, 2012), могут повыситься вкусовые качества листьев морской травы для ряда беспозвоночных и рыб, ею питающихся. Положительное влияние повышенного содержания диоксида углерода на физиологию морских трав способно помочь смягчению негативного воздействия других экологических стрессоров, заведомо влияющих на рост и выживание морских трав, хотя сочетание повышения температуры и снижения освещенности, вероятно, не даст увеличиться доступному углероду (Collier and others, 2018).

² См. www.fisheries.noaa.gov/national/climate/climate-vulnerability-assessments.

У некоторых видов морских трав может также происходить смещение ареалов, а именно вытеснение видов умеренного пояса тропическими видами, и изменения в структуре сообщества. В настоящее время свидетельств смещения ареалов у морских трав не так много, однако текущие прогнозы для теплеющих кромок ареалов, например в Средиземном море и заливе Шарк (Австралия), позволяют предположить, что в условиях ускоряющегося потепления к 2100 году там произойдет функциональное исчезновение крупных видов морских трав умеренного пояса (Hyndes and others, 2016).

6.4. Восстановление и оздоровление

Первой (и более дешевой) линией обороны обычно было оздоровление популяций и митигация источников возмущения, однако в условиях стремительного изменения окружающей среды становится всё более необходимым экологическое восстановление (или вмешательство), которое способно выступать в качестве более эффективной хозяйственной стратегии там,

где местообитание морских трав уже утрачено или сильно деградировало (Statton and others, 2018). Успех восстановительных мероприятий повысился, но остается пока крайне ограниченным. Восстановление и оздоровление лугов морских трав является важным начинанием, и кое-где фиксируется определенное повышение результативности восстановительных усилий (например, Orth and others, 2017; Wendländer and others, 2019). Притом что необходимость восстановления для смягчения возмущений, которым подвергаются морские травы, будет всё сильнее возрастать, немаловажно подчеркнуть, что успешность восстановления никогда не бывает 100-процентной, а зачастую намного не дотягивает и до 50 процентов. Более того, деградированные и восстановленные заросли редко обеспечивают прежний уровень экосистемных услуг. Поэтому ставка на восстановление приведет к продолжению глобальной утраты морских трав. Защита существующих лугов от дальнейшего повального уничтожения будет гораздо лучшим способом использовать ресурсы.

Справочная литература

- Alsterberg, Christian, and others (2013). Consumers mediate the effects of experimental ocean acidification and warming on primary producers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, No. 21, pp. 8603–8608.
- Arias-Ortiz, Ariane, and others (2018). A marine heatwave drives massive losses from the world's largest seagrass carbon stocks. *Nature Climate Change*, vol. 8, No. 4, p. 338.
- Arnold, Thomas, and others (2012). Ocean acidification and the loss of phenolic substances in marine plants. *PLoS One*, vol. 7, No. 4, e35107.
- Brustolin, Marco Colossi, and others (2019). Future ocean climate homogenizes communities across habitats through diversity loss and rise of generalist species. *Global Change Biology*, vol. 25, No. 10, pp. 3539–3548.
- Collier, Catherine J., and others (2018). Losing a winner: thermal stress and local pressures outweigh the positive effects of ocean acidification for tropical seagrasses. *New Phytologist*, vol. 219, No. 3, pp. 1005–1017.
- Constanza, Robert, and others (2014) Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, vol. 26, pp. 152–158.
- Cullen-Unsworth, L.C., and others (2014). Seagrass meadows globally as a coupled social-ecological system: Implications for human wellbeing. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 83, pp. 387–397. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.06.001>.
- Dewsbury, Bryan M., and others (2016). A review of seagrass economic valuations: Gaps and progress in valuation approaches. *Ecosystem Services*, vol. 18, pp. 68–77.

- Duffy, J. Emmett, and others (2019). Toward a coordinated global observing system for seagrasses and marine macroalgae. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 317.
- Evans, Suzanna M., and others (2018). Seagrass on the brink: decline of threatened seagrass *Posidonia australis* continues following protection. *PloS One*, vol. 13, No. 4.
- Fortes, Miguel D., and others (2018). Seagrass in Southeast Asia: a review of status and knowledge gaps, and a road map for conservation. *Botanica Marina*, vol. 61, No. 3, pp. 269–288.
- Fourqurean, James W., and others (2012). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*, vol. 5, No. 7, p. 505.
- Gera, Alessandro, and others (2014). The effect of a centenary storm on the long-lived seagrass *Posidonia oceanica*. *Limnology Oceanography*, vol. 59, pp. 1910–1918.
- Gumusay, Mustafa Umit, and others (2019). A review of seagrass detection, mapping and monitoring applications using acoustic systems. *European Journal of Remote Sensing*, vol. 52, No. 1, pp. 1–29.
- Hamana, Masahiro, and Teruhisa Komatsu (2016). Real-time classification of seagrass meadows on flat bottom with bathymetric data measured by a narrow multibeam sonar system. *Remote Sensing*, vol. 8, No. 2, art. 96.
- Hyndes, Glenn A., and others (2016). Accelerating tropicalization and the transformation of temperate seagrass meadows. *Bioscience*, vol. 66, No. 11, pp. 938–948.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate, T.F. Stocker and others, eds. Cambridge University Press.
- Kelble, Christopher R., and others (2013). The EBM-DPSER Conceptual Model: Integrating Ecosystem Services into the DPSIR Framework. *PLOS ONE*, vol. 8, No. 8, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070766>.
- Krause-Jensen, Dorte, and others (2016). Seagrass sedimentary deposits as security vaults and time capsules of the human past. *Ambio*, vol. 48, No. 4, pp. 325–335.
- Lamb, Joleah B., and others (2017). Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes, and invertebrates. *Science*, vol. 355, No. 6326, pp. 731–733.
- Ling, Scott D., and John P. Keane (2018). Resurvey of the Longspined Sea Urchin (*Centrostephanus rodgersii*) and associated barren reef in Tasmania. Institute for Marine and Antarctic Studies Report. University of Tasmania, Hobart, 52 p.
- Macreadie, Peter I., and others (2019). The future of Blue Carbon science. *Nature Communications*, vol. 10, No. 1, pp. 1–13.
- Martin, A., and others (2016). Blue Carbon - Nationally Determined Contributions Inventory. Appendix to: Coastal blue carbon ecosystems. Opportunities for Nationally Determined Contributions. Published by GRID-Arendal, Norway. ISBN: 978-82-7701-161-5.
- Mateo, Miguel A., and others (1997). Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 44, No. 1, pp. 103–110.
- Mazarrasa, I., and others (2015). Seagrass meadows as a globally significant carbonate reservoir. *Biogeosciences*, vol. 12, No. 16, pp. 4993–5003. <https://doi.org/10.5194/bg-12-4993-2015>.
- McLeod, Elizabeth, and others (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 9, No. 10, pp. 552–560.
- National Oceans Office (2002). *Sea Country: An Indigenous Perspective: The South-East Regional Marine Plan*. Assessment Reports.

- Neckles, Hilary A., and others (2012). Integrating scales of seagrass monitoring to meet conservation needs. *Estuaries and Coasts*, vol. 35, No. 1, pp. 23–46. <https://doi.org/10.1007/s12237-011-9410-x>.
- O'Brien, Katherine R., and others (2018). Seagrass ecosystem trajectory depends on the relative timescales of resistance, recovery and disturbance. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 134, pp. 166–176.
- Orth, Robert J., and others (2017). Submersed aquatic vegetation in Chesapeake Bay: sentinel species in a changing world. *Bioscience*, vol. 67, No. 8, pp. 698–712.
- Ruckelshaus, Mary H., and others (2016). Evaluating the benefits of green infrastructure for coastal areas: location, location, location. *Coastal Management*, vol. 44, No. 5, pp. 504–16. <https://doi.org/10.1080/08920753.2016.1208882>.
- Serrano, Oscar, and others (2019). Australian vegetated coastal ecosystems as global hotspots for climate change mitigation. *Nature Communications*, vol. 10, No. 1, pp. 1–10.
- Statton, John, and others (2018). Decline and restoration ecology of Australian seagrasses. In *Seagrasses of Australia*, pp. 665–704. Springer.
- Telesca, Luca, and others (2015). Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. *Scientific Reports*, vol. 5, art. 12505.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Unsworth, Richard K.F., and others (2018). Indonesia's globally significant seagrass meadows are under widespread threat. *Science of the Total Environment*, vol. 634, pp. 279–286.
- Unsworth, Richard, K.F., and others (2019). Global challenges for seagrass conservation. *Ambio*, vol. 48, No. 8, pp. 801–815.
- Vergés, Adriana, and others (2014). The tropicalization of temperate marine ecosystems: climate-mediated changes in herbivory and community phase shifts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 281, No. 1789, p20140846.
- Waycott, Michelle, and others (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, No. 30, pp. 12377–12381.
- Wendländer, Nele Svenja, and others (2019). Assessing methods for restoring seagrass (*Zostera muelleri*) in Australia's subtropical waters. *Marine and Freshwater Research*.
- Wernberg, Thomas, and others (2016). Climate-driven regime shift of a temperate marine ecosystem. *Science*, vol. 353, No. 6295, pp. 169–172.
- Wu, Paul Pao-Yen, and others (2018). Managing seagrass resilience under cumulative dredging affecting light: Predicting risk using dynamic Bayesian networks. *Journal of Applied Ecology*, vol. 55, No. 3, pp. 1339–1350.
- York, Paul H., and others (2017). Identifying knowledge gaps in seagrass research and management: an Australian perspective. *Marine Environmental Research*, vol. 127, pp. 163–172.
- Zimmerman, Richard C., and others. (2015) Predicting effects of ocean warming, acidification, and water quality on Chesapeake region eelgrass. *Limnology and Oceanography*, vol. 60, No. 5, pp.1781–1804.

Глава 7Н

Мангры

Участники: Жозе Соту Роза Филью (координатор), Колин Д. Вудрофф и Нахид Абдель Рахим Осман.

Ключевые тезисы

- Несмотря на экологическую и социально-экономическую важность мангровых лесов, особенно в качестве поглотителей углерода, их площадь ежегодно сокращается.
- В большинстве районов продолжается обезлесение, однако облесение и повторная посадка мангров на всех континентах частично снизили скорость утраты мангровых площадей: с примерно 2 до менее чем 0,4 процента в год.
- Главными угрозами для мангровых лесов являются рост плотности человеческих популяций и бесплановая застройка в прибрежной зоне.
- Глобальные климатические изменения, такие как подъем уровня моря и повышение температуры, вызывают экспансию мангров к полюсам и в глубь суши, сопровождающуюся кое-где их проникновением в соленые марши.
- Сохранению мангров помогли осуществление мероприятий на местах и заключение международных соглашений, однако успех таких начинаний сдерживался бюрократизмом и недостаточной решимостью со стороны местных, провинциальных и общенациональных органов власти и местных сообществ.

1. Введение

Мангры встречаются в 118 странах, занимают эстуарии и берега в тропических и субтропических регионах (Tomlinson, 2016) и являются обиталищем для 73 зафиксированных видов и гибридов, причем самым высоким разнообразием и наибольшей протяженностью они отличаются в Азии (Spalding, 2010). Мангры — это одна из ключевых экосистем на стыке моря и суши; они влияют на большинство видов человеческой деятельности, которые, в свою очередь, сказываются на них (United Nations, 2017b; Feller and others, 2017).

Хотя на долю мангровых лесов приходится всего 0,7 процента всех тропических лесов в мире, они обеспечивают людей морепродуктами, дровами и древесиной, а также предоставляют такие услуги, как защита побережья, перенос и секвестрация углерода и биоремедиация отходов, — что отмечалось в главе 48 первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017a). Наряду с этими товарами и услугами мангры предоставляют также культурные экосистемные услуги, которые являются важной частью жизни, жизненного уклада и культурной самобытности местных сообществ и главных заинтересованных сторон (Mitra, 2020a).

При всей своей экологической, социально-экономической и культурной ценности мангры числятся

среди наиболее угрожаемых экосистем на планете. Темпы уничтожения мангров в три-пять раз превышают средние темпы утраты лесов, и уже исчезло более четверти изначального мангрового покрова (United Nations Environment Programme (UNEP), 2014); Richards and Friess, 2016). Мангры продолжают испытывать деградацию, а в определенных регионах они совсем пропали; вместе с тем в других местах происходил их подъем, вызванный природоохранными инициативами, восстановительными усилиями, естественной регенерацией, а также экспансией, которая обусловлена изменением климата (Feller and others, 2017).

В районах, удаленных от прямых человеческих воздействий, наблюдались значительные изменения в протяженности мангров под влиянием экологических побудителей естественного происхождения (Rioja-Nieto and others, 2017; Lucas and others, 2018). Сполдинг и др. (Spalding and others, 1997) оценили всемирный мангровый покров в 181 000 км², тогда как Гири и др. (Giri and others, 2011) понизили эту цифру до 137 760 км², что сходно с оценками, представленными на сервисе Global Mangrove Watch (Bunting and others, 2018).

Главной угрозой для мангровых лесов является рост плотности человеческих популяций в прибрежной зоне, в частности когда он сопровождается бесплановой городской застройкой,

ведением аквакультуры, конверсией под сельскохозяйственные нужды, например под рисоводство, и чрезмерной лесозаготовкой (United Nations, 2017b; Ferreira and Lacerda, 2016; Thomas and others, 2018; Romañach and others, 2018). Вместе с тем с конца XX по начало XXI века общемировые темпы утраты мангров снизились с примерно 2 до менее чем 0,4 процента в год (Friess and others, 2019b, 2020).

За последнее десятилетие повысились качество и доступность данных об общемировом распространении мангров (Hamilton and Casey, 2016; Ferreira and Lacerda, 2016; Thomas and others, 2018; Romañach and others, 2018; Saintilan and others, 2019; Lucas and others, 2020), а также было развернуто много национальных инициатив (государственных и/или оформленных как государственно-частные партнерства), призванных лучше разобраться в изменениях, испытываемых манграми (Schaeffer-Novelli and others, 2016). Одним из основных подходов к оценке мангров стало использование спутниковых данных (Giri and others, 2011; Li and others, 2013; Duncan and

others, 2017; Jayakumar, 2019; Lymburner and others, 2019).

В последнее время появились платформы для облачных вычислений, например Google Earth Engine (Gorelick and others, 2017) и Amazon Web Services (Chen and others, 2017; Lucas and others, 2020), которые предлагают не только несколько петабайтов орбитальных и геопространственных данных, но и ресурсы для статистического анализа, позволяя надежнее рассчитать локальный, региональный и глобальный мангровый покров и происходящие с ним изменения за несколько лет подряд (Diniz and others, 2019).

В настоящей главе развиваются выкладки, приведенные в главе 48 первой «Оценки». Мангры относятся к морским растениям, рассматриваемым в главе 6G настоящей «Оценки», часто встречаются в эстуариях и дельтах, обсуждаемых в главе 7F, и имеют много общих характеристик с солеными маршами (гл. 7I) и лугами морских трав (гл. 7G).

2. Зафиксированные изменения в состоянии мангров с 2010 по 2020 год

Площадь, занятая манграми, во всем мире ежегодно сокращается. Состояние мангровых лесов варьируется в зависимости от страны и региона (Romañach and others, 2018). В большинстве районов продолжается обезлесение, однако облесение и повторная посадка мангров в некоторых местах снизили скорость утраты мангровых лесов (Li and others, 2013; Cavanaugh and others, 2014; Ferreira and Lacerda, 2016; Friess and others, 2019b, 2020). Аль-Махашир и др. (Almahasheer and others, 2016) зафиксировали 12-процентное увеличение мангровой площади в Красном море. В Новой Зеландии мангры за последние 50–80 лет быстро разрослись в результате ускоренного заполнения эстуариев отложениями и вертикальной аккреции ваттов (Horstman and others, 2018).

Во всех регионах, где они встречаются, зафиксирована утрата мангров из-за человеческой деятельности. Главным побудителем уничтожения мангров является увеличение плотности насе-

ления в прибрежной зоне (Branoff, 2017; Saifullah, 2017; Romañach and others, 2018). Наиболее частым проявлением человеческой деятельности на мангровых площадях была их конверсия под аквакультурные или сельскохозяйственные нужды (Thomas and others, 2018; см. гл. 16 настоящей «Оценки»). Другими факторами, связанными с утратой мангров, являются лесозаготовка, эрозия и седиментация (см. гл. 13), производство соли (Feller and others, 2017) и выпас скота (Ferreira and Lacerda, 2016; Thomas and others, 2018).

В некоторых сообществах мангры непопулярны: их присутствие нередко воспринимают как «нашествие» или считают «малоценным» (например: мангры «портят» красивый песчаный пляж, делая его илистым). Уничтожение мангров в Новой Зеландии осуществляется в основном местными сообществами (с согласия властей или явочным порядком) из-за недостаточной осведомленности людей или ведомств о ценностях мангров

либо из-за того, что выборные члены общенациональных или местных органов власти опасаются потерять поддержку избирателей.

Установлена также связь изменений в распределении мангров с глобальными климатическими изменениями (см. гл. 4 и 9). Речь идет, например, об экспансии мангров к полюсам и в глубь суши (Cavanaugh and others, 2014; Saintilan and others, 2019). Такой экспансии может препятствовать жесткая инфраструктура, наличие которой приводит к сужению приливной зоны, именуемому «прибрежным сжатием» (Leo and others, 2019). Экстремальные климатические явления могут приводить к усилению у мангров смертности, вызываемой крайне сильной засухой (Sippo and others, 2018), а увеличение насыщения диоксидом углерода и азотом может способствовать развитию другой растительности, подавляя тем самым рост мангровых проростков (McKee and Rooth, 2008; Zhang and others, 2012).

В 2015 и 2016 годах вдоль 1000-километрового участка южной части австралийского залива Карпентария был зафиксирован эпизод массовой суховершинности у мангров. Данный район заселен слабо, так что это событие было, по-видимому, связано с необычно длительным периодом, отмечавшимся сильнейшей засухой, беспрецедентно высокими температурами и временным падением уровня моря (Duke and others, 2017). В тот же промежуток времени сходные эпизоды суховершинности происходили и в других местах на севере Австралии (Asbridge and others, 2019).

2.1. Воздействие изменений на другие компоненты морской системы и взаимодействие с ними

2.1.1. Секвестрация углерода манграми

Мангры хорошо известны своей способностью аккумулировать большое количество углерода (Tomlinson, 2016; Donato and others, 2011, 2012; Estrada and Soares, 2017; Kauffman and others, 2018; Lagomasino and others, 2019), и на самом деле они секвестрируют в четыре раза больше углерода, чем тропические леса (Rovai and others, 2018; Twilley and others, 2018). Судя по недавним оценкам, глобальная биомасса мангров составляет от 1,91 до 2,83 петаграмма (Пг) (Hutchison and others,

2014a; Tang and others, 2018), а глобальный объем накопленного манграми углерода — 5,03 Пг (Simard and others, 2018). В глобальном масштабе средняя плотность наземной биомассы оценивается в 1,46 мегаграмма на км² (Tang and others, 2018). Роваи и др. (Rovai and others, 2018) спрогнозировали, что общемировой бюджет углерода в мангровых почвах составляет 2,26 Пг. В 2012 году объем углерода, накопленного манграми, составлял во всем мире 4,19 Пг, причем более чем на 50 процентов эта цифра приходилась на Бразилию, Индонезию, Малайзию и Папуа — Новую Гвинею (Hamilton and Friess, 2018).

2.1.2. Утрата биоразнообразия

Мангры относятся к самым продуктивным экосистемам в мире (Alongi, 2008) и производят большое количество мусора (опавшие листья, отвалившиеся ветви и др.), который используется разнообразной фауной. Такие части мангровых деревьев, как воздушные корни, стволы, ветви, пневматофоры и листья, служат твердым субстратом для множества беспозвоночных и растений (Hogarth, 2015; Rosa Filho and others, 2018). Наряду с существенным вкладом мангров в морские экосистемы стоит отметить и то, что мангры используются более чем 400 видами сухопутных млекопитающих, амфибий и пресмыкающихся по всему миру (Rog and others, 2016), предоставляя им рефугиум от антропогенных возмущений. Глобальный упадок мангровых местообитаний негативно сказался на биоразнообразии, обращаясь каскадными последствиями для естественного функционирования других (ассоциированных) эстуарных и прибрежных экосистем и влияя тем самым на как минимум три критически значимые экосистемные услуги: количество жизнеспособных рыбных промыслов (сокращение на 33 процента); предоставление мест нагула (сокращение на 69 процентов); детоксикация, обеспечиваемая водно-болотными угодьями (сокращение на 63 процента) (Worm and others, 2006; Barbier and others, 2011).

2.1.3. Воздействие на популяции беспозвоночных и рыб в прилегающих местообитаниях

Высокая первичная продуктивность и сложность среды обитания в мангровых лесах дела-

ют их важными ареалами для личинок и молоди беспозвоночных и рыб (Saenger and others, 2012; Lee and others, 2014). Некоторым видам ракообразных и рыб, обитающим в реках, в прибрежных океанских акваториях или на коралловых рифах, мангры необходимы как места для размножения и/или роста молоди (Sheaves and others, 2012; Bertini and others, 2014; Hogarth, 2015). В ряде стран некоторые мангровые ракообразные и моллюски не только экологически важны, но и имеют высокую экономическую и культурную ценность (Abdullah and others, 2016; Beitzl, 2018; Figueira and others, 2020). За последние годы достигнут значительный прогресс в том, что касается биоиска микробов мангрового происхождения (Mitra, 2020b) и первичной продукции микрофитобентоса в мангровых лесах (Kwon and others, 2020).

2.1.4. Снижение защищенности побережья

Благодаря плотности своих стволов и корневых систем, включающих пневматофоры и ходульные корни, мангры могут непосредственно ослаблять волны, усиливая тем самым сопротивление, оказываемое волновой энергией. Сложные корневые системы мангров, играющие важную роль в стабилизации отложений, позволяют также смягчать воздействие штормовых нагонов и цунами на участки суши, отстоящие

дальше от берега (Marois and Mitsch, 2015; Sheng and Zou, 2017). Во Вьетнаме защитная кайма из мангров была в последние десятилетия утрачена, причем поначалу причиной была дефолиация гербицидами, а затем — конверсия под аквакультурные нужды и под застройку побережья (Phan and others, 2015; Thinh and Hens, 2017; Truong and others, 2017; Fagherazzi and others, 2017; Veettil and others, 2019).

2.1.5. Вытеснение соленых маршей

Экспансия мангров к полюсам и в глубь суши из-за повышения температур и подъема уровня моря происходила в ущерб соленым маршам, что зафиксировано уже в нескольких регионах (Record and others, 2013; Saintilan and others, 2014, 2019; Kelleway and others, 2016; Hickey and others, 2017; Feller and others, 2017; Osland and others, 2017). Экспансия мангров в прилегающие соленые марши там, где эти два типа водно-болотных угодий встречаются вместе, продолжается (Yando and others, 2016; Pérez and others, 2017), что может привести как к увеличению объемов накапливаемого углерода, так и к изменениям в ассоциированной фауне (Smeets and others, 2017). При этом в некоторых случаях остается неясным, объясняется ли происходящее изменением климата или другими антропогенными причинами (Boon, 2017).

3. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия

Повсюду в тропиках мангры играют важную культурную и социально-экономическую роль для человеческих сообществ (Walters and others, 2008; UNEP, 2014). Экосистемные услуги, предоставляемые во всем мире манграми и литоральными маршами, оценены в 19,4 долл. США на км² за год (Costanza and others, 2014). Последствия уничтожения мангровых лесов выражаются прежде всего в утрате биоразнообразия и в том, как она сказывается на добыче рыбы, моллюсков и беспозвоночных, а также в снижении защищенности побережья, которое сказывается на прибрежных сооружениях и прилегающих морских местообитаниях, однако список таких последствий этим не ограничивается (Bertini and others, 2014; Hogarth, 2015; Sheng and Zou, 2017).

Сокращение мангровых площадей приведет к снижению первичной продукции мангров, а также к сокращению биоразнообразия и численности приуроченной к ним фауны и скажется поэтому на рыболовной деятельности в прибрежных акваториях и в открытом море. Глобальный метаанализ, задуманный для формальной и статистической проверки соотношения между состоянием мангров и уловами морских рыбных ресурсов, показал, что первое сильно влияет на второе, причем в самой различной мангровой обстановке по всему миру (Carrasquilla-Henau and Juanes, 2017). Подсчитано, что каждый мангровый гектар дает рыбы на сумму 0,2–12 305 долл. США и смешанных видов на сумму 17,5–3412 долл. США (Hutchison and others, 2014b).

Исследования показали, что мангры способны защищать прибрежные районы и местообитания (коралловые рифы и/или луга морских трав) от волн, циклонов, цунами и наводнений (Marois and Mitsch, 2015; Sheng and Zou, 2017; Veettil and others, 2019). Дробление мангров значительно снизит их роль в защите побережья (Lee and others, 2019). Каждые 100 м полностью сформированной мангровой каймы могут ослаблять волновую энергию на 20 процентов (Mazda and others, 2006). Мангры также оказывают значительное влияние на масштабность наводнений и на ущерб от затопления побережья. Подсчитано, что если бы все мангры погибли, то население, ежегодно страдающее от наводнений, увеличилось бы в среднем на 18 млн человек, т. е. почти на 40 процентов, а ежегодный ущерб имуществу увеличился бы на 16 процентов, достигнув 82 млрд долл. США (Reguero and others, 2018).

Всё еще плохо уяснены последствия прогнозируемой мангровой экспансии. Исследовательское моделирование показало, что изменение климата будет приводить к сдвигам видовых ареалов, расширяя географическое распространение некоторых видов и увеличивая количество видов, присутствующих в некоторых районах (Record and others, 2013; Saintilan and others, 2014, 2019; Simard and others, 2018). Эти изменения могут вызвать увеличение первичной продукции и усложнение местообитаний в прибрежных районах, где в настоящее время мангров нет, что, в свою очередь, может способствовать локальному биоразнообразию, рыболовной деятельности и защите побережья (Lee and others, 2014).

Выводы локальных исследований, посвященных секвестрации углерода манграми, часто расходятся с выводами регионального моделирования их вероятной реакции (Hayes and others, 2017; Sasmito and others, 2020). За короткое время мо-

жет быть трудно обнаружить повышение вклада мангров в накопление «голубого углерода», происходящее благодаря их экспансии (Rogers and others, 2019a), однако более длительные периоды позволяют заметить, что подъем уровня моря, по-видимому, усиливает подземную секвестрацию углерода в увлажненных почвах на заливаемых приливом участках побережья (Krauss and others, 2017; Rogers and others, 2019b). Распоряжение мангровыми территориями не всегда опирается на результаты исследований; если территориальные управленцы нередко усматривают ключевые угрозы в антропогенных возмущениях, то основная масса исследований посвящена, напротив, природным возмущениям, включая изменение климата и подъем уровня моря (Cantu and others, 2018). Хотя подъем уровня моря считают серьезной угрозой для мангровых побережий (Lovelock and others, 2015), выясняется, что его воздействие можно компенсировать (по крайней мере частично), быстро подпитывая наносами почвенный слой под манграми (Woodroffe and others, 2016; Schuerch and others, 2018).

В силу их тесной связи с прибрежным рыболовством мангры имеют особую значимость для достижения цели 14 в области устойчивого развития (сохранение морских экосистем)¹. Они также могут способствовать достижению других целей, в том числе 2 (ликвидация голода) и 13 (борьба с изменением климата), посредством предоставления экосистемных услуг, таких как наличие рыбных промыслов, а также путем секвестрации и хранения углерода (Friess and others, 2019b). Достижение еще нескольких целей, в том числе 1 (ликвидация нищеты), 11 (устойчивые города и населенные пункты) и 15 (сохранение экосистем суши), должно принести пользу местным сообществам, чей жизненный уклад напрямую или опосредованно зависит от мангров.

4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)

Как указывалось в предыдущих разделах, занимаемая манграми площадь повсеместно сокращается, приводя к серьезным экономическим, экологическим и социальным последствиям

(Lee and others, 2014; Branoff, 2017; Saifullah, 2017; Romañach and others, 2018; Mitra, 2020a). Во всем мире манграм угрожает опасность, в значительной степени вызванная антропогенными

¹ См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

воздействиями, включая лесозаготовку, конверсию под аквакультурные и сельскохозяйственные нужды, урбанизацию, загрязнение и изменение климата (UNEP, 2014; Ward and others, 2016; Thomas and others, 2018).

В своей влиятельной работе, предупреждавшей о «мире без мангров», Дьюк и др. (Duke and others, 2007) предсказали, что если ничего не делать, то мир может лишиться мангров и их экосистемных услуг к концу XXI века. С тех пор в восстановление и насаждение мангров были вложены колоссальные усилия, включая осуществление мероприятий на местах и заключение международных соглашений (Feller and others, 2017). С конца XX по начало XXI века общемировые темпы утраты мангров резко упали (Friess and others, 2019b). Благодаря таким результатам появились рассуждения о том, что в деле сохранения мангров пессимистическая траектория, возможно, и вправду сменилась на более оптимистическую (Friess and others, 2020).

Однако, несмотря на недавние успехи в сохранении мангров, пока еще слишком рано делать вывод об общем ослаблении утраты мангровых площадей, поскольку эти успехи распределены в мире неравномерно. В некоторых странах Юго-Восточной Азии происходит уничтожение мангров со скоростью от 0,41 до 0,70 процента в год (Friess and others, 2019b). Кроме того, начинают появляться новые рубежи обезлесения — в регионах, где ранее значительной утраты мангров не отмечалось, в частности в Юго-Восточной Азии и Западной Африке (Friess and others, 2020).

Применение различных национальных и международных инструментов природоохранной политики способствовало тому, что некоторым странам удалось сократить утрату мангровых площадей или увеличить их (Ferreira and Lacerda, 2016; Friess and others, 2019a, 2020). Например, в Бразилии 75 процентов мангров оставались

стабильными в течение двух и более десятилетий, 10 — в течение одного-двух десятилетий, а 15 — в течение 10 или менее лет (Diniz and others, 2019). Анализ разновременных данных Landsat (1972, 2000 и 2013 годы) показал, что площадь мангрового покрова в Красном море увеличивалась примерно на 0,29 процента в год, а с 1972 по 2013 год, т. е. за 41 год, она увеличилась в общей сложности на 12 процентов (Almahasheer and others, 2016).

В некоторых регионах наряду с восстановлением, происходящим при содействии человека, зафиксирован и естественный рост мангровых популяций. Более 15 процентов участков, очищенных от мангров в Юго-Восточной Азии с 2000 по 2012 год, вновь стали мангровыми (Friess and others, 2019b), что произошло отчасти в результате естественной колонизации. Эпизодическая мангровая колонизация привела также к увеличению мангровых площадей на северном побережье Южной Америки (Gardel and others, 2011) и на побережье новозеландского залива Ферт-оф-Темс (Swales and others, 2015).

Изменение климата, прежде всего повышение температуры, сокращение эпизодов низкой температуры и замерзания, а также изменения в доступности воды (Saintilan and others, 2014; Cavanaugh and others, 2014), способствовало экспансии мангров к полюсам, что уже зафиксировано в Австралии, Китае, Мексике (тихоокеанское побережье), Перу, Соединенных Штатах (атлантическое побережье) и Южной Африке (Saintilan and others, 2014, 2019; Cavanaugh and others, 2014; Osland and others, 2017; Smeets and others, 2017). Увеличение занимаемой манграми площади на краю их ареала вряд ли приведет к радикальному увеличению их глобальной площади, однако может внести существенный вклад в распространенность мангров в этих местах (Friess and others, 2019a).

5. Перспективы

Опираясь на ныне имеющуюся информацию, которая указывает на континуум человеческих действий, приводивших к утрате мангровых лесов в большинстве районов мира, можно прогнозировать продолжающееся сокращение

мангровых площадей (Friess and others, 2020). Скорость уничтожения мангров может снизиться там, где реализуются лесовосстановительные инициативы и осуществляются хозяйственные и природоохранные меры.

В результате дальнейшего уничтожения мангров ожидается снижение продуктивности в эстуарных районах, что будет иметь каскадный эффект. Соответственно, можно ожидать продолжающейся утраты биоразнообразия в прибрежных районах, включая мангры, луга морских трав и коралловые рифы. Ввиду той роли, которую мангры играют в качестве мест нагула для беспозвоночных и рыб, можно также ожидать сокращения уловов рыбы, ракообразных и моллюсков не только в прибрежных акваториях, но и в открытом море (El-Regal and Ibrahim, 2014). Это может привести к дальнейшему увеличению экономических потерь из-за отсутствия мангров.

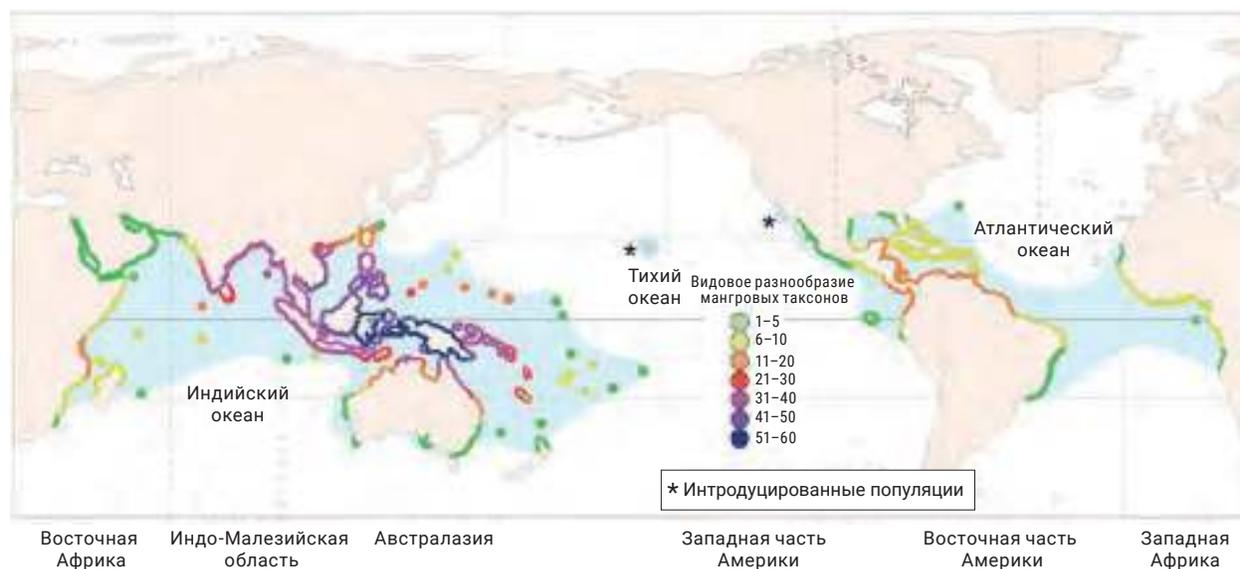
Полная или частичная (потеря структуры) гибель мангров — будь то естественная, например в результате проседания из-за землетрясений (Albert and others, 2017), или антропогенная — ослабит выполнении ими такой функции, как защита побережья. Утрата мангров приведет, скорее всего, к повышению ущерба от циклонов (Cavanaugh and others, 2014; Asbridge and others, 2018; Montgomery and others, 2019; Zhang and others, 2020), цунами и наводнений (Asbridge and others, 2016; Menéndez and others, 2020), что увеличит затраты на восстановление и поддержание прибрежных сооружений, а также усилит угрозу для жизни людей, проживающих вблизи побережья.

6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала

Для изучения мангровых лесов разработан целый ряд новых методик, включая использование наземных, авиационных и спутниковых датчиков (Kamal and Phinn, 2011; Koedsin and Vaiphasa, 2013; Zhu and others, 2015; Mackenzie and others, 2016; Olagoke and others, 2016; Duncan and others, 2017; Owers and others, 2018; Warfield and Leon, 2019; Wang and others, 2020). Вместе с тем сохраняется нехватка надежных съемок, показывающих со-

стояние мангров в глобальном и региональном масштабах, а методам оценки мангров недостает стандартизации. В последнее время наблюдаются подвижки к устранению этих пробелов в знаниях, особенно в Южной Америке и Юго-Восточной Азии, однако требуются дальнейшие исследования, которые позволяли бы ученым выяснить процессы, влияющие как на уязвимость, так и на устойчивость к изменению климата

Карта глобального распространения мангров (места, затененные голубым цветом), показывающая их разнообразие в виде количества конкретных таксонов (виды и номинальные гибриды)



Источник: UNEP, 2014.

(Ward and others, 2016). Этот пробел еще более заметен в беднейших развивающихся странах.

Насчитывается мало детальных (отдельные таксономические группы, большие временные и пространственные масштабы) исследований, демонстрирующих взаимосвязанность между мангровыми лесами и биоразнообразием прилегающих прибрежных сред, а также задействованные в этом механизмы (Saunders and others, 2014). Необходимо и дальше исследовать устойчивость прилегающих местообитаний (маршей, лугов морских трав, коралловых рифов) и взаимоотношения между ними, а также соотношение между манграми и уловами морских рыбных ресурсов в прибрежных акваториях и в открытом океане, чтобы расширять возможности тех, кто распоряжается прибрежной зоной, и наделять

местные сообщества способностью эффективнее сохранять такие ресурсы.

Что касается формирования потенциала, то сохраняется пробел в деле восстановления деградированных мангров и заброшенных аквакультурных прудов на бывших мангровых участках (Paul and others, 2017; Worthington and Spalding, 2018; Van Bijsterveldt and others, 2020). Восстановление мангровых участков необходимо применять более широко; в некоторых случаях восстановительные усилия обуславливались в большей степени экономическими стимулами, чем природоохранными целями (Aheto and others, 2016). Более широкое восстановление способно существенно оздоровить мангровые популяции по всей протяженности тропиков.

Справочная литература

- Abdullah, Abu Nasar, and others (2016). Economic dependence on mangrove forest resources for livelihoods in the Sundarbans, Bangladesh. *Forests Policy and Economics*, vol. 64, pp. 15–24.
- Aheto, Denis Worlanyo, and others (2016). Community-based mangrove forest management: implications for local livelihoods and coastal resource conservation along the Volta estuary catchment area of Ghana. *Ocean & Coastal Management*, vol. 127, pp. 43–54.
- Albert, Simon, and others (2017). Winners and losers as mangrove, coral and seagrass ecosystems respond to sea-level rise in Solomon Islands. *Environmental Research Letters*, vol. 12, No. 9, 094009.
- Almahasheer, Hanan, and others (2016). Decadal stability of Red Sea mangroves. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 169, pp. 164–172.
- Alongi, Daniel M. (2008). Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 76, No. 1, pp. 1–13.
- Asbridge, Emma, and others (2016). Mangrove response to environmental change in Australia's Gulf of Carpentaria. *Ecology and Evolution*, vol. 6, No. 11, pp. 3523–3539.
- Asbridge, Emma, and others (2018). The extent of mangrove change and potential for recovery following severe Tropical Cyclone Yasi, Hinchinbrook Island, Queensland, Australia. *Ecology and Evolution*, vol. 8, No. 21, pp. 10416–10434.
- Asbridge, Emma, and others (2019). Assessing the distribution and drivers of mangrove dieback in Kakadu National Park, northern Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 228, art. 106353.
- Barbier, Edward B., and others (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, vol. 81, No. 2, pp. 169–193.
- Beitl, Christine (2018). Rights-based Approaches in Ecuador's Fishery for Mangrove Cockles. In *FAO Case Study for Tenure and User Rights in Fisheries (2018)*. *Proceedings*.
- Bertini, Giovana, and others (2014). A test of large-scale reproductive migration in females of the amphidromous shrimp *Macrobrachium acanthurus* (Caridea: Palaemonidae) from south-eastern Brazil. *Marine and Freshwater Research*, vol. 65, No. 1, pp. 81–93.

- Boon, Paul I. (2017). Are mangroves in Victoria (south-eastern Australia) already responding to climate change? *Marine and Freshwater Research*, vol. 68, No. 12, pp. 2366–2374.
- Branoff, Benjamin L. (2017). Quantifying the influence of urban land use on mangrove biology and ecology: a meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 26, No. 11, pp. 1339–1356.
- Bunting, Pete, and others (2018). The global mangrove watch – a new 2010 global baseline of mangrove extent. *Remote Sensing*, vol. 10, No. 10, art. 1669.
- Canty, Steven W.J., and others (2018). Dichotomy of mangrove management: a review of research and policy in the Mesoamerican reef region. *Ocean & Coastal Management*, vol. 157, pp. 40–49.
- Carrasquilla-Henao, Mauricio, and Francis Juanes (2017). Mangroves enhance local fisheries catches: a global meta-analysis. *Fish and Fisheries*, vol. 18, No. 1, pp. 79–93.
- Cavanaugh, Kyle C., and others (2014). Poleward expansion of mangroves is a threshold response to decreased frequency of extreme cold events. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, No. 2, pp. 723–727.
- Chen, Xiuhong, and others (2017). Running climate model on a commercial cloud computing environment: a case study using Community Earth System Model (CESM) on Amazon AWS. *Computers & Geosciences*, vol. 98, pp. 21–25.
- Costanza, Robert, and others (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, vol. 26, pp. 152–158.
- Diniz, Cesar, and others (2019). Brazilian Mangrove Status: Three Decades of Satellite Data Analysis. *Remote Sensing*, vol. 11, No. 7, art. 808.
- Donato, Daniel C., and others (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, vol. 4, No. 5, pp. 293–297.
- Donato, Daniel C., and others (2012). Whole-island carbon stocks in the tropical pacific: implications for mangrove conservation and upland restoration. *Journal of Environmental Management*, vol. 97, pp. 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.12.004>.
- Duke, Norman C., and others (2007). A world without mangroves? *Science*, vol. 317, pp. 41–42.
- Duke, Norman C., and others (2017). Large-scale dieback of mangroves in Australia’s Gulf of Carpentaria: a severe ecosystem response, coincidental with an unusually extreme weather event. *Marine and Freshwater Research*, vol. 68, No. 10, pp. 1816–1829.
- Duncan, Clare, and others (2017). Satellite remote sensing to monitor mangrove forest resilience and resistance to sea level rise. *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 9, No. 8, pp. 1837–52. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12923>.
- El-Regal, Mohamed A. Abu, and Nesreen K. Ibrahim (2014). Role of mangroves as a nursery ground for juvenile reef fishes in the southern Egyptian Red Sea. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, vol. 40, No. 1, pp. 71–78.
- Estrada, Gustavo C.D., and Mario L.G. Soares (2017). Global patterns of aboveground carbon stock and sequestration in mangroves. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, vol. 89, No. 2, pp. 973–989.
- Fagherazzi, Sergio, and others (2017). Buried alive or washed away: the challenging life of mangroves in the Mekong Delta. *Oceanography*, vol. 30, No. 3, pp. 48–59.
- Feller, Ilka C., and others (2017). The state of the world’s mangroves in the 21st century under climate change. *Hydrobiologia*, vol. 803, No. 1, pp. 1–12.
- Ferreira, Alexander Cesar, and Luiz Drude Lacerda (2016). Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectives. *Ocean & Coastal Management*, vol. 125, pp. 38–46.
- Friess, Daniel A., and others (2019a). SDG 14: Life below Water – Impacts on Mangroves. In *Sustainable Development Goals: Their Impacts on Forests and People*, P. Katila and others, eds., pp. 445–481. Cambridge: Cambridge University Press.

- Friess, Daniel A., and others (2019b). The state of the world's mangrove forests: past, present, and future. *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 44, pp. 89–115.
- Friess, Daniel A., and others (2020). Mangroves give cause for conservation optimism, for now. *Current Biology*, vol. 30, No. 4, pp. R153–R154.
- Gardel, Antonie, and others (2011). Wave-formed mud bars: their morphodynamics and role in opportunistic mangrove colonization. *Journal of Coastal Research*, Special issue 64: Proceedings of the 11th International Coastal Symposium, pp. 384–387.
- Giri, Chandra, and others (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 20, No. 1, pp. 154–159.
- Gorelick, Noel, and others (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, vol. 202, pp. 18–27.
- Hamilton, Stuart E., and Daniel Casey (2016). Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21). *Global Ecology and Biogeography*, vol. 25, No. 6, pp. 729–738.
- Hamilton, Stuart E., and Daniel A. Friess (2018). Global carbon stocks and potential emissions due to mangrove deforestation from 2000 to 2012. *Nature Climate Change*, vol. 8, No. 3, pp. 240–244.
- Hayes, Matthew A., and others (2017). Dynamics of sediment carbon stocks across intertidal wetland habitats of Moreton Bay, Australia. *Global Change Biology*, vol. 23, No. 10, pp. 4222–4234.
- Hickey, Sharyn M., and others (2017). Is climate change shifting the poleward limit of mangroves? *Estuaries and Coasts*, vol. 40, No. 5, pp. 1215–1226.
- Hogarth, Peter J. (2015). *The Biology of Mangroves and Seagrasses*. 3rd ed. Oxford University Press.
- Horstman, Erik M., and others (2018). The dynamics of expanding mangroves in New Zealand. *Threats to Mangrove Forests: Hazards, Vulnerability, and Management*, C. Makowski and C.W. Finkl, eds., pp. 23–52. Springer.
- Hutchison, James, and others (2014a). Predicting global patterns in mangrove forest biomass. *Conservation Letters*, vol. 7, No. 3, pp. 233–240.
- Hutchison, James, and others (2014b). *The Role of Mangroves in Fisheries Enhancement*. The Nature Conservancy and Wetlands International.
- Jayakumar, K. (2019). Chapter 15 – Managing Mangrove Forests Using Open Source-Based WebGIS. In *Coastal Management*, R.R. Krishnamurthy, and others, eds., pp. 301–21. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810473-6.00016-9>.
- Kamal, Muhammad, and Stuart Phinn (2011). Hyperspectral data for mangrove species mapping: a comparison of pixel-based and object-based approach. *Remote Sensing*, vol. 3, No. 10, pp. 2222–2242.
- Kauffman, J. Boone, and others (2018). Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. *Biology Letters*, vol. 14, No. 9, 20180208. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0208>.
- Kelleway, Jeffrey J., and others (2016). Seventy years of continuous encroachment substantially increases 'blue carbon' capacity as mangroves replace intertidal salt marshes. *Global Change Biology*, vol. 22, No. 3, pp. 1097–1109.
- Kwon, Bong-Oh, and others (2020). Spatiotemporal variability in microphytobenthic primary production across bare intertidal flat, saltmarsh, and mangrove forest of Asia and Australia. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 151, p. 110707
- Koedsin, Werapong, and Chaichoke Vaiphasa (2013). Discrimination of tropical mangroves at the species level with EO-1 Hyperion data. *Remote Sensing*, vol. 5, No. 7, pp. 3562–3582.
- Krauss, Ken W., and others (2017). Created mangrove wetlands store belowground carbon and surface elevation change enables them to adjust to sea-level rise. *Scientific Reports*, vol. 7, No. 1, pp. 1–11.
- Lagomasino, David, and others (2019). Measuring mangrove carbon loss and gain in deltas. *Environmental Research Letters*, vol. 14, No. 2, 025002.

- Lee, Shing Yip, and others (2014). Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: a reassessment. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 23, No. 7, pp. 726–43. <https://doi.org/10.1111/geb.12155>.
- Lee, Shing Yip, and others (2019). Better restoration policies are needed to conserve mangrove ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*, vol. 3, No. 6, pp. 870–872.
- Leo, Kelly L., and others (2019). Coastal habitat squeeze: a review of adaptation solutions for saltmarsh, mangrove and beach habitats. *Ocean & Coastal Management*, vol. 175, pp. 180–190.
- Li, Mingshi S., and others (2013). Change and fragmentation trends of Zhanjiang mangrove forests in southern China using multi-temporal Landsat imagery (1977–2010). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 130, pp. 111–120.
- Lovelock, Catherine E., and others (2015). The vulnerability of Indo-Pacific mangrove forests to sea-level rise. *Nature*, vol. 526, No. 7574, pp. 559–563.
- Lucas, Richard and others (2018). Historical perspectives on the mangroves of Kakadu National Park. *Marine and Freshwater Research*, vol. 69, No. 7, pp. 1047–1063.
- Lucas, Richard and others (2020). Structural characterisation of mangrove forests achieved through combining multiple sources of remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, vol. 237, p. 111543.
- Lymburner, Leo, and others (2019). Mapping the multi-decadal mangrove dynamics of the Australian coastline. *Remote Sensing of Environment*, vol. 238, 111185.
- MacKenzie, Richard A., and others (2016). Sedimentation and belowground carbon accumulation rates in mangrove forests that differ in diversity and land use: a tale of two mangroves. *Wetlands Ecology and Management*, vol. 24, No. 2, pp. 245–261.
- Marois, Darryl E., and William J. Mitsch (2015). Coastal protection from tsunamis and cyclones provided by mangrove wetlands – a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, vol. 11, No. 1, pp. 71–83.
- Mazda, Yoshihiro, and others (2006). Wave reduction in a mangrove forest dominated by *Sonneratia* sp. *Wetlands Ecology and Management*, vol. 14, No. 4, pp. 365–378.
- McKee, Karen, and Jill E. Rooth (2008). Where temperate meets tropical: multi-factorial effects of elevated CO₂, nitrogen enrichment, and competition on a mangrove-salt marsh community. *Global Change Biology*, vol. 14, No. 5, pp. 971–984.
- Menéndez, Pelayo, and others (2020). The global flood protection benefits of mangroves. *Scientific Reports*, vol. 10, No. 1, pp. 1–11.
- Mitra, Abhijit (2020a). Mangroves: A Natural Ecosystem of Cultural and Religious Convergence. In *Mangrove Forests in India*, pp. 337–352. Cham, Switzerland: Springer.
- _____ (2020b). Ecosystem services of mangroves: an overview. In *Mangrove Forests in India*, pp. 1–32. Cham, Switzerland: Springer.
- Montgomery, John M., and others (2019). Attenuation of storm surges by coastal mangroves. *Geophysical Research Letters*, vol. 46, No. 5, pp. 2680–2689.
- Olagoke, Adewole, and others (2016). Extended biomass allometric equations for large mangrove trees from terrestrial LiDAR data. *Tree*, vol. 30, No. 3, pp. 935–947.
- Osland, Michael J. (2017). Mangrove expansion and contraction at a poleward range limit: climate extremes and land-ocean temperature gradients. *Ecology*, vol. 98, No. 1, pp. 125–137.
- Owers, Christopher J., and others (2018). Terrestrial laser scanning to quantify above-ground biomass of structurally complex coastal wetland vegetation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 204, pp. 164–176.
- Paul, Ashis K., and others (2017). Mangrove degradation in the Sundarbans. In *Coastal Wetlands: Alteration and Remediation*, pp. 357–392. Springer.

- Pérez, Alexander, and others (2017). Changes in organic carbon accumulation driven by mangrove expansion and deforestation in a New Zealand estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 192, pp. 108–116.
- Phan, Linh K., and others (2015). Coastal mangrove squeeze in the Mekong Delta. *Journal of Coastal Research*, vol. 31, No. 2, pp. 233–243.
- Record, S., and others (2013). Projecting global mangrove species and community distributions under climate change. *Ecosphere*, vol. 4, No. 3, art. 34. <https://doi.org/10.1890/ES12-00296.1>.
- Richards, Daniel R., and Daniel A. Friess (2016). Rates and drivers of mangrove deforestation in Southeast Asia, 2000–2012. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, No. 2, pp. 344–349.
- Rioja-Nieto, Rodolfo, and others (2017). Environmental drivers of decadal change of a mangrove forest in the North coast of the Yucatan peninsula, Mexico. *Journal of Coastal Conservation*, vol. 21, No. 1, pp. 167–175.
- Rog, Stefanie M., and others (2016). More than marine: revealing the critical importance of mangrove ecosystems for terrestrial vertebrates. *Diversity and Distributions*, vol. 23, No. 2, pp. 221–230.
- Rogers, Kerrylee, and others (2019a). Mangrove dynamics and blue carbon sequestration. *Biology Letters*, vol. 15, No. 3, 20180471.
- Rogers, Kerrylee, and others (2019b). Wetland carbon storage controlled by millennial-scale variation in relative sea-level rise. *Nature*, vol. 567, No. 7746, pp. 91–95.
- Romañach, Stephanie S., and others (2018). Conservation and restoration of mangroves: global status, perspectives, and prognosis. *Ocean & Coastal Management*, vol. 154, pp. 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.01.009>.
- Rosa Filho, José Souto, and others (2018). Benthic Estuarine Assemblages of the Brazilian North Coast (Amazonia Ecoregion). In *Brazilian Estuaries: A Benthic Perspective*, Paulo da Cunha Lana and Angelo Fraga Bernardino, eds., pp. 39–74. Cham, Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77779-5_2.
- Rovai, André S., and others (2018). Global controls on carbon storage in mangrove soils. *Nature Climate Change*, vol. 8, No. 6, pp. 534–538.
- Saenger, Peter, and others (2012). *A Review of Mangrove and Seagrass Ecosystems and Their Linkage to Fisheries and Fisheries Management*. Bangkok: FAO Regional Office for Asia and the Pacific.
- Saifullah, S.M. (2017). The effect of global warming (climate change) on mangroves of Indus Delta with relevance to other prevailing anthropogenic stresses a critical review. *European Academic Research*, vol. 5, pp. 2110–2138.
- Saintilan, Neil, and others (2014). Mangrove expansion and salt marsh decline at mangrove poleward limits. *Global Change Biology*, vol. 20, No. 1, pp. 147–157.
- Saintilan, Neil, and others (2019). Climate change impacts on the coastal wetlands of Australia. *Wetlands*, vol. 39, No. 6, pp. 1145–1154.
- Sasmito, Sigit D., and others (2020). Mangrove blue carbon stocks and dynamics are controlled by hydrogeomorphic settings and land-use change. *Global Change Biology*, vol. 26, No. 5, pp. 3028–3039.
- Saunders, Megan I., and others (2014). Interdependency of tropical marine ecosystems in response to climate change. *Nature Climate Change*, vol. 4, No. 8, pp. 724–729.
- Schaeffer-Novelli, Yara, and others (2016). Climate changes in mangrove forests and salt marshes. *Brazilian Journal of Oceanography*, vol. 64, No. Spe2, pp. 37–52.
- Sheaves, Marcus, and others (2012). Importance of estuarine mangroves to juvenile banana prawns. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 114, pp. 208–219.

- Sheng, Y. Peter, and Ruizhi Zou (2017). Assessing the role of mangrove forest in reducing coastal inundation during major hurricanes. *Hydrobiologia*, vol. 803, No. 1, pp. 87–103.
- Simard, Marc, and others (2018). Mangrove canopy height globally related to precipitation, temperature and cyclone frequency. *Nature Geoscience*, vol. 12, No. 1, pp. 40–45.
- Sippo, James Z., and others (2018). Mangrove mortality in a changing climate: an overview. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 215, pp. 241–249.
- Smee, Delbert L., and others (2017). Mangrove expansion into salt marshes alters associated faunal communities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 187, pp. 306–313.
- Spalding, Mark (2010). *World Atlas of Mangroves*. Routledge.
- Spalding, M.D., and others (1997). *World Mangrove Atlas*. Okinawa, Japan: The International Society for Mangrove Ecosystems.
- Swales A., and others (2015). Mangrove-forest evolution in a sediment-rich estuarine system: opportunists or agents of geomorphic change? *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 40, No. 1, pp. 1672–1687.
- Tang, Wenwu, and others (2018). Big geospatial data analytics for global mangrove biomass and carbon estimation. *Sustainability*, vol. 10, No. 2, art. 472.
- Thinh, Nguyen An, and Luc Hens (2017). A Digital Shoreline Analysis System (DSAS) applied on mangrove shoreline changes along the Giao Thuy coastal area (Nam Dinh, Vietnam) during 2005–2014. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, vol. 39, No. 1, pp. 87–96.
- Thomas, Nathan, and others (2018). Mapping mangrove extent and change: a globally applicable approach. *Remote Sensing*, vol. 10, No. 9, art. 1466.
- Tomlinson, P. Barry (2016). *The Botany of Mangroves*. 2nd ed. Cambridge University Press.
- Truong, Son Hong, and others (2017). Estuarine mangrove squeeze in the Mekong Delta, Vietnam. *Journal of Coastal Research*, vol. 33, No. 4, pp. 747–763.
- Twilley, Robert R., and others (2018). Coastal morphology explains global blue carbon distributions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 16, No. 9, pp. 503–508.
- United Nations (2017a). Chapter 48: Mangroves. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2014). *The Importance of Mangroves to People: A Call to Action*. Hanneke van Lavieren and others, eds. Cambridge: United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre.
- Van Bijsterveldt, Celine E.J., and others (2020). How to restore mangroves for greenbelt creation along eroding coasts with abandoned aquaculture ponds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 235, art. 106576. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106576>.
- Walters, Bradley B., and others (2008). Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: a review. *Aquatic Botany*, vol. 89, No. 2, pp. 220–236.
- Wang, Dezhi, and others (2020). Estimating aboveground biomass of the mangrove forests on northeast Hainan Island in China using an upscaling method from field plots, UAV-LiDAR data and Sentinel-2 imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 85, 101986.
- Ward, Raymond D., and others (2016). Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. *Ecosystem Health and Sustainability*, vol. 2, No. 4, art. e01211.
- Warfield, Angus D., and Javier X. Leon (2019). Estimating Mangrove Forest Volume Using Terrestrial Laser Scanning and UAV-Derived Structure-from-Motion. *Drones*, vol. 3, No. 2, art. 32.

- Woodroffe, Colin D., and others (2016). Mangrove sedimentation and response to relative sea-level rise. *Annual Review of Marine Science*, vol. 8, pp. 243–266.
- Worm, Boris, and others (2006). Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, vol. 314, No. 5800, pp. 787–790.
- Worthington, Thomas, and Mark Spalding (2018). *Mangrove Restoration Potential: A Global Map Highlighting a Critical Opportunity*.
- Yando, Erik S., and others (2016). Salt marsh-mangrove ecotones: using structural gradients to investigate the effects of woody plant encroachment on plant-soil interactions and ecosystem carbon pools. *Journal of Ecology*, vol. 104, No. 4, pp. 1020–1031.
- Zhang, Caiyun, and others (2020). Modelling risk of mangroves to tropical cyclones: a case study of Hurricane Irma. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 224, pp. 108–116.
- Zhang, Yihui, and others (2012). Interactions between mangroves and exotic *Spartina* in an anthropogenically disturbed estuary in southern China. *Ecology*, vol. 93, No. 3, pp. 588–597.
- Zhu, Yuanhui, and others (2015). Retrieval of mangrove aboveground biomass at the individual species level with worldview-2 images. *Remote Sensing*, vol. 7, No. 9, pp. 12192–12214.

Глава 7I

Соленые марши

Участники: Джудит С. Уайс (координатор), Луиш М. Пиньейру и Кэтрин Й. Э. Сегарра.

Ключевые тезисы

- Солёные марши, как они определены в первой «Оценке состояния Мирового океана» (United Nations, 2017), — это литоральные прибрежные системы, которые регулярно затопляются солёной или солоноватой водой и в которых преобладают солевывносильные растения, приспособленные к регулярному или эпизодическому затоплению во время приливов.
- Солёные марши служат местами гнездования, нагула и кормления для многих видов птиц, рыб, моллюсков и ракообразных, включая некоторые коммерчески важные виды.
- Солёные марши являются весьма эффективными поглотителями «голубого углерода» (интенсивность секвестрации ими CO₂ объясняется высокими объемами первичной продукции и низкими темпами разложения), но могут выступать и источниками выбросов парниковых газов.
- Несмотря на принимаемые во многих районах защитные меры, общемировая площадь солёных маршей сокращается.
- Наибольшую угрозу представляет подъем уровня моря, и, чтобы поспевать за ним, марши должны либо наращивать свою высоту, либо смещаться в глубь суши. За период после первой «Оценки» эта угроза превратилась из проблемы будущего в реальность настоящего. Если осуществление и того, и другого вариантов затрудняется из-за застройки побережья или сложностей с поступлением наносов, солёные марши превращаются в ватты и открытые воды.
- Многие марши по всему миру уже демонстрируют признаки затопления. Это указывает на то, что наращивание их высоты происходит недостаточно быстро.
- Некоторые данные позволяют говорить о том, что марши с определенными инвазивными растениями способны лучше справиться с подъемом уровня моря.

1. Введение

Солёные марши встречаются на каждом континенте, кроме Антарктиды (Mcowen and others, 2017; см. рисунок ниже). Они более распространены в умеренном климате, чем в субтропических и тропических регионах, где встречаются мангровые леса. Солёные марши — это высокопродуктивные экосистемы, которые предоставляют такие критически значимые экосистемные услуги, как защита побережья, предотвращение абразии, круговорот питательных веществ, наличие местообитаний для различных видов рыб и птиц и секвестрация углерода (Barbier and others, 2011).

Глобальная протяженность солёных маршей сокращается, в первую очередь из-за подъема уровня моря и усиления частоты и интенсивности прибрежных штормов (Schoon, 2006; Duarte and others, 2013). Под действием многих факторов, включая засыпку маршей под сельскохо-

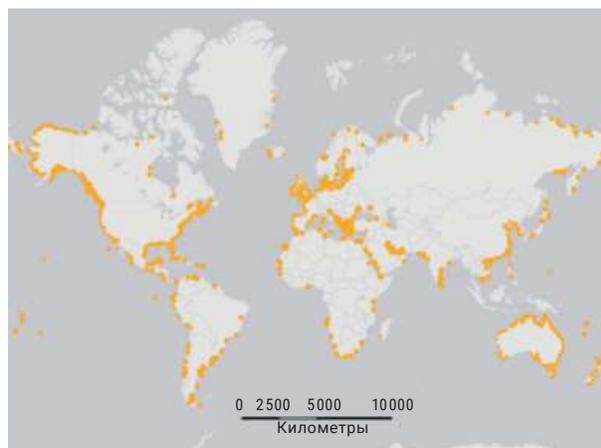
зяйственные нужды и застройку, пространство, занимавшееся некогда маршами, уменьшилось с 1980 года во всем мире на 25–50 процентов (Crooks and others, 2011; Duarte and others, 2008). Многие из оставшихся водно-болотных экосистем демонстрируют признаки эвтрофикации, затопления и болезней (Short and others, 2016). Воздействия, которым подвергаются солёные марши, будут во многом зависеть от относительной скорости подъема уровня моря и от других факторов, подобных упомянутым выше (Adam, 2002). На низкоширотном крае своего распространения солёные марши из-за потепления вытесняются манграми (Saintilan and others, 2014). Экспансия мангров в ареалы солёных маршей может привести к усилению защиты от штормов и повышению объемов накапливаемого углерода (Doughty and others, 2016), но при этом может вызвать упадок среды обитания для некоторых животных.

Соленые марши относятся к ключевым прибрежным экосистемам, которые предоставляют человеку такие экосистемные услуги, как снабжение пищей и обеспечение защиты от штормовых нагонов и волн, смягчая наводнения (путем снижения высоты волн), ограждая от загрязнителей и секвестрируя «голубой углерод». Согласно Макриди и др. (Macreadie and others, 2013), глобальное захоронение углерода в соленых маршах [достигающее, по предварительным оценкам, $87,2 \pm 9,6$ тераграмма углерода в год (Тг С/год)], по-видимому, превышает его поглощение тропическими лесами (53 Тг С/год), хотя площадь первых составляет всего лишь 0,1–2 процента от площади вторых. Вместе с тем на некоторых участках, в частности на увлажненных почвах с более низкой соленостью и с высоким содержанием органических веществ, могут происходить и значительные выбросы парниковых газов (Bartlett and others, 1987; Poffenbarger and others, 2011; Huertas and others, 2019). Что касается выбросов метана, то на низколежащих участках, где сильны приливно-отливные колебания, ощутимую роль может также играть образование метановых пузырей, высвобождающих газ во время отлива из-за более низкого давления воды (Duarte and others, 2007; Baulch and others, 2011; Call and others, 2015; Huertas and others, 2019). Попадание в атмосферу некоторых парниковых газов, прежде всего метана (CH_4) и закиси азота (N_2O), способно

вызывать глобальное потепление более активно, чем в случае CO_2 (Duarte and others, 2007; Roughan and others, 2018). В будущем потоки парниковых газов могут увеличиться из-за таких антропогенных стрессоров, как загрязнение нутриентами и изменение солености (Chmura and others, 2016; Yin and others, 2015; Roughan and others, 2018; Doroski and others, 2019).

В первой «Оценке» основными угрозами для соленых маршей были названы приращение суши, застройка побережья, дноуглубительные работы, эвтрофикация и подъем уровня моря, причем последний фактор был квалифицирован как наиболее сильная климатогенная угроза для них. По данным Национального управления Соединенных Штатов по исследованию океанов и атмосферы (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2019), в 2006–2015 годах среднемировой уровень воды в океане поднимался на 3,6 мм в год, что в 2,5 раза превысило среднегодовую скорость такого подъема за большую часть XX века. К концу столетия среднемировой уровень моря, вероятно, на как минимум 0,3 м превысит уровень 2000 года, даже если в предстоящие десятилетия динамика выбросов парниковых газов будет следовать относительно низкой траектории. Николлс и др. (Nicholls and others, 1999) предсказывают, что подъем уровня моря на 1 м уничтожит 46 процентов прибрежных водно-болотных угодий мира. Подъем уровня моря варьируется в зависимости от региона, причем отклонения от прогнозируемого среднемирового диапазона могут превышать ± 30 процентов (Oppenheimer and others, in press). Соленые марши могут проявлять способность к миграции в глубь суши или наращению своей высоты в ответ на подъем уровня моря, но эта способность зависит от местных условий, которые в некоторых районах включают оседание почвы. Оседание вызывается прежде всего изъятием грунтовых вод, но происходит также из-за ледниковой изостатической корректировки, уплотнения почвы и отстаивания засыпанного грунта (Eggleston and others, 2013). Регулируемому выходу из ситуации может препятствовать прибрежная застройка, которая ограничивает пространство от берега в глубь суши, на которое могут сместиться марши. Такое «прибрежное сжатие» происходит, когда отметка малой воды из-за подъема уровня моря сдвигается дальше

Глобальное распространение соленых маршей



Источник: Данные заимствованы из Mcowen and others, 2017.

Примечание. Карта сформирована с помощью ArcGIS Version 10.4.

на сушу, а отметка полной воды не сдвигается, будучи блокируема береговыми сооружениями (Doody, 2004). Метаанализ, выполненный Керуаном и др. (Kirwan and others, 2016), показал, что скорость формирования маршей обычно сходна с наблюдаемыми до сих пор темпами подъема уровня моря или превышает их и что процессное моделирование предсказывает выживание маршей при самых разных сценариях будущей динамики уровня моря. По утверждению авторов метаанализа, уязвимость маршей, как правило, преувеличивается, поскольку в оценочных методах часто не учитываются процессы ответной реакции, ускоряющие формирование почвы при подъеме уровня моря, и способность маршей сдвигаться в глубь суши – явление, подтвержденное недавним глобальным анализом, который выполнили Роджерс и др. (Rogers and others, 2019). При этом ускорение аккреции сопровождается повышением темпов захоронения углерода, что позволяет говорить о замедлении изменения климата (McTigue and others, 2019). К повышению темпов захоронения углерода может приводить и подъем уровня моря. Шайдер и др. (Scheider and others, 2018) обнаружили,

что происходившая до сих пор утрата маршей в Чесапикском заливе (Соединенные Штаты) компенсируется превращением в марши возвышенностей. Шюрч и др. (Schuerch and others, 2018) подчеркнули важность возвышенностей («бытового пространства») для миграции маршей, которая требует отсутствия искусственно выстроенной инфраструктуры. Если бы не существовало проблемы «прибрежного сжатия», то миграция маршей в глубь суши была бы в большинстве мест намного проще, хотя и сдерживалась бы крутизной склонов.

За период после первой «Оценки» утрата маршей из-за подъема уровня моря стала проблемой настоящего, а не будущего. Использование современных уровнемеров и оценочных инструментов для изучения темпов маршевой аккреции по сравнению с подъемом уровня моря позволило получить данные, подтверждающие утрату маршей. Методы дистанционного зондирования, например лидарная локация и аэрофотосъемка, тоже показывают масштабы утраты и могут периодически использоваться для мониторинга темпов изменений.

2. Описание экологических изменений с 2010 по 2020 год

На глобальном уровне протяженность соленых маршей сокращается. Однако, поскольку подъем уровня моря происходит на разных участках не одинаково, имеются региональные различия. Кросби и др. (Crosby and others, 2016) синтезировали доступные данные и обнаружили, что локальная скорость подъема уровня моря в Европе и Соединенных Штатах опережает скорость аккреции на многих тамошних участках соленых маршей, а это говорит о том, что даже при самом оптимистичном из сценариев выбросов, составленных Межправительственной группой экспертов по изменению климата, у 60 процентов изученных маршей аккреция к 2100 году будет отставать от подъема уровня моря. Наблюдаемое во всем мире увеличение штормовых нагонов за последние несколько лет влияет на уровень воды и соленость в литоральных соленых маршах, что, в свою очередь, может влиять на выбросы парниковых газов (CO_2 , CH_4 и N_2O) с этих участков (Caroosi and others, 2019).

Хотя главным побудителем утраты водно-болотных угодий является подъем уровня моря, свою лепту может вносить и эвтрофикация (Deegan and others, 2012). Эвтрофикация увеличивает надземную биомассу, снижает корневую биомассу и усиливает микробиологическое разложение, приводя к нестабильности растений, в результате чего рушатся берега маршевых каналов, а отдельные участки маршей превращаются в лишенный растительности ил (см. также гл. 10). Перелов некоторых рыбных видов привел к увеличению популяций травоядного маршевого краба (*Sesarma reticulatum*), а поедание им маршевых трав вызвало в некоторых районах суховершинность (Bertness and others, 2014; см. также гл. 15 настоящей «Оценки»). Причиной суховершинности в других маршевых районах стала гибель корневищ (Elmer and others, 2013). Наиболее уязвимы к подъему уровня моря такие марши, куда поступает недостаточно наносов (см. гл. 13).

Утрата прибрежных маршей сказывается на других компонентах морской системы. При сокращении маршевых площадей появляется ве-

роятность снижения общей продуктивности ассоциированных с ними эстуарных систем.

3. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия

Нараян и др. (Narayan and others, 2017) заключили, что благодаря литоральным водно-болотным угодьям в Нью-Джерси (Соединенные Штаты) удалось предотвратить ущерб от затопления, который был бы иначе причинен ураганом «Сэнди» и составил бы 625 млн долл. США. По их оценкам, наличие соленых маршей позволяет на 16 процентов сокращать ежегодные убытки от наводнений, причем это сокращение еще больше на участках, где высота над уровнем моря ниже. Прибрежные водно-болотные угодья способны снижать материальный ущерб и предотвращать издержки, вызываемые штормовыми нагонами (Rezaie and others, 2020). Если маршевые площади сократятся, а интенсивность и частота прибрежных штормов и экстремальных погодных явлений будут возрастать, то человеческие сообщества окажутся слабее защищены, ущерб от штормов усилится, а климатическая выносливость снизится. Кроме того, из-за уменьшения среды, где проходит жизнь молодых особей и личинок рыбы, может произойти упадок рыбных запасов (тема коммерческого рыболовства разбирается в гл. 15), что будет способствовать расстройству системы доходов и продовольственной безопасности у сообществ, жизненный уклад которых зависит от морепродуктов.

Утрата и деградация соленых маршей и ослабление экосистемных услуг и защиты, которые они предоставляют, скажется на достижении целей в области устойчивого развития¹, в частности целей 1, 2 и 8 (поскольку сократятся экосистемные услуги и снабжение продовольствием), цели 11 (поскольку уменьшится защита прибрежных районов от экстремальных погодных явлений), цели 13 (соленые марши способны не только секвестрировать «голубой углерод», но и производить выброс парниковых газов) и цели 14 и 15 (из-за воздействий на экосистемы). Утрата литоральных маршей будет иметь и социально-экономические последствия. Уменьшение количества и ассортимента предоставляемых товаров выразится, скорее всего, в снижении рыбопромысловых уловов, ослаблении секвестрации загрязнителей, уменьшении накопления углерода, снижении способности смягчать штормы, а также увеличении выбросов азота и метана в атмосферу. Кроме того, если соленые марши не будут удалять из сточных вод патогены и загрязнители, это приведет к росту содержания последних в организме маршевых животных, потребляемых в пищу людьми, и к ухудшению качества воды, что может обернуться последствиями для здоровья населения.

4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)

Вдоль европейского побережья соленые марши занимают значительную территорию с разнообразной растительностью. В рамках сети Natura 2000 усиливается защита большей части этой территории (European Commission, 2007). Что касается растительности, то соленые марши Северной Атлантики колонизированы в основном *Salicornia* spp. и другими однолетниками, а также травостоем из *Spartina swards* (*Spartinion*

maritimae) (Bortolus and others, 2019), тогда как средиземноморские виды заселяют более высокие участки побережья и обычно обладают большей сопротивляемостью к высыханию. В целом соленые марши, расположенные по контуру Средиземного моря, подвергаются минимальным приливно-отливным колебаниям и считаются микролиторальными, тогда как у маршей на берегах Атлантики такие колебания значительны.

¹ См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

В целом для районов с более сильной приливной амплитудой последствия подъема уровня моря будут серьезнее (Devlin and others, 2017).

Среди солёных маршей в Южной Африке встречается множество редко затопляемых супралиторальных маршей, которые поддерживают сообщества галофитов (Adams and others, 2016). Из-за действия волн и активного поступления наносов более 90 процентов эстуариев имеют ограниченные протоки, большинство из которых временно перекрываются при образовании песчаного бара (Cooper, 2001). Подъем уровня моря, усиление штормов, повышение высоты волн и изменение речного стока будут влиять на динамику затоплений, градиенты солёности и биогеохимию наносов (Van Niekerk, 2018). При наличии доступного пространства солёные марши будут мигрировать в глубь суши (Tabot and Adams, 2013; Veldkornet and others, 2015). Подъем уровня моря станет создавать более открытые условия, особенно если устье эстуария укрыто от действия волн, а наносов поступает мало (Van

Niekerk, 2018). Вместе с тем засуха и сокращение притока пресной воды будут приводить к закрытию устьев, к затоплениям и к суховершинности у растений солёных маршей.

В солёных маршах Китая преобладают туземные виды *Phragmites australis* или *Spartina alterniflora*, последний из которых был интродуцирован из Англии и Северной Америки (Gu and others, 2018; Wan and others, 2009). Протяженность ареала солёных маршей сократилась с 1980-х по 2010-е годы на примерно 59 процентов, в основном из-за приращения суши (Gu and others, 2018; Tian and others, 2016). Чтобы бороться с этой тенденцией, Китай пошел на принципиальные меры по восстановлению и сохранению солёных маршей, такие как создание охраняемых районов, введение экологических нормативов и строгое регулирование работ по приращению суши. Такие хозяйственные стратегии появились не так давно, и поэтому им еще предстоит доказать свою эффективность (Bai and others, 2018).

5. Перспективы

Для того чтобы сохраниться, солёные марши должны либо наращивать свою высоту со скоростью, равной скорости подъема уровня моря (для чего требуется поступление достаточного количества новых наносов), либо мигрировать в глубь суши (для чего требуется наличие незастроенного пространства сразу же за маршами (в сторону от моря) и подходящего уклона). Во многих районах ожидается дальнейшая утрата маршей, сопровождающаяся утратой экосистемных услуг и биоразнообразия. Уменьшение их пространственной протяженности снизит уровень предоставляемых экосистемных услуг. Утрата солёных маршей не только снижает их способность действовать как поглотители углерода, но и вызывает деградацию и возмущение, которые способствуют высвобождению углерода обратно в атмосферу в форме CO_2 (Pendleton and others, 2012) и выбросу других парниковых газов, таких как N_2O и CH_4 .

Петит и др. (Peteet and others, 2018) обнаружили, что градостроительство привело к значительному сокращению минеральных наносов, но в течение какого-то времени поступление

органического материала позволяло вертикальной аккумуляции обгонять подъем уровня моря. Тем не менее пониженное содержание минеральных веществ спровоцировало ослабление структуры и разрушение кромок, и, как заключили исследователи, маршам для выживания потребуются подпитка из минеральных наносов. В свою очередь, Борчерт и др. (Borchert and others, 2018) показали, что в урбанизированных эстуариях с застроенным побережьем, где у водно-болотных угодий нет пространства для того, чтобы перемещаться в глубь суши, адаптируясь к подъему уровня моря, особенно важно налаживать миграционные коридоры.

Метаанализ, выполненный Дейвидсоном и др. (Davidson and others, 2018), показал, что появление некоторых инвазивных растений привело к более чем 100-процентному увеличению биомассы и емкости для хранения углерода. Например, инвазивный тростник *Phragmites australis* не только растет быстрее и вырастает более крупным, благодаря чему экосистеме удается накапливать больше углерода, но и способствует наращению высоты маршей. Рут и Стивенсон

(Rooth and Stevenson, 2000) обнаружили, что *P. australis* быстрее образует подстилку и удерживает больше минеральных и органических наносов. Поэтому названное растение может служить инструментом борьбы с подъемом уровня моря, хотя это будет сопровождаться уменьшением разнообразия маршевой флоры и некоторыми изменениями фауны. Эти данные еще не повлияли на восстановительные стратегии и проекты, предусматривающие удаление растения. Вторжение *Spartina alterniflora* в соленые марши в Китае (Zhang and others, 2004; Zuo and others, 2012) и Южной Америке (Bortolus and others, 2015) привело к появлению новых участков, покрытых растительностью, что снизило степень утраты водно-болотных угодий.

Поскольку марши являются одной из самых высокопродуктивных экосистем на планете и обиталищем для многих угрожаемых видов, их утрата будет существенно сказываться на общей продуктивности, биоразнообразии и экосистемных услугах. Ожидается, что прекращение такой функции этих экосистем, как предоставление места нагула для молодых особей рыб

и беспозвоночных, приведет к значительным последствиям. Утрата маршей также затронет птиц, поскольку марши являются важными пунктами их размножения, кормления, перезимовки и миграции (United Nations Environment Programme (UNEP), 2019).

Индексы выносливости, разработанные Рапосой и др. (Raposa and others, 2016) для литоральных соленых маршей, позволяют предположить, что тихоокеанские марши будут, вероятно, более выносливыми, чем их атлантические аналоги, в основном из-за различий в процентной доле растительности, расположенной в настоящее время ниже среднего уровня полной воды. Такие индексы служат способом оценить выносливость, проинформировать управленцев и определить приоритеты восстановления маршей.

Уменьшение маршевых ареалов будет вызывать социально-экономические последствия, включая сокращение рыбных запасов, ослабление защиты от штормов и секвестрации углерода и загрязнителей, а также ухудшение качества воды.

6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях

Выполнено несколько исследований, посвященных потокам диоксида углерода в маршах (Forbrich and Giblin, 2015; Wei and others, 2020), однако требуется больше сведений о потоках парниковых газов в зонах соприкосновения наносов с водой и воды с атмосферой в соленых маршах. Задokumentировано влияние приливов на утечку метана через зону соприкосновения наносов с водой (Duarte and others, 2007; Poffenbarger and others, 2011; Baulch and others, 2011; Call and others, 2015; Segarra and others, 2013; Huertas and others, 2019), но количественные значения оттока парниковых газов из таких систем пока еще в основном неизвестны. То же самое относится к выбросам N_2O : экспериментальные исследования показали для них влияние поступления нутриентов (Bulsecu and others, 2019), но опять-таки нет последовательных, долгосрочных измерений и расчетов количественных значений. Будущая роль соленых маршей в глобальном бюджете углерода и парниковых газов во многом неизвестна из-за происходящих измене-

ний в их протяженности и гидрографических, питательных и соленостных режимах (Poffenbarger and others, 2011).

Еще один пробел относится к знаниям о том, как повысить выносливость соленых маршей к подъему уровня моря. Пока еще не выяснено, как лучше всего организовать сохранение некоторых зарослей *Phragmites australis* и насколько это может ускорить наращивание высоты маршей. Во многих районах важным делом является поддержание миграционных коридоров, позволяющих маршам смещаться в глубь суши, и оно требует дополнительных исследований и большей политической воли. Один из возможных способов наращивать высоту маршей — это «тонкослойное осадконакопление», т. е. опрыскивание маршевой поверхности наносами из приливных русел (Ford and others, 1999). К числу других мер может относиться искусственное привнесение материала, вынутого при землечерпательных работах, с целью достичь достаточ-

но высокой скорости аккреции, позволяющей ваттам адаптироваться к подъему уровня моря (Mendelssohn and Kuhn, 2003). Долгосрочная эффективность таких процедур и требуемая частота их проведения неизвестны. Когда марши абрадируют по краю, там, чтобы предотвратить дальнейшую абразию, можно соорудить «живую» береговую линию в виде устричных рифов, «рифовых шаров» или камней (Bilkovic and others, 2017). Сооружение таких линий усилива-

ло выносимость маршей к ураганам в большей степени, чем снабжение маршей жестким окаймлением или их поддержание в естественном состоянии (Smith and others, 2016). Есть и такой подход, как создание плавучих маршей (Streb and others, 2019). Однако, поскольку такие подходы относительно новы, их надежную эффективность в условиях подъема уровня моря еще предстоит выяснить.

7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала

По состоянию на 2020 год 985 прибрежных водно-болотных угодий объявлены подпадающими под Рамсарскую конвенцию². Эти угодья, площадь которых составляет почти 75 млн га, выделяются своей большой ценностью для человечества и должны управляться таким образом, чтобы поддерживать их экологический характер и способствовать их разумному использованию³. С 1975 года, когда Конвенция вступила в силу, количество рамсарских угодий неуклонно росло. Однако, поскольку общемировая протяженность водно-болотных угодий за это время заметно сократилась, эффективность реализации рамсарской политики вызывает сомнения (Finlayson, 2012). По мнению ученых со всего мира, настоятельно требуются немедленные действия, позволяющие перейти на более устойчивую практику (Ripple and others, 2017) и сократить утрату критически значимых естественных местообитаний, предоставляющих экосистемные услуги, например водно-болотных угодий и соленых маршей (Finlayson, 2019; Finlayson and others, 2019).

В некоторых странах недостает надлежащих кадров или ресурсов для изучения и восстановления соленых маршей. У штата Луизиана (Соединенные Штаты) — один из самых комплексных в Северной Америке планов по восстановлению прибрежной зоны и самые большие инвестиции в создание маршей (17,1 млрд долл. США). Там предусматривается исполь-

зование материала, вынутого при землечерпательных работах, и отвод наносов для формирования и поддержания прибрежного грунта. Привлекаемые на это средства демонстрируют масштабность денежных и организационных затрат, которых требуют крупные восстановительные проекты. Во многих районах мира мероприятия такого размаха не под силу отдельно взятым государствам. С другой стороны, есть такие страны, которые обладают соответствующим потенциалом, но еще не сделали сохранение прибрежных водно-болотных угодий одним из своих приоритетов. На глобальном уровне потребуются посвятить больше времени и ресурсов тому, чтобы добиться массового осознания проблемы правительствами, а также заключения ими соглашений и принятия ими общих обязательств, позволяющих обратить вспять губительные тенденции, наблюдаемые сегодня в соленых маршах. Маршевым площадям во всем мире угрожает сочетание подъема уровня моря с застройкой побережий человеком. Прилагая усилия по сохранению маршей и их восстановлению, необходимо сознавать, что в условиях ускоряющегося подъема уровня моря маршевые ареалы становятся как бы движущейся мишенью. Незастроенные прибрежные земли могут в следующем столетии превратиться в марши, и главным препятствием для такого превращения является их застройка человеком.

² Конвенция о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение, главным образом в качестве местообитаний водоплавающих птиц (United Nations, *Treaty Series*, vol. 996, No. 14583).

³ Список угодий имеется на сайте <https://rsis Ramsar.org>.

Справочная литература

- Adams, J.B., and others (2016). Distribution of macrophyte species and habitats in South African estuaries. *South African Journal of Botany*, vol. 107, pp. 5–11.
- Adam, P. (2002). Saltmarshes in a time of change. *Environmental Conservation*, vol. 29, No. 1, pp. 39–61.
- Bai, Y., and others (2018). Developing China's ecological redline policy using ecosystem services assessments for land use planning. *Nature Communications*, vol. 9, art. 3034. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05306-1>.
- Barbier, E.B., and others (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, vol. 81, No. 2, pp. 169–193.
- Bartlett, K., and others (1987). Methane emissions along a salt marsh salinity gradient. *Biogeochemistry*, vol. 4, No. 3, pp. 183–202.
- Baulch, H.M., and others (2011). Diffusive and ebullitive transport of methane and nitrous oxide from streams: are bubble-mediated fluxes important? *Journal of Geophysical Research*, vol. 116, G04028, <https://doi.org/10.1029/2011JG001656>.
- Bertness, M.D., and others (2014). Experimental predator removal causes rapid salt marsh die-off. *Ecology Letters*, vol. 17, No. 7, pp. 830–835.
- Bilkovic, D.M., and others (2017). *Living Shorelines: The Science and Management of Nature-Based Coastal Protection*. CRC Press.
- Borchert, S.M., and others (2018). Coastal wetland adaptation to sea level rise: Quantifying potential for landward migration and coastal squeeze. *Journal of Applied Ecology*, vol. 55, No. 6, pp. 2876–2887.
- Bortolus A., and others (2015). Reimagining South American coasts: unveiling the hidden invasion history of an iconic ecological engineer. *Diversity and Distributions*, vol. 21, pp. 1267–1283.
- Bortolus A., and others (2019). Supporting *Spartina*: interdisciplinary perspective shows *Spartina* as a distinct solid genus. *Ecology*, vol. 100, No. 11, e02863. <https://doi.org/10.1002/ecy.2863>.
- Bulsecò, A.N., and others (2019). Nitrate addition stimulates microbial decomposition of organic matter in salt marsh sediments. *Global Change Biology*, vol. 25, No. 10, pp. 3224–3241.
- Cahoon, D.R. (2006). A review of major storm impacts on coastal wetland elevations. *Estuaries and Coasts*, vol. 29, No. 6, pp. 889–898.
- Call, M., and others (2015). Spatial and temporal variability of carbon dioxide and methane fluxes over semi-diurnal and spring-neap-spring timescales in a mangrove creek. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 150, pp. 211–225. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2014.11.023>.
- Capooci, M., and others (2019). Experimental influence of storm-surge salinity on soil greenhouse gas emissions from a tidal salt marsh. *Science of the Total Environment*, vol. 686, pp. 1164–1172.
- Chmura, G.L., and others (2016). Greenhouse gas fluxes from salt marshes exposed to chronic nutrient enrichment. *PloS One*, vol. 11, No. 2, e0149937.
- Cooper, J.A.G. (2001). Geomorphological variability among microtidal estuaries from the wave-dominated South African coast. *Geomorphology*, vol. 40, Nos. 1–2, pp. 99–122.
- Crooks, S., and others (2011). Mitigating Climate Change through Restoration and Management of Coastal Wetlands and Near-Shore Marine Ecosystems: Challenges and Opportunities. *Environment Department Papers; Marine Ecosystem Series*, No. 121.
- Crosby, S., and others (2016). Salt marsh persistence is threatened by predicted sea-level rise. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 181, pp. 93–99.
- Davidson, I.C., and others (2018). Differential effects of biological invasions on coastal blue carbon: a global review and meta-analysis. *Global Change Biology*, vol. 24, No. 11, pp. 5218–5230.

- Deegan, L.A., and others (2012). Coastal eutrophication as a driver of salt marsh loss. *Nature*, vol. 490, No. 7420, pp. 388–392.
- Devlin, A., and others (2017). Coupling of sea level and tidal range changes, with implications for future water levels. *Scientific Reports*, vol. 7, art. 17021. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17056-z>.
- Doody, J.P. (2004). “Coastal squeeze”—an historical perspective. *Journal of Coastal Conservation*, vol. 10, No. 1, pp. 129–138.
- Doroski, A.A., and others (2019). Greenhouse gas fluxes from coastal wetlands at the intersection of urban pollution and saltwater intrusion: a soil core experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 131, pp. 44–53.
- Doughty, C.L., and others (2016). Mangrove range expansion rapidly increases coastal wetland carbon storage. *Estuaries and Coasts*, vol. 39, No. 2, pp. 385–396.
- Duarte, C.M., and others (2008). The charisma of coastal ecosystems: addressing the imbalance. *Estuaries and Coasts*, vol. 31, No. 2, pp. 233–238.
- Duarte, C.M., and others (2013). The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nature Climate Change*, vol. 3, No. 11, pp. 961–968.
- Duarte, H., and others (2007). High-resolution seismic imaging of gas accumulations and seepage in the sediments of the Ria de Aveiro barrier lagoon (Portugal). *Geo-Marine Letters*, vol. 27, Nos. 2–4, pp. 115–126.
- Eggleston, J., and others, 2013, Land subsidence and relative sea-level rise in the southern Chesapeake Bay region: U.S. Geological Survey Circular 1392. <http://dx.doi.org/10.3133/cir1392>.
- Elmer, W.H., and others (2013). Sudden vegetation dieback in Atlantic and Gulf Coast salt marshes. *Plant Diseases*, vol. 97, No. 4, pp. 436–445.
- European Commission (2007). *The Interpretation Manual of European Union Habitats—EUR27*. European Commission DG Environment, Brussels.
- Finlayson, C.M. (2012). Forty years of wetland conservation and wise use. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 22, No. 2, pp. 139–143.
- _____ (2019). Addressing the decline in wetland biodiversity. *The Ecological Citizen*, vol. 2, pp. 139–40.
- Finlayson, C.M., and others (2019). The second warning to humanity—providing a context for wetland management and policy. *Wetlands*, vol. 39, No. 1, pp. 1–5.
- Forbrich I., and A. Giblin (2015) Marsh-atmosphere CO₂ exchange in a New England salt marsh. *JGR Biosciences*, vol. 20, No. 9, pp. 1825–1838.
- Ford, M.A., and others (1999). Restoring marsh elevation in a rapidly subsiding salt marsh by thin-layer deposition of dredged material. *Ecological Engineering*, vol. 12, Nos. 3–4, pp. 189–205.
- Gu, J., and others (2018). Losses of salt marsh in China: trends, threats and management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 214, pp. 98–109.
- Huertas, I., and others (2019) Methane emissions from the salt marshes of Doñana Wetlands: spatio-temporal variability and controlling factors. *Frontiers in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00032>.
- Kirwan, M.L., and others (2016). Overestimation of marsh vulnerability to sea level rise. *Nature Climate Change*, vol. 6, No. 3, pp. 253–260.
- Macreadie, P.I., and others (2013). Loss of ‘Blue Carbon’ from Coastal Salt Marshes Following Habitat Disturbance. *PLoS One*, vol. 8, No. 7, e69244. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069244>.
- Mcowen, C.J., and others (2017). A global map of saltmarshes. *Biodiversity Data Journal*, No. 5, e11764. Paper: <https://doi.org/10.3897/BDJ.5.e11764>; Data URL: <http://data.unep-wcmc.org/datasets/43> (v.6)

- McTigue, N., and others (2019) Sea level rise explains changing carbon accumulation rates in a salt marsh over the past two millennia. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, vol. 124, No. 10, pp. 2945–2957.
- Mendelssohn, I.A., and N.L. Kuhn (2003). Sediment subsidy: effects on soil-plant responses in a rapidly submerging coastal salt marsh. *Ecological Engineering*, vol. 21, Nos. 2–3, pp. 115–128.
- Narayan, and others (2017). The value of coastal wetlands for flood damage reduction in the northeastern USA. *Scientific Reports*, vol. 7, No. 1, pp. 1–12.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2019). Climate Change: Global Sea Level (www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level).
- Nicholls, R.J., and others (1999). Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses. *Global Environmental Change*, vol. 9, pp. S69–S87.
- Oppenheimer, M., and others (in press). Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, H-O. Pörtner and others, eds.
- Pendleton, L., and others (2012). Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLoS One*, vol. 7, No. 9.
- Peteet, D.M., and others (2018). Sediment starvation destroys New York City marshes’ resistance to sea level rise. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 41, pp. 10281–10286.
- Poffenbarger, H., and others (2011). Salinity influence on methane emissions from tidal marshes. *Wetlands*, vol. 31, pp. 831–842. <https://doi.org/10.1007/s13157-011-0197-0>.
- Raposa, K.B., and others (2016). Assessing tidal marsh resilience to sea-level rise at broad geographic scales with multi-metric indices. *Biological Conservation*, vol. 204, pp. 263–275.
- Rezaie, A., and others (2020). Valuing natural habitats for enhancing coastal resilience: wetlands reduce property damage from storm surge and sea level rise. *PLoS One*, vol. 15, No. 1, pp. 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226275>.
- Ripple, William J., and others (2017). World scientists’ warning to humanity: A second notice. *BioScience*, vol. 67, No. 12, pp. 1026–1028.
- Rogers, K., and others (2019). Impacts and adaptation options for estuarine vegetation in a large city. *Landscape and Urban Planning*, vol. 182, pp. 1–11.
- Rooth, J., and J.C. Stevenson (2000). Sediment deposition patterns in *Phragmites australis* communities: Implications for coastal areas threatened by rising sea-level. *Wetlands Ecology and Management*, vol. 8, Nos. 2–3, pp. 173–183.
- Roughan, B.L., and others (2018). Nitrous oxide emissions could reduce the blue carbon value of marshes on eutrophic estuaries. *Environmental Research Letters*, vol. 13, No. 4, 044034.
- Saintilan, N., and others (2014). Mangrove expansion and salt marsh decline at mangrove poleward limits. *Global Change Biology*, vol. 20, No. 1, pp. 147–157.
- Scheider N., and others (2018). Massive upland to wetland conversion compensated for historical marsh loss in Chesapeake Bay, USA. *Estuaries and Coasts*, vol. 41, pp. 940–951.
- Schuerch, M., and others (2018) Future response of global coastal wetlands to sea level rise. *Nature*, vol. 561, pp. 231–234.
- Segarra, K., and others (2013). Seasonal variations of methane fluxes from an unvegetated tidal freshwater mudflat (Hammersmith Creek, GA). *Biogeochemistry*, vol. 115, No. 1, pp. 349–61. <https://doi.org/10.1007/s10533-013-9840-6>.
- Short, F.T., and others (2016). Impacts of climate change on submerged and emergent wetland plants. *Aquatic Botany*, vol. 135, pp. 3–17.

- Smith, C.S., and others (2016). Living shorelines enhanced the resilience of saltmarshes to Hurricane Matthew (2016). *Ecological Applications*, vol. 28, No. 4, pp. 871–877.
- Streb, C., and others (2019). Adapting floating wetland design to advance performance in urban waterfronts. *Wetland Science and Practice*, vol. 36, No. 2, pp. 106–113.
- Tabot, P.T., and J.B. Adams (2013). Ecophysiology of salt marsh plants and predicted responses to climate change in South Africa. *Ocean & Coastal Management*, vol. 80, pp. 89–99.
- Tian, B., and others (2016). Drivers, trends, and potential impacts of long-term coastal reclamation in China from 1985 to 2010. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 170, pp. 83–90.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2019). Biodiversity A-Z. 2019. www.biodiversitya-z.org.
- Van Niekerk, L. (2018). Approaches to detecting and assessing patterns, processes and responses to change in South African estuaries. PhD thesis. Port Elizabeth, South Africa: Nelson Mandela University.
- Veldkornet, D.A., and others (2015). Where do you draw the line? Determining the transition thresholds between estuarine salt marshes and terrestrial vegetation. *South African Journal of Botany*, vol. 101, pp. 153–159.
- Wan, S.W., and others (2009). The positive and negative effects of exotic *Spartina alterniflora* in China. *Ecological Engineering*, vol. 35, pp. 444–452.
- Wei, S., and others (2020). Effect of tidal flooding on ecosystem CO₂ and CH₄ fluxes in a salt marsh in the Yellow River Delta. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, vol. 232, 106512.
- Yin, S., and others (2015). *Spartina alterniflora* invasions impact CH₄ and N₂O fluxes from a salt marsh in eastern China. *Ecological Engineering*, vol. 81, pp. 192–199.
- Zhang, R., and others (2004). Formation of *Spartina alterniflora* salt marshes on the coast of Jiangsu Province, China. *Ecological Engineering*, vol. 23, pp. 95–10.
- Zuo, P., and others (2012). Distribution of *Spartina* spp. along China's coast. *Ecological Engineering*, vol. 40, pp. 160–166.

Глава 7J

КОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ СКЛОНЫ И ПОДВОДНЫЕ КАНЬОНЫ

Участники: Лиза А. Левин (координатор), Джерозн Ингелс, Малколм Р. Кларк, Анна Метаксас, Бхавани Э. Нараянасвами, Питер Остер, Джошуа Т. Тухумвире (ведущий участник, ответственный за подглаву), Джейсон М. Холл-Спенсер, Рассел Хопкрофт и Мориаки Ясухара.

Ключевые тезисы

- На континентальные склоны приходится 5,2 процента океана, причем более чем на одну пятую они состоят из подводных каньонов. Эти склоны являются критически значимыми переходными зонами между континентальным шельфом и морским глубоководьем; они важны для захоронения углерода и как местообитания для видов, имеющих экологическое и экономическое значение.
- Наличие сильных вертикальных гидрографических градиентов, сложных геоморфологических образований и изменчивых потоков с морского дна делает фауновые сообщества каньонов и склонов весьма неоднородными.
- Недавнее открытие сотен местообитаний, приуроченных к метановым просачиваниям, кораллам и губкам, указывает на более высокое биоразнообразие и на ранее неизвестные взаимодействия с окружающими отложениями.
- Каньоны могут быть очагами биологической активности, причем населяющие их сообщества не всегда отличаются от сообществ на прилегающих склонах, которые тоже высокопродуктивны. Отложения на склонах и в котловинах могут выступать «архивом» исторической информации о влиянии климата на биоразнообразие.
- По естественно встречающимся зонам кислородного минимума видно, что биоразнообразие весьма чувствительно к оксигенации. Расширение низкокислородных зон будет приводить к уменьшению биоразнообразия. Прогнозируемое снижение рН и наличия пищи, скорее всего, скажется на экосистемах холодноводных кораллов.
- Из-за их близости к берегу склоны и каньоны затрагиваются расширением деятельности, связанной с разработкой глубоководных месторождений нефти и газа, сооружением шельфовых энергетических установок, ведением донного рыболовства и (потенциально) добычей полезных ископаемых, и подвергаются возрастающему загрязнению, в том числе мусором и отходами от горно-обогатительных работ с суши.
- Исследования ускорили открытие новых экосистемных функций и услуг, включая неизвестные ранее механизмы продуктивности и переноса углерода, места нагула, а также каналы переноса загрязнителей и отходов. Однако большинство каньонных и склоновых районов остаются во многом неисследованными, а серьезные вопросы, касающиеся видовых ареалов, экологической соединенности, бентопелагических связей и чувствительности к климату и непосредственным возмущениям (особенно в Южном полушарии и вдоль африканских и южноамериканских окраин), остаются без ответа.
- Усиление интеграции климатологии, природоохранной биологии, исследований популяционной соединенности и распоряжения ресурсами, сопровождающееся повышением экспертного потенциала в сфере таксономии и географии, улучшит распространение знаний, технологий, аналитических инструментов и методик, которые требуются для совершенствования глобального понимания склоновых и каньонных экосистем и содействия их устойчивости.

1. Введение

Континентальный склон представляет собой заглубляющийся участок морского дна от бровки шельфа (глубина около 200 м) до верхней границы континентального подножия, где крутизна уменьшается. Его общая площадь равняется 19,6 млн км², что составляет 5,2 процента площади океа-

на (таблица 1; Harris and others, 2014). Эта среда сжато обсуждалась в главе 36F (United Nations, 2017a) первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017c) как компонент глубоководных окраин. Континентальный склон обычно изрезан каньонами с крутыми стенами

(см. United Nations, 2017b). Известно 9477 каньонов, которые занимают почти 4,4 млн км² (таблица 1), причем имеется еще и много не открытых. Склон также включает другие геоморфологические и геохимические компоненты: котловины, банки, уступы, подводные горы и метановые просачивания (см. рисунок ниже). Склоны и каньоны являются серьезными переходными зонами между мелководьем и глубоководьем, обеспе-

чивая перемещение (и трансформацию) отложений, органических веществ, воды, организмов, загрязнителей и мусора (Puig and others, 2014; Leduc and others, 2018). Континентальные склоны могут быть высокопродуктивными, поскольку на них происходит масштабное захоронение углерода и рециркуляция нутриентов, и поэтому они важны для общественного благополучия (Levin and Sibuet, 2012).

Таблица 1
Площадь и количество склонов и каньонов в Мировом океане

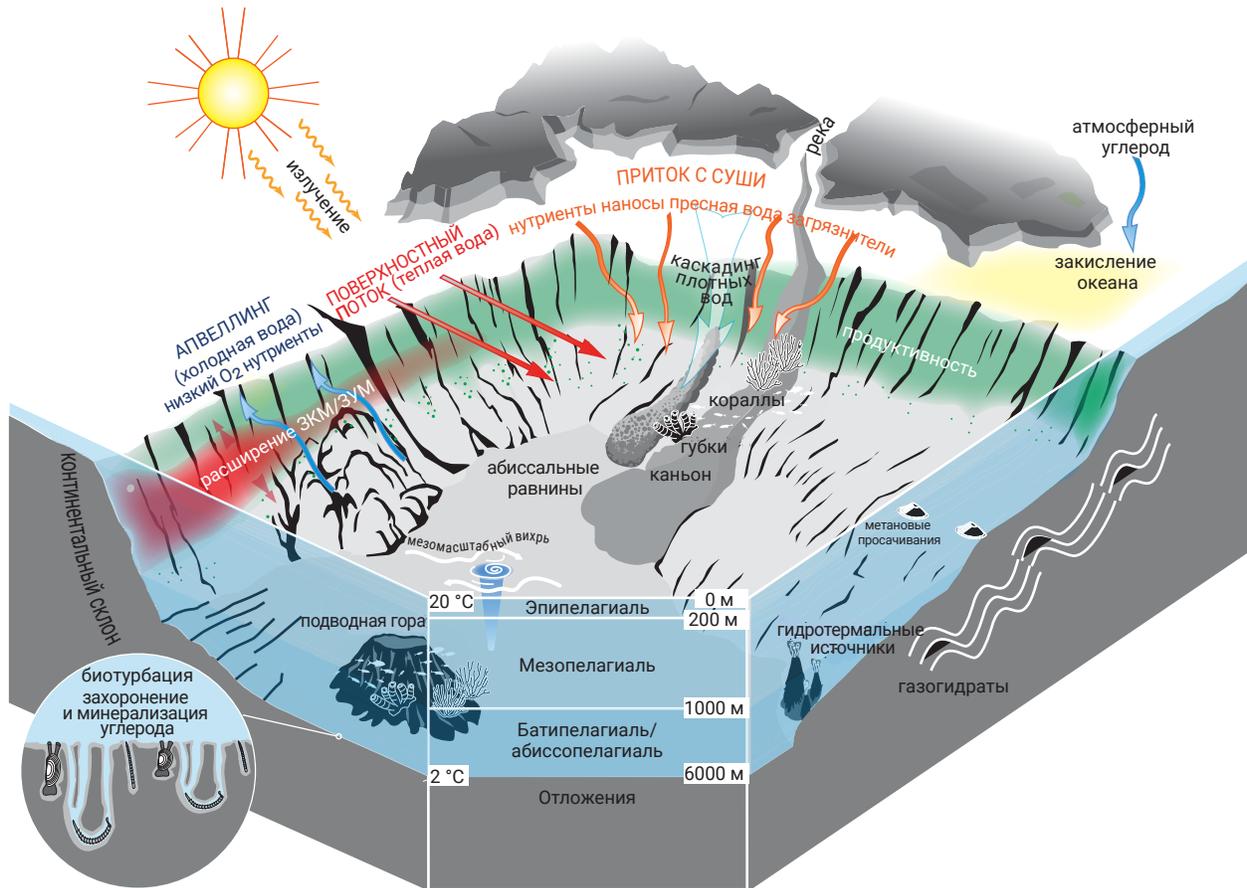
Показатель	Все акватории Мирового океана	Северный Ледовитый океан	Индийский океан	Средиземное море	Северная часть Атлантического океана	Северная часть Тихого океана	Южная часть Атлантического океана	Южная часть Тихого океана	Южный океан
Площадь склонов (км ²)	19 606 260	913 590	4 189 700	906 590	3 436 150	4 752 240	1 591 830	3 201 000	615 170
Процент от общей площади склонов	100,00	7,03	5,88	30,00	7,68	5,80	3,94	3,67	3,03
Площадь каньонов (км ²)	4 393 650	359 650	760 420	163 040	738 430	816 580	291 290	694 790	569 440
Количество каньонов	9477	404	1590	817	1548	2085	453	2009	571
Процент площади склонов, приходящийся на каньоны	22,4	16,1	11,2	13,8	10,4	10,2	8,9	10,2	15,1

Источник: Harris and others, 2014.

Облик склоновых и каньонных биологических сообществ определяется характерными для склонов и каньонов сильными (обычно вертикальными) градиентами температуры, оксигенации, CO₂, гидродинамики, потоков частиц и перемещения отложений (см. рисунок ниже). Приток нерастворенного органического углерода и опускание крупного органического материала

(тела погибших морских млекопитающих и рыб, древесина, водоросли) из поверхностных и шельфовых вод, а также геохимические потоки (метан, сульфид, водород) из недр морского дна приводят к значительной неоднородности источников энергии для склоновых и каньонных экосистем. Дополнительным фактором экологической неоднородности на склоновых участках протяжен-

Особенности местообитаний континентальных склонов и каньонов и влияние меняющихся условий



Источник: Levin and Sibuet, 2012 (URL: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120709-142714>; рисунок модифицирован при содействии Андреаса Алхерии).

Сокращения: ЗКМ — зона кислородного минимума; ЗУМ — зона углеродного минимума.

ностью от десятка метров до сотен километров являются различия в источниках отложений, океанографических условиях, динамических геологических процессах и параметрах, которые задаются биологическими видами, формирующими среду обитания (Kelly and others, 2010).

На склоны и каньоны сильно влияет изменение климата. При этом они сильнее других глубоководных систем испытывают на себе нагрузки от человеческой деятельности, так как расположены ближе всего к человеческим популяциям. Основные проявления антропогенного влияния включают физическое и биологическое возму-

щение в результате рыболовства, судоходства, преднамеренного и непреднамеренного удаления отходов с суши (отходы горно-обогатительных работ, мусор, загрязнители и др.), попадания органических веществ (сточные воды, питательные вещества, материалы промышленного происхождения и др.), нефтегазовой деятельности, а в потенциале — и добычи полезных ископаемых. Воздействие изменений, связанных с климатом и ведущих к потеплению, потере кислорода и переменам в интенсивности и частоте штормов, переплетается с воздействием этих других антропогенных возмущений.

2. Сдвиги в понимании склонов и каньонов

2.1. Биоразнообразие склонов

У фауны континентальной окраины наблюдается сильная глубинная зональность, проявляющаяся в крупных изменениях фаунового состава на участке перехода от шельфа к склону (глубины 300–500 м), вдоль верхнего склона (глубина 1000 м) и между отметками 2000 и 3000 м (Carney, 2005). Слоистость водных масс над всей протяженностью континентального склона способствует такой зональности, равно как и высокому бета-разнообразию макробентоса (например, Narayanaswamy and others, 2010), мейобентоса (Danovaro and others, 2009; Bianchelli and others, 2010), рыб (например, Priede and others, 2010) и мегафауны (например, Hunter and others, 2011), а также подавленному альфа-разнообразию в низкокислородных водных слоях (Sellanes and others, 2010; Gooday and others, 2010). Как правило, фауновое разнообразие наиболее сильно проявляется на средних склоновых глубинах, а именно 1500–2500 м (Rex and Rowe, 1983; Rex and Etter, 2010; Menot and others, 2010), что связано с неоднородностью отложений, продуктивности и водного потока (Levin and others, 2001). Максимальная плотность склоновой фауны (ракообразные, офиуры, губки и др.) наблюдается по краям низкокислородных водных масс под районами апвеллинга, на положительных формах рельефа и в каньонах (Levin, 2003; De Leo and others, 2010; Domke and others, 2017), где благодаря более сильному притоку частиц снабжение пищей лучше.

2.2. Меняющиеся экологические условия на склонах и в каньонах

2.2.1. Зоны кислородного минимума и дезоксигенация океана

Континентальные склоны и каньоны под высокопродуктивными водами в районах апвеллинга подвергаются воздействию гипоксических вод естественного происхождения, именуемых зонами кислородного минимума и встречающихся на глубине от 100 до 1200 м на значительной территории восточной части Тихого океана, северной части Индийского океана и у побережья Западной Африки (Helly and Levin, 2004). Наличие кислорода на склонах свойственна высокая динамика, имеющая сезонную, межгодовую и

ледниково-межледниковую цикличность (Levin and others, 2015a; Huang and others, 2018, 2019). Обедненность воды кислородом определяет состав, разнообразие и функциональные характеристики водной толщи и бентоса (Levin, 2003), а также размеры особей, их рост, обызвествление и воспроизводство (Sato and others, 2018) и вызывает сильную зональность мега- и макрофауны, привязанную к кислородным градиентам зон кислородного минимума на склонах (Wishner and others, 1995; Levin, 2003; Gooday and others, 2009, 2010; Hunter and others, 2011; Levin and Gallo, 2019) и в каньонах (De Leo and others, 2012; Domke and others, 2017). При концентрациях кислорода ниже 7 мкмоль резко снижается разнообразие беспозвоночной макрофауны (Levin and Gage, 1998; Sperling and others, 2016) и рыб (Gallo and others, 2020). В зависимости от доступности кислорода могут варьироваться параметры численности рыб, равно как и улов и промысловое усилие (Bertrand and others, 2011; Keller and others, 2015; Salvattecchi and others, 2019; De Leo and others, 2017).

Планктонные сообщества в зонах кислородного минимума тоже проявляют сильную пространственно-временную реакцию на насыщение кислородом (Eka and others, 2010; Gilly and others, 2013; Seibel and others, 2016; Tutas and Escibano, 2020), что выражается в отчетливой зональности, пограничных эффектах, плотностных максимумах и резких перепадах разнообразия (Wishner and others, 2008, 2013). Даже небольшие кислородные градиенты могут вызывать крупные изменения в составе сообщества в относительно небольших пространственных масштабах (Wishner and others, 2008, 2018). Вместе с тем некоторые ракообразные планктеры проявляют поразительную толерантность к гипоксии (Seibel and others, 2016, 2018). Некоторые веслоногие ракообразные демонстрируют онтогенетическую зональность: на разных стадиях своей жизни они хорошо себя чувствуют при разных уровнях кислорода (Wishner and others, 2000; Hidalgo and others, 2005).

В результате изменения климата многие зоны кислородного минимума расширяются (Stramma and others, 2008, 2010; Levin, 2018). Ожидается, что это расширение станет вызывать утрату разнообразия (Sperling and others, 2016), которая бу-

дет накладываться на снижение выносливости (Levin and others, 2013), сокращение биотурбации (Smith and others, 2000; Levin and others, 2009; Schimmelmann and others, 2016), переключение в переработке углерода с макрофауны на простейших (Woulds and others, 2007, 2009) и изменение пищевых сетей (Sperling and others, 2013; Gallo, 2018). Долговременный мониторинг в Южной Калифорнийской бухте выявляет снижение численности личинок мезопелагических рыб (Koslow and others, 2011) и уменьшение глубины верхней и нижней дневных границ звукорассеивающего слоя (рыбы и крупные беспозвоночные) (Netburn and Koslow, 2015), связанное с уменьшением глубины гипоксической зоны за последние 25 лет. Уменьшение присутствующего кислорода может ухудшать зрение у личинок кальмаров, осьминогов и крабов в южных акваториях Калифорнии (McCormick and others, 2019). В юго-восточной части Тихого океана зона кислородного минимума весьма чувствительна к климатической изменчивости, притом что «Эль-Ниньо – Южное колебание» и флюктуации в Перуано-Чилийском противотечении, течении Кромвелла и вихревых

течениях порождают сильную вариабельность в масштабах от сезонного до межгодового (Czeschel and others, 2015; Pizarro-Koch and others, 2018; Espinoza-Morriberón and others, 2019). Множественные косвенные признаки позволяют предположить, что за последнее время происходила оксигенация (фиксируемая с 1999 года), связанная с увеличением глубины зоны кислородного минимума (Graco and others, 2017; Cardich and others, 2019).

2.2.2. Закисление океана

Склоны и каньоны становятся всё уязвимее к закислению океана. Согласно репрезентативной траектории концентраций (РТК) 8.5 (климатический сценарий «обычный ход деятельности»), к 2100 году ожидается снижение pH в среднем на 0,14 единицы для склонов и на 0,11 единицы для каньонов (таблица 2; Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2019; Bindoff and others, 2019). Особенно уязвима Северная Атлантика, потому что в процессе формирования глубинных вод поверхностные изменения в карбонатной химии отражаются во внутренних оке-

Таблица 2

Усредненные (в скобках: минимальные, максимальные) значения проявлений изменения климата, прогнозируемых для компонентов морского дна (континентальные склоны, каньоны и холодноводные кораллы в глубинном диапазоне 200–2500 м) согласно РТК 8.5 и 2.6 на период с настоящего момента по 2081–2100 годы с использованием трех моделей земной системы

	Температура (°C)	pH	Растворенный кислород (мкмоль/кг)	Приток НОУ
	РТК 2.6	РТК 2.6	РТК 2.6	РТК 2.6
Континентальные склоны	+0,30 (-0,44, +2,30)	-0,06 (-0,19, -0,02)	-3,1 (-49,3, +61,7)	-0,39 (-16,0, +3,9)
Каньоны	+0,31 (-0,27, +1,76)	-0,05 (-0,13, +0,01)	-3,54 (-44,66, +29,30)	-0,33 (-10,53, +3,53)
Холодноводные кораллы	+4,3 (-0,29, +1,85)	-0,07 (-0,13, 0,0)	-3,5 (-25,6, +24,7)	-0,7 (-10,5, +3,4)
	РТК 8.5	РТК 8.5	РТК 8.5	РТК 8.5
Континентальные склоны	+0,75 (-8,4, +4,4)	-0,14 (-0,02, -0,44)	-10,2 (-67,8, +53,82)	-0,66 (-33,33, +10,3)
Каньоны	+0,19 (-0,03, +1,14)	-0,11 (-0,35, +0,02)	-0,80 (-28,76, +10,07)	-0,80 (-28,76, +10,07)
Холодноводные кораллы	+0,96 (-0,42, +3,84)	-0,15 (-0,39, +0,001)	-10,6 (-59,2, +11,1)	-1,69 (-20,1, +4,6)

Источник: Bindoff, N.L., and others, 2019 (адаптированная таблица 5.5).

Сокращения: НОУ – нерастворенный органический углерод; РТК – репрезентативная траектория концентраций.

анских массах, а западное пограничное течение адвектирует их еще дальше; РТК 8.5 прогнозирует, что к 2100 году рН снизится на 0,3 единицы для 14 процентов склонов ниже 500 м и для 15 процентов каньонов (Gehlen and others, 2014). Там, где низкое содержание кислорода и высокое содержание CO_2 типичны для естественных условий, таксоны могут оказаться менее уязвимы к последствиям закисления океана, но ситуация в разных океанских бассейнах не одинакова. В Индийском океане на биоразнообразии макрофауны больше влияет не пониженное содержание кислорода, а повышенное содержание CO_2 , тогда как в восточной части Тихого океана, где верно обратное, тренды биоразнообразия лучше объясняет обедненность кислородом (Taylor and others, 2014; Sperling and others, 2016; Sato and others, 2018). Необходимо укрепить мониторинговые сети, такие как Глобальная система наблюдений за закислением океана, чтобы оценивать изменения в карбонатной системе морской воды на склонах и в каньонах.

2.2.3. Снабжение пищей

Пища для склоновых и каньонных экосистем поступает в основном благодаря притоку органических веществ из поверхностного слоя океанских вод. Согласно прогнозам, сделанным в соответствии с разными сценариями выбросов, к 2081–2100 годам на склонах и в каньонах (кроме как в Южном и Северном Ледовитом океанах) произойдет сокращение притока нерастворенного органического углерода, сопровождаемое сокращением бентической биомассы (Jones and others, 2014; Yool and others, 2017; IPCC, 2019). Сокращение такого притока, прогнозируемое при сценарии РТК 2.6, будет на 30–50 процентов слабее, чем при сценарии РТК 8.5 (IPCC, 2019; таблица 2). Общий вклад хемосинтетической продукции в склоновые и каньонные пищевые сети количественно пока не определен, однако в будущем он может возрасти в результате диссоциации метана из погребенных в недрах морского дна газогидратов, вызываемой потеплением (Biastoch and others, 2011).

2.3. Континентальные склоны как уникальный палеоэкологический «архив»

Континентальный склон — это уникальная среда, критически значимая для понимания историче-

ской динамики глубоководного биоразнообразия. Участки, отличающиеся высокими темпами седиментации, позволяют по останкам ракушковых реконструировать океанографические условия и реакцию биоразнообразия за десятилетние или столетние интервалы, путешествуя при этом в прошлое на десятки тысяч лет (Yasuhara and Cronin, 2008; Yasuhara and others, 2017; Yasuhara, 2018). Например, палеоэкологические данные за последние 20 000 лет говорят о внезапном изменении температуры в северной части Атлантического океана, которое повлияло на численность и биоразнообразие глубоководного бентоса (Yasuhara and others, 2008, 2014, 2016; Yasuhara and Danovaro, 2016).

2.4. Неоднородность местообитаний

2.4.1. Сравнение склонов и каньонов

Каньоны считаются одним из ключевых источников неоднородности и биоразнообразия. Сообщества прокариотного и эукариотного микробного планктона в каньонах Средиземного моря и на его склонах представляются сходными (Celussi and others, 2018; Diociaiuti and others, 2019), однако в каньоне Бизаньо зафиксировано больше вирусов и вирусных инфекций, чем на прилегающем склоне (Corinaldesi and others, 2019a, 2019b). Сильная связь между мезомасштабными процессами, к которым относится, в частности, каскадинг плотных вод, может влиять на биогеохимию (Chiggiato and others, 2016), микробы (Luna and others, 2016), отложение органических веществ, микробную продукцию и вирусную активность (Rastelli and others, 2018) каньонов и иметь особую важность для поддержания глубоководных коралловых местообитаний (Taviani and others, 2019). Недавние сопоставления позволяют говорить о том, что между склонами и каньонами Средиземного моря отсутствуют серьезные различия по биомассе, популяционной плотности или составу фораминифер (Di Bella and others, 2019), метазойной мейофауны (Bianchelli and others, 2010; Bianchelli and Danovaro, 2019; Carugati and others, 2019) и макрофауны (Harriague and others, 2019). Между тем в новозеландских акваториях популяции организмов, питающихся детритом отложений (представители сипункулид и голотурий), и мейофауны характеризуются большей плотностью в каньонах (глубина 700–1500 м), чем на прилегающем склоне (Rowden

and others, 2016; Rosli and others, 2016), что может объясняться различиями в сложности рельефа и большей доступностью органики (Leduc and others, 2014, 2016; Rowden and others, 2016). Сильная неоднородность в средиземноморских каньонах (Gambi and others, 2019; Bianchelli and Danovaro, 2019; Carugati and others, 2019) и в Северо-Восточной Атлантике (Ingels and Vanreusel, 2013; Ingels and others, 2011) также способствует повышению локального и регионального разнообразия, сопровождаемая высоким круговоротом видов между каньонами (Harriague and others, 2019). В Мексиканском заливе присутствие глубоководных агерматипных (склерактиниевых и восьмилучевых) кораллов на батимальных глубинах усиливает популяционную плотность и влияет на состав и разнообразие у сообществ, населяющих прилегающие отложения (Demopoulos and others, 2014, 2016; Bourque and Demopoulos, 2018), причем к разным кораллам приурочены разные сообщества инфавны, возможно из-за различий в условиях обитания. Присутствие глубоководных кораллов разрывает типичную для региона связь между глубиной, с одной стороны, и популяционной плотностью и разнообразием, с другой (Wei and others, 2010). Поэтому возмущающее воздействие на коралловые местообитания будет, скорее всего, сказываться на инфавне близлежащих склонов (Bourque and Demopoulos, 2018). В целом же межрегиональная вариабельность местообитаний по таким параметрам, как состав бентических видов и численность их популяций (Bowden and others, 2016; Leduc and others, 2016), может сузить возможность для обобщений относительно различий между каньонами и склонами. Над бровкой шельфа и континентальным склоном часто наблюдается более высокая численность зоопланктона, и в частности криля (Lu and others, 2003; Lowe and others, 2018). К появлению там скоплений зоопланктона и рыб могут приводить самые разные процессы (Genin, 2004). Судя по всему, каньоны тоже могут способствовать повышенной встречаемости криля (Santora and others, 2018), однако их влияние на более мелкий зоопланктон задокументировано слабо.

2.4.2. Геоморфологическая неоднородность

Выяснение более мелкомасштабных геоморфологических характеристик склонов и каньонов, включая глубину воды, тип отложений, акусти-

ческое обратное рассеяние, волновое воздействие и неровность морского дна, позволяет определять склоновые и каньонные местообитания и делать прогнозы о бентических сообществах в отсутствие пробоотбора (Harris and Baker, 2020; Kenchington and others, 2014; Pierdomenico and others, 2015, 2019; Fanelli and others, 2018; Huang, Zhi, and others, 2018). Применение дистанционно управляемых и автономных подводных аппаратов делает сейчас возможным эффективное картирование геоморфологических элементов (Huvenne and others, 2018), сформировавшихся в результате абразии, перемещения наносов, образования отложений и тектонической нестабильности (Lastras and others, 2008), а также в результате биологических процессов (Marsh and others, 2018; Lo Iacono and others, 2019). Знание геоморфологических элементов ландшафта может становиться основой для пространственного планирования, проектирования охраняемых морских районов, планирования исследовательских работ и экономической оценки ресурсов (Harris and Baker, 2020; Ismail and others, 2015; Hogg and others, 2016), что подчеркивает актуальность прилагаемых усилий по картированию всех глубоководных участков морского дна (Mayer and others, 2018). Взаимодействие крупных батиметрических или тектонических структур с придонными течениями может приводить к обнажению или отложению твердых минеральных грунтов, корок и конкреций, в том числе образованных из ферромарганца и фосфоритов (Muiños and others, 2013), и вызывать нестабильность склонов (Teixeira and others, 2019).

2.4.3. Геохимическая неоднородность

На биоразнообразии склоновых и каньонных экосистем влияют просачивания метана и других насыщенных углеводородами флюидов из недр морского дна (Levin, 2005; Egger and others, 2018). Метановые просачивания служат обиталищем для специфических мегафауновых сообществ, в которых преобладает хемоавтотрофная фауна (см. гл. 7P). Появившиеся не так давно акустические методы обнаружения пузырьковых струй позволили установить повсеместную распространенность просачиваний и их многочисленность (Riedel and others, 2018; Skarke and others, 2014). Существует вероятность того, что потепление океана и изменение циркуляции,

могут способствовать дегазации, уже приводят к умножению участков просачивания на склонах (Phrampus and Hornbach, 2012; Johnson and others, 2015). Новыми исследованиями обнаруживается влияние просачиваний на окрестные склоновые и каньонные сообщества (Levin and others, 2016a): присутствие таких просачиваний означает наличие хемосинтезирующих источников пищи (Seabrook and others, 2019; Rathburn and others 2009; Goffredi and others, 2020), мест нагула (Treude and others, 2011; Sen and others, 2019) и субстрата в виде твердых (карбонатных) грунтов (Levin and others, 2015b, 2017), а также стимулирование продукции в водной толще (D'souza and others, 2016).

2.5. Соединенность популяций

Разрозненные популяции, сообщества и экосистемы могут оставаться жизнеспособными или восстанавливаться после пережитых возмущений благодаря экологической соединенности, определяемой как обмен особями, видами или ресурсами. На континентальных склонах и в каньонах неоднородно распределенный твердый субстрат поддерживает глубоководные кораллы и губки, которые уязвимы к возмущениям, создаваемым рыбным промыслом, и характе-

ризуются долголетием и медленностью роста и пополнения популяции, т. е. такими чертами жизненного цикла, которые не способствуют популяционной выносливости или восстановлению (Reed and others, 2007; Huvenne and others, 2016; Bennecke and Metaxas, 2017). Понимание пространственных вариаций в репродуктивном потенциале (Fountain and others, 2019) и использование гидродинамических моделей для выяснения картины экологической соединенности может помочь в выработке эффективных природоохранных стратегий (Kool and others, 2013, 2015; Metaxas and others, 2019). Недавние генетические исследования позволили продвинуться в понимании дальности расселения и динамики «источник – сток», которые у холодноводных кораллов и губок, обитающих в склоновой среде, различаются как в региональном масштабе, так и на уровне геоморфологических структур (Zeng and others, 2017, 2019; Holland and others, 2019). Региональные и локальные течения могут действовать и как маршруты расселения личинок, и как барьеры для такого расселения (Dueñas and others, 2016; Holland and others, 2019; Zeng and others, 2019).

3. Экосистемные услуги и блага, предоставляемые склонами и каньонами

Экосистемные услуги, предоставляемые склонами и каньонами, включают секвестрацию углерода и рециркуляцию нутриентов, наличие рыбных промыслов, поддержку биоразнообразия и удаление отходов; кроме того, намечается интерес к добыче невозобновляемых ресурсов (Fernandez-Arcaya and others, 2017).

3.1. Рыбные промыслы

К внешним шельфам и батинальным склонам, коегде даже в зонах кислородного минимума, приурочено множество глубоководных промыслов (Keller and others, 2015). Каньоны служат ключевыми местами нереста, прокорма и пополнения популяции для экономически ценных видов рыб (D'Onghia and others, 2015), а также моллюсков и ракообразных (Sardà and others, 2009). В каньо-

нах часто, хотя и не всегда (Ross and others, 2015), отмечаются бóльшая численность рыбных популяций, более крупный размер особей и их более быстрое созревание: это зафиксировано у акул, морского угря, мерлузы и красного пагеля (Sion and others, 2019). Обнаружение плотной приуроченности некоторых промысловых видов рыб, моллюсков и ракообразных к каньонным и склоновым метановым просачиваниям (Sellanes and others, 2008; Bowden and others, 2013; Grupe and others, 2015; Seabrook and others, 2019) позволяет говорить о возможном вкладе хемосинтетических экосистем в наличие рыбных промыслов на континентальных окраинах (Levin and others, 2016a), что побудило Тихоокеанский рыбохозяйственный совет Соединенных Штатов объявить метановые просачивания существенно значи-

мым местообитанием донных рыб тихоокеанского побережья (Pacific Coast Groundfish Fishery Management Plan, amendment 28)¹.

3.2. Поддерживающие и регулирующие услуги

Исследование склонов и каньонов ускоряет непрерывное обнаружение новых функций и услуг, таких как вырисовывающаяся роль демерсальных и глубоководных рыб на континентальных склонах в переносе углерода из глубинного рассеивающего слоя дальше в глубь океана (Trueman and others, 2014; Gallo, 2018; Vieira and others, 2019). Выяснилось, что континентальный склон у побережья Коста-Рики служит местом нагула для осьминогов на глубине 3000 м, а на ксенофиофорах (гигантские простейшие) обнаружены прикрепившиеся к ним икринки рыб (Levin and Rouse, 2019). Кроме того, обнаружены оболочки яиц пластиножаберных у метановых просачиваний на континентальном склоне у побережья Чили и в Средиземном море (Treude and others, 2011), а также на полях роговых кораллов (Etnoyer and Warrenchuk, 2007). Физические процессы внутри каньонов способствуют поднятию питательных веществ к шельфу и перемещению шельфовой продукции в более глубокие воды (Fernandez-Arcaya and others, 2017). Среди других каньонных процессов можно назвать удаление и погребение загрязнителей и отходов, а также поддержку биоразнообразия (когда каньон служит рефугиумом от рыбопромыслового давления).

3.3. Энергетика

На континентальных склонах в Мексиканском заливе, у берегов Анголы и Бразилии и в других местах добыча нефти и газа вышла на глубины более 3000 м (Merrie and others, 2014). Каньоны

аккумулируют органический материал и всё чаще становятся объектом добычи углеводородов. Например, 24 процента австралийских каньонов находятся в зоне действия нефтегазовых концессий (Fernandez-Arcaya and others, 2017). Для некоторых стран нефть и газ представляют важный источник дохода. Однако разведочные работы, штатные операции и разливы углеводородов оборачиваются воздействием на окружающую среду (Cordes and others, 2016).

Освоение возобновляемых морских энергоисточников в виде создания ветровой инфраструктуры находится пока на ранних стадиях, однако в перспективе могут появиться плавучие надводные конструкции, функционирующие в акваториях с глубиной до 1000 м (Bosch and others, 2018).

3.4. Натуральные продукты

По состоянию на 2016 год из холодноводных организмов было получено менее 3 процентов известных морских метаболитов, однако интерес к поискам биоактивных соединений в морском глубоководье растёт (Soldatou and Baker, 2017). Бактерии и грибы из глубоководных отложений на континентальных склонах оказались обильным источником соединений с антибактериальными, противогрибковыми, противораковыми и цитотоксическими свойствами (Skropeta and Wei, 2014). Перспективными объектами для биологических открытий становятся также часто встречающиеся в каньонах беспозвоночные, в частности восьмилучевые кораллы и обыкновенные губки (Winder and others, 2011; Leal and others, 2012; Blunt and others, 2013; Fernandez-Arcaya and others, 2017), равно как и метаболиты глубоководных губок, обладающие противоопухолевыми свойствами (Wright and others, 2017).

4. Антропогенные воздействия

Недавно был выполнен обзор, выявивший четыре основные категории антропогенных воздействий на каньоны: контактный донный промысел; разведка и разработка нефти и газа; загрязнители, мусор и отходы горно-обогатительных работ с суши; климатические стрессоры

(Fernandez-Arcaya and others, 2017). Континентальные склоны подвергаются тем же воздействиям, но к ним добавляется потенциальное освоение полезных ископаемых (песок, фосфориты и др.) и газогидратов.

¹ URL: www.pcouncil.org/groundfish/fishery-management-plan/.

Промышленное рыболовство на континентальных склонах и в каньонах, которое освещалось в первой «Оценке», остается крупным источником прямого возмущения для глубоководных донных сообществ (Pusceddu and others, 2014; Clark and others, 2016). Донное траление приводит к значительной модификации морского дна, усиливая концентрацию суспендированных отложений (Daly and others, 2018; Paradis and others, 2018a), изменяя распределение и свойства отложений (Martín and others, 2014a, 2014b; Paradis and others, 2018b) и действуя в качестве кумулятивного стрессора в экосистемах, испытывающих кислородные пертурбации (De Leo and others, 2017; Levin and Gallo, 2019). Рыболовная деятельность приводит к образованию мелкого и крупного мусора в виде потерянных лесок, сетей и садков (например, Pham and others, 2014; Maldonado and others, 2015; Quattrini and others, 2015; Vieira and others, 2015; Tubau and others, 2015; Woodall and others, 2015; Lastras and others, 2016; Cau and others, 2017; Giusti and others, 2019), которые опутывают или физически повреждают различные морские организмы, включая холодноводные кораллы (Aymà and others, 2019). Дополнительную озабоченность вызывает возможность распространения инвазивных видов, которые привносятся вместе с таким мусором или появляются вслед за ним.

Загрязнители, отложения, органический детрит, пластик и иной морской мусор легко перемещаются из шельфовых вод в каньоны (Salvadó and others, 2017, 2019; Tamburrino and others, 2019) и морское глубоководье (Puig and others, 2014; Leduc и другие, 2018). Аккумуляция токсичных металлов (например, кадмия) в отложениях способствует толерантности микробов к металлам (Papale and others, 2018). Всесветное распространение на поверхности континентальных склонов (в частности, под активно используемыми судходными маршрутами) получил пластиковый мусор: обертки, пакеты, бутылки и т. п. (Gerigny

and others, 2019; Mecho and others, 2020). В организмах животных, изъятых в ходе пробоотбора с глубинных участков склонов и каньонов, обнаружены микрочастицы пластика, вместе с которыми переносятся адсорбированные ими стойкие органические загрязнители (Woodall and others, 2014; Taylor and others, 2016; Courtene-Jones and others, 2017, 2019). Удаление хвостов, а именно мелких частиц, образующихся при извлечении металлов из руды на суше, может приводить к попаданию в склоновую и каньонную среду металлов (мышьяк, кобальт, никель, ртуть, свинец, цинк) и производственных отходов (цианистый натрий, известь) (Reichelt-Brushett, 2012; Ramirez-Llodra and others, 2015). В одном только 2015 году семь стран сбросили в океан хвосты с 16 шахт (Vare and others, 2018). Хвосты могут вызывать гибель фауны в результате прямого удушения или отравления либо в результате изменения взаимодействий между видами, а также становиться объектом биоаккумуляции.

Дополнительные угрозы для склоновой среды создает возникающая перспектива освоения ее участков на предмет добычи фосфатных ресурсов (у берегов Мексики, Намибии, Новой Зеландии и Южной Африки) и массивных сульфидов морского дна на подводных горах и скалах или в задуговой обстановке (Levin and others, 2016b). Значительный интерес вызывает разработка газогидратов (замерзший метан), погребенных на континентальных окраинах (Chong and others, 2016). Экологические последствия, к которым будут приводить для континентальных склонов и каньонов разработка и высвобождение газогидратов, могут оказаться сопоставимы с задокументированными последствиями уже традиционной глубоководной нефтегазодобычи и даже превысить их (Cordes and others, 2016; Olsen and others, 2016). При организации человеческой деятельности в этих ареалах важно учитывать такой фактор, как физическая нестабильность склонов и каньонов.

5. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях

Большинство каньонов и склонов остаются неизученными, особенно в Южном полушарии и на континентальных окраинах развивающихся стран. Половина всех профильных публикаций в

мире посвящена всего лишь 11 каньонам (Matos and others, 2018). В первой «Оценке» было отмечено несколько пробелов в знаниях, и по большому счету они до сих пор существуют. К ним

относится выяснение биоразнообразия мелких таксонов на твердых субстратах (например, в каньонах), где затруднен пробоотбор. Кроме того, многие склоновые среды по всему миру по-прежнему слабо изучены в таких аспектах, как видовые ареалы, типология соединенности популяций и долгосрочные тенденции выносливости и чувствительности как к естественным, так и климатическим и вообще антропогенным возмущениям. Наиболее сильные климатогенные изменения в глубоководной среде ожидаются на батимальных глубинах, совпадающих с обширными участками, которые поддерживают продуктивные рыбные промыслы или высокое биоразнообразие (Sweetman and others, 2017; см. таблицу 2).

Текущая деятельность по сохранению каньонных и склоновых экосистем опирается, как правило, на использование косвенных (физиографических, геоморфологических и океанографических) показателей и инвентаризацию видов и сообществ с целью определить уязвимые ресурсы, чтобы заниматься планированием и хозяйствованием (например, Van den Beld and others, 2017; Auster and others, 2020). Выяснение этих сведений позволяет использовать модели распространения видов, например глубоководных кораллов и губок (Ross and others, 2019; Kinlan and others, 2020; Pearman and others, 2020; Morato and others, 2020). Результаты такого моделирования позволяют принимать продуманные решения относительно геопространственного масштаба природоохранных задач и задавать ориентиры для таких программ, как Natura 2000, которая служит механизмом для охвата глубоководных участков каньонов и склонов защитным регулированием (Serrano and others, 2017; Van den Beld and others, 2017).

Чтобы рачительно распоряжаться склоновыми и каньонными экосистемами и организовывать ресурсопользование, необходимо ответить на ключевые научные вопросы, в том числе о том, каковы основные факторы, влияющие на соединенность популяций и их способность восстанавливаться после возмущений; какую роль в структурировании разнообразия играют динамика «источник – сток», нишевая специализация и видовое взаимодействие; изменяются ли в экстремальных условиях (низкий уровень кис-

лорода и pH, высокий уровень сероводорода, слабое карбонатное насыщение) и при высоко-развитых отношениях мутуализма или выгоды (симбиозы, комменсализм) правила видовых скоплений, их адаптивность или соотношение между разнообразием и функцией; существуют ли подходящие индикаторные таксоны или скопления, по состоянию которых можно косвенно судить о здоровье экосистемы (см. Levin and Sibuet, 2012, supplemental appendix). Располагая такой информацией, можно продуманно определять экологически важные или уязвимые местообитания, например экологически или биологически значимые районы (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2009) и уязвимые морские экосистемы (FAO, 2009). К числу других ключевых хозяйственных вопросов относятся следующие: а) разумно ли удалять в морском глубоководье отходы горно-обогатительных работ и каковы экологические последствия в сравнении с удалением таких отходов на суше; б) как учитывать при управлении человеческой деятельностью факт недавнего обнаружения сотен холодных просачиваний; в) как рыболовство и изменения, вызываемые климатом в приповерхностной продукции, составе фитопланктона, оксигенации и закислении, будут влиять на бентопелагическую стыковку и на перенос углерода демерсальными рыбами, которые питаются мигрирующим планктоном.

Из-за недостаточности собранных проб, объясняемой удаленностью, обширностью и неоднородностью исследуемых сред, при восполнении этих пробелов в знаниях возникают сложности. Поверхность континентального склона для глубин от 200 до 1000 м остается не охваченной батиметрическими картами примерно на 66 процентов, а для глубин от 1000 до 3000 м – на 72 процента (Mayer and others, 2018). Еще большая площадь морского дна, в том числе значительная часть континентальных окраин Африки и Южной Америки, ни разу не подвергалась биологической съемке. Зачастую первые сведения о глубинных участках окраин поступают как часть предразведочных оценок, выполняемых нефтегазовой отраслью (Pabis and others, 2019). На склонах и в каньонах необходимо наладить систематические (или непрерывные) наблюдения, позволяющие выяснять естественную изменчи-

вость и реакцию на изменение климата, а также оценивать чувствительность к антропогенным влияниям, что будет требовать сотрудничества между разными секторами и юрисдикциями (Evans and others, 2019; Garçon and others 2019; Levin and others, 2019; Vieira and others, 2019).

Существенно продвинуться в деле восполнения имеющихся пробелов можно благодаря ускоренной передаче знаний и технологий, а также становлению научной инфраструктуры в развивающихся странах (подробнее см. раздел 6 ниже).

6. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала

Крупным препятствием к успешному изучению биоразнообразия в большинстве глубоководных океанских акваторий является нехватка таксономического потенциала (Fontaine and others, 2012; Horton and others, 2017). Одни исследователи отдают всё большее предпочтение использованию ДНК как альтернативы таксономии, базирующейся на морфологии (Sinniger and others, 2016). Другие утверждают, что для того, чтобы содействовать сохранению морской среды и развивать океанскую индустрию, необходимо доводить дело до присвоения каждому виду его названия (Horton and others, 2017; Glover and others, 2018). Действие таких реалий, как доступность, наличие финансовых ресурсов и интересы ресурсодобывающих отраслей, обуславливает географическую предвзятость в изучении склонов и каньонов: наиболее исследованы исключительные экономические зоны развитых государств, омываемых северной частью Атлантического и Тихого океанов, и акватории Океании. Такая ситуация сдерживает глобальное понимание закономерностей и побудителей биоразнообразия и сказывается на распределении экспертного потенциала, который, если говорить о склоновой и каньонной среде, сосредоточен в развитых регионах, а также в Китае, Индии и (в меньшей степени) Бразилии и Чили. Кроме того, следствием этой ситуации стало неравномерное распределение технологий, аналитических инструментов и методик, которые позволяли бы продвинуться в глобальном понимании склоновых и каньонных экосистем.

Определенного выхода из названной ситуации можно добиться путем более широкого привлечения ученых из развивающихся стран к участию в программах морских наблюдений (Argo (Array for Real-time Geostrophic Oceanography), GO-SHIP

(Global Ocean Ship-based Hydrographic Investigations Program), OceanSITES (International Ocean Sustained Interdisciplinary Timeseries Environment Observation System), в наблюдательских сетях (Глобальная система наблюдений за закислением океана, Глобальная сеть по океаническому кислороду) и в научных сетях (Deep Ocean Observing Strategy, Deep Ocean Stewardship Initiative, International Network for Submarine Canyon Investigation and Scientific Exchange). Стоящая задача частично решается путем участия в учебных курсах, научных экспедициях и обобщающих семинарах или путем членства в руководящих комитетах, однако критически значимыми элементами являются личное наставничество, обеспечивающее научную поддержку, и финансовые ресурсы. Катализатором преодоления таких пробелов в потенциале могло бы стать Десятилетие Организации Объединенных Наций, посвященное науке об океане в интересах устойчивого развития (2021–2030 годы).

Склоны и каньоны представляют собой крупный источник глубоководного биоразнообразия, отчасти из-за их сильной геоморфологической, геохимической и экологической неоднородности. Это биоразнообразие находится пока на этапе открытий и остается в значительной степени не защищенным, однако в условиях, когда на изменение климата накладывается растущая антропогенная нагрузка в виде добычи полезных ископаемых, загрязнения и удаления отходов на континентальных окраинах, оно становится всё более уязвимым. Необходимо совершенствовать наблюдение за океаном, выяснение характеристик биоразнообразия, накопление таксономических знаний и передачу технологий, особенно в Южном полушарии.

Справочная литература

- Auster, P.J., and others (2020). A Scientific Basis for Designation of the Northeast Canyons and Seamounts Marine National Monument. *Frontiers in Marine Science*, vol. 7, article 566, <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00566>.
- Aymà, Anna, and others (2019). Occurrence of Living Cold-Water Corals at Large Depths Within Submarine Canyons of the Northwestern Mediterranean Sea. In *Mediterranean Cold-Water Corals: Past, Present and Future*, pp. 271–284. Springer.
- Bennecke, Swaantje, and Anna Metaxas (2017). Effectiveness of a deep-water coral conservation area: evaluation of its boundaries and changes in octocoral communities over 13 years. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 137, pp. 420–435.
- Bertrand A., and others (2011) Oxygen: a fundamental property regulating pelagic ecosystem structure in the coastal southeastern tropical Pacific. *PLoS ONE*, vol. 6, No. 12, article e29558. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029558>.
- Bianchelli, S., and others (2010). Metazoan meiofauna in deep-sea canyons and adjacent open slopes: a large-scale comparison with focus on the rare taxa. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 57, No. 3, pp. 420–433.
- Bianchelli, Silvia, and Roberto Danovaro (2019). Meiofaunal biodiversity in submarine canyons of the Mediterranean Sea: a meta-analysis. *Progress in Oceanography*, vol. 170, pp. 69–80.
- Biaostoch, A., and others. (2011). Rising Arctic Ocean temperatures cause gas hydrate destabilization and ocean acidification. *Geophysical Research Letters*, vol. 38, L08602, <https://doi.org/10.1029/2011GL047222>, 2011.
- Bindoff, N.L., and others (2019). *Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities*. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, H-O. Pörtner and others, eds.
- Blunt, J., and others (2013). Natural product reports. *Natural Product Reports*, vol. 39, pp. 237–323. <https://doi.org/10.1039/C2NP20112G>.
- Bosch, Jonathan, and others (2018). Temporally explicit and spatially resolved global offshore wind energy potentials. *Energy*, vol. 163, pp. 766–781.
- Bourque, Jill R., and Amanda W.J. Demopoulos (2018). The influence of different deep-sea coral habitats on sediment macrofaunal community structure and function. *PeerJ*, vol. 6, e5276.
- Bowden, David A., and others (2013). Cold seep epifaunal communities on the Hikurangi Margin, New Zealand: composition, succession, and vulnerability to human activities. *PLoS One*, vol. 8, No. 10, e76869.
- Bowden, David A., and others (2016). Deep-sea seabed habitats: Do they support distinct mega-epifaunal communities that have different vulnerabilities to anthropogenic disturbance? *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 107, pp. 31–47.
- Cardich, J., and others (2019). Multidecadal changes in marine subsurface oxygenation off Central Peru during the last ca. 170 years. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, article 270, <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00270>.
- Carney, Robert S. (2005). Zonation of deep biota on continental margins. In *Oceanography and Marine Biology*, pp. 221–288. CRC Press.
- Carugati, L., and others (2019). Patterns and drivers of meiofaunal assemblages in the canyons Polcevera and Bisagno of the Ligurian Sea (NW Mediterranean Sea). *Progress in Oceanography*, vol. 175, pp. 81–91.
- Cau, Alessandro, and others (2017). Submarine canyons along the upper Sardinian slope (Central Western Mediterranean) as repositories for derelict fishing gears. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 123, Nos. 1–2, pp. 357–364.

- Celussi, Mauro, and others (2018). Planktonic prokaryote and protist communities in a submarine canyon system in the Ligurian Sea (NW Mediterranean). *Progress in Oceanography*, vol. 168, pp. 210–221.
- Chiggiato, Jacopo, and others (2016). Dense-water bottom currents in the Southern Adriatic Sea in spring 2012. *Marine Geology*, vol. 375, pp. 134–145.
- Chong, Rong Zheng, and others (2016). Review of natural gas hydrates as an energy resource: Prospects and challenges. *Applied Energy*, vol. 162, pp. 1633–1652.
- Clark, Malcolm R., and others (2016). The impacts of deep-sea fisheries on benthic communities: a review. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 73, No. suppl. 1, pp. i51–i69.
- Cordes, Erik E., and others (2016). Environmental impacts of the deep-water oil and gas industry: a review to guide management strategies. *Frontiers in Environmental Science*, vol. 4, art. 58.
- Corinaldesi, Cinzia, and others (2019a). High diversity of benthic bacterial and archaeal assemblages in deep-Mediterranean canyons and adjacent slopes. *Progress in Oceanography*, vol. 171, pp. 154–161.
- Corinaldesi, Cinzia, and others (2019b). High rates of viral lysis stimulate prokaryotic turnover and C recycling in bathypelagic waters of a Ligurian canyon (Mediterranean Sea). *Progress in Oceanography*, vol. 171, pp. 70–75.
- Courtene-Jones, Winnie, and others (2017). Microplastic pollution identified in deep-sea water and ingested by benthic invertebrates in the Rockall Trough, North Atlantic Ocean. *Environmental Pollution*, vol. 231, pp. 271–280.
- Courtene-Jones, Winnie, and others (2019). Consistent microplastic ingestion by deep-sea invertebrates over the last four decades (1976–2015), a study from the North East Atlantic. *Environmental Pollution*, vol. 244, pp. 503–512.
- Czeschel, Rena, and others (2015). Circulation, eddies, oxygen and nutrient changes in the eastern tropical South Pacific Ocean. *Ocean Science*, vol. 11, pp. 455–470, <https://doi.org/10.5194/os-11-455-2015>.
- Daly, Eoghan, and others (2018). Bottom trawling at Whittard Canyon: evidence for seabed modification, trawl plumes and food source heterogeneity. *Progress in Oceanography*.
- Danovaro, R., and others (2009). α -, β -, γ -, δ - and ε -diversity of deep-sea nematodes in canyons and open slopes of Northeast Atlantic and Mediterranean margins. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 396, pp. 197–209.
- De Leo, Fabio C., and others (2010). Submarine canyons: hotspots of benthic biomass and productivity in the deep sea. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 277, No. 1695, pp. 2783–2792.
- De Leo, Fabio C., and others (2012). The effects of submarine canyons and the oxygen minimum zone on deep-sea fish assemblages off Hawai'i. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 64, pp. 54–70.
- De Leo, Fabio C., and others (2017). Bottom trawling and oxygen minimum zone influences on continental slope benthic community structure off Vancouver Island (NE Pacific). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 137, pp. 404–419.
- Demopoulos, Amanda W.J., and others (2016). Impacts of the Deepwater Horizon oil spill on deep-sea coral-associated sediment communities. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 561, pp. 51–68.
- Demopoulos, Amanda W.J., and others (2014). Biodiversity and community composition of sediment macrofauna associated with deep-sea *Lophelia pertusa* habitats in the Gulf of Mexico. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 93, pp. 91–103.
- Di Bella, L., and others (2019). Living foraminiferal assemblages in two submarine canyons (Polcevera and Bisagno) of the Ligurian basin (Mediterranean Sea). *Progress in Oceanography*, vol. 173, pp. 114–133.
- Diociaiuti, Tommaso, and others (2019). Vertical distribution of microbial communities abundance and biomass in two NW Mediterranean Sea submarine canyons. *Progress in Oceanography*, vol. 175, pp. 14–23.

- Domke, Lia, and others (2017). Influence of an oxygen minimum zone and macroalgal enrichment on benthic megafaunal community composition in a NE Pacific submarine canyon. *Marine Ecology*, vol. 38, No. 6, pp. 12481.
- D’Onghia, Gianfranco, and others (2015). Exploring composition and behaviour of fish fauna by in situ observations in the Bari Canyon (Southern Adriatic Sea, Central Mediterranean). *Marine Ecology*, vol. 36, No. 3, pp. 541–556.
- D’souza, N.A., and others (2016). Elevated surface chlorophyll associated with natural oil seeps in the Gulf of Mexico. *Nature Geoscience*, vol. 9, No. 3, p. 215.
- Dueñas, Luisa F., and others (2016). The Antarctic Circumpolar Current as a diversification trigger for deep-sea octocorals. *BMC Evolutionary Biology*, vol. 16, No. 1, art. 2.
- Egger, Matthias, and others (2018). Global diffusive fluxes of methane in marine sediments. *Nature Geoscience*, vol. 11, No. 6, p. 421.
- Ekau, Werner, and others (2010). Impacts of hypoxia on the structure and processes in pelagic communities (zooplankton, macro-invertebrates and fish). *Biogeosciences*, vol. 7, No. 5, pp. 1669–1699.
- Espinoza-Morriberón, D., and others. (2017). Impacts of El Niño events on the Peruvian upwelling system productivity. *Journal of Geophysical Research Oceans*, vol. 122, pp. 5423–5444, <https://doi.org/10.1002/2016JC012439>.
- Etnoyer, Peter, and Jon Warrenchuk (2007). A catshark nursery in a deep gorgonian field in the Mississippi Canyon, Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, vol. 81, No. 3, pp. 553–559.
- Evans, Karen, and others (2019). The Global Integrated World Ocean Assessment: Linking Observations to Science and Policy Across Multiple Scales. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 298.
- Fanelli, Emanuela, and others (2018). Deep-sea mobile megafauna of Mediterranean submarine canyons and open slopes: analysis of spatial and bathymetric gradients. *Progress in Oceanography*, vol. 168, pp. 23–34.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009) = Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО) (2011). *Международные руководящие принципы регулирования глубоководного промысла в открытом море*. Рим.
- _____ (2019). *Deep-Ocean Climate Change Impacts on Habitat, Fish and Fisheries*. Fisheries and Aquaculture Technical Paper 638. Rome.
- Fernandez-Arcaya, Ulla, and others (2017). Ecological role of submarine canyons and need for canyon conservation: a review. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 5.
- Fontaine, Benoît, and others (2012). 21 years of shelf life between discovery and description of new species. *Current Biology*, vol. 22, No. 22, pp. R943–R944.
- Fountain, Christopher Tyler, and others (2019). Individual and Population Level Variation in the Reproductive Potential of Deep-Sea Corals From Different Regions Within the Gulf of Maine. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 172.
- Gallo, Natalya D. (2018). Influence of ocean deoxygenation on demersal fish communities: lessons from upwelling margins and oxygen minimum zones. PhD Thesis, UC San Diego.
- Gallo, Natalya D., and others (2020). Dissolved oxygen and temperature best predict of deep-sea fish community structure in the Gulf of California with implications for climate change. In *Marine Ecology Progress Series*, vol. 637, pp. 159–180.
- Gambi, Cristina, and others (2019). Biodiversity and distribution of meiofauna in the Gioia, Petrace and Dohrn Canyons (Tyrrhenian Sea). *Progress in Oceanography*, vol. 171, pp. 162–174.
- Garçon, Véronique, and others (2019). Multidisciplinary Observing in the World Ocean’s Oxygen Minimum Zone regions: from climate to fish – the VOICE initiative. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 722.
- Gehlen, M., and others (2014). Projected pH reductions by 2100 might put deep North Atlantic biodiversity at risk. *Biogeosciences*, vol. 11, No. 23, pp. 6955–6967. <https://doi.org/10.5194/bg-11-6955-2014>.

- Genin, Amatzia (2004). Bio-physical coupling in the formation of zooplankton and fish aggregations over abrupt topographies. *Journal of Marine Systems*, vol. 50, No. 1, pp. 3–20. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2003.10.008>.
- Gerigny, O., and others (2019) Seafloor litter from the continental shelf and canyons in French Mediterranean water: distribution, typologies and trends. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 146, pp. 653–666. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.030>.
- Gilly, William F., and others (2013). Oceanographic and biological effects of shoaling of the oxygen minimum zone. *Annual Review of Marine Science*, vol. 5, pp. 393–420.
- Giusti, M., and others (2019). Coral forests and Derelict Fishing Gears in submarine canyon systems of the Ligurian Sea. *Progress in Oceanography*, vol. 178, art. 102186.
- Glover, Adrian G., and others (2018). Point of View: Managing a sustainable deep-sea 'blue economy' requires knowledge of what actually lives there. *ELife*, vol. 7, e41319.
- Goffredi, S.K., and others (2020). Methanotrophic bacterial symbionts fuel dense populations of deep-sea feather duster worms (Sabellida, Annelida) and extend the spatial influence of methane seepage. *Science Advances*, vol. 6, No. 14.
- Gooday, A.J., and others (2009). Faunal responses to oxygen gradients on the Pakistan margin: a comparison of foraminiferans, macrofauna and megafauna. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 56, Nos. 6–7, pp. 488–502.
- Gooday, A.J., and others (2010). Habitat heterogeneity and its influence on benthic biodiversity in oxygen minimum zones. *Marine Ecology*, vol. 31, No. 1, pp. 125–147.
- Graco M., and others. (2017). The OMZ and nutrients features as a signature of interannual and low frequency variability off the Peruvian upwelling system. *Biogeosciences*, vol. 14, pp. 4601–4617. <https://doi.org/10.5194/bg-14-4601-2017>.
- Grupe, Benjamin M., and others (2015). Methane seep ecosystem functions and services from a recently discovered southern California seep. *Marine Ecology*, vol. 36, pp. 91–108.
- Harriague, Anabella Covazzi, and others (2019). Macrofaunal assemblages in canyon and adjacent slope of the NW and Central Mediterranean systems. *Progress in Oceanography*, vol. 171, pp. 38–48.
- Harris, Peter, and others (2014). Geomorphology of the oceans. *Marine Geology*, vol. 352. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.01.011>.
- Harris, Peter T., and Elaine K. Baker (2020). GeoHab atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats—synthesis and lessons learned. In *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat*, pp. 969–990. Elsevier.
- Helly, John J., and Lisa A. Levin (2004). Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 51, No. 9, pp. 1159–1168.
- Hidalgo, Pamela, and others (2005). Ontogenetic vertical distribution and diel migration of the copepod *Eucalanus inermis* in the oxygen minimum zone off northern Chile (20–21° S). *Journal of Plankton Research*, vol. 27, pp. 519–529.
- Hogg, Oliver T., and others (2016). Landscape mapping at sub-Antarctic South Georgia provides a protocol for underpinning large-scale marine protected areas. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 33163.
- Holland, L.P., and others (2019). *Genetic connectivity of deep-sea corals in the New Zealand region*. New Zealand Aquatic Environment & Biodiversity Report No. 245, Wellington.
- Horton, Tammy, and others (2017). Improving nomenclatural consistency: a decade of experience in the World Register of Marine Species. *European Journal of Taxonomy*, No. 389.
- Huang, Huai-Hsuan May, and others (2018). Benthic biotic response to climate changes over the last 700,000 years in a deep marginal sea: impacts of deoxygenation and the Mid-Brunhes Event. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, vol. 33, No. 7, pp. 766–777.

- Huang, Huai-Hsuan May, and others (2019). Deep-sea ostracod faunal dynamics in a marginal sea: biotic response to oxygen variability and mid-Pleistocene global changes. *Paleobiology*, vol. 45, No. 1, pp. 85–97.
- Huang, Zhi, and others (2018). A conceptual surrogacy framework to evaluate the habitat potential of submarine canyons. *Progress in Oceanography*, vol. 169, pp. 199–213. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.11.007>.
- Hunter, William R., and others (2011). Epi-benthic megafaunal zonation across an oxygen minimum zone at the Indian continental margin. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 58, No. 6, pp. 699–710.
- Huvenne, V.A.I., and others (2016). Effectiveness of a deep-sea cold-water coral Marine Protected Area, following eight years of fisheries closure. *Biological Conservation*, vol. 200, pp. 60–69.
- Huvenne, V.A.I., and others (2018). ROVs and AUVs. In *Submarine Geomorphology*, pp. 93–108. Springer.
- Ingels, Jeroen, and others (2009). Nematode diversity and its relation to the quantity and quality of sedimentary organic matter in the deep Nazaré Canyon, Western Iberian Margin. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 56, No. 9, pp. 1521–1539.
- Ingels, Jeroen, and others (2011). Structural and functional diversity of Nematoda in relation with environmental variables in the Setúbal and Cascais canyons, Western Iberian Margin. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 58, Nos. 23–24, pp. 2354–2368.
- Ingels, Jeroen, and Ann Vanreusel (2013). The importance of different spatial scales in determining structural and functional characteristics of deep-sea infauna communities. *Biogeosciences*, vol. 10, No. 7, pp. 4547–4563.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2019) = Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) (2019). *Океан и криосфера в условиях изменяющегося климата: специальный доклад МГЭИК: резюме для политиков*, под ред. Х.-О. Пёртнера и др.
- Ismail, Khaira, and others (2015). Objective automated classification technique for marine landscape mapping in submarine canyons. *Marine Geology*, vol. 362, pp. 17–32.
- Johnson, H. Paul, and others (2015). Analysis of bubble plume distributions to evaluate methane hydrate decomposition on the continental slope. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 16, No. 11, pp. 3825–3839.
- Jones, Daniel O.B., and others (2014). Global reductions in seafloor biomass in response to climate change. *Global Change Biology*, vol. 20, No. 6, pp. 1861–1872.
- Keller, Aimee A., and others (2015). Occurrence of demersal fishes in relation to near-bottom oxygen levels within the California Current large marine ecosystem. *Fisheries Oceanography*, vol. 24, No. 2, pp. 162–176.
- Kelly, Noreen E., and others (2010). Biodiversity of the deep-sea continental margin bordering the Gulf of Maine (NW Atlantic): relationships among sub-regions and to shelf systems. *PloS One*, vol. 5, No. 11, e13832.
- Kenchington, E.L., and others (2014). Limited depth zonation among bathyal epibenthic megafauna of the Gully submarine canyon, northwest Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 104, pp. 67–82.
- Kinlan, B.P., and others (2020). Predictive modeling of suitable habitat for deep-sea corals offshore the Northeast United States. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 158, <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2020.103229>.
- Kool, Johnathan T., and others (2015). Simulated larval connectivity among Australia's southwest submarine canyons. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 539, pp. 77–91.
- Kool, Johnathan T., and others (2013). Population connectivity: recent advances and new perspectives. *Landscape Ecology*, vol. 28, No. 2, pp. 165–185.

- Koslow, J. Anthony, and others (2011). Impact of declining intermediate-water oxygen on deepwater fishes in the California Current. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 436, pp. 207–218.
- Lastras, G., and others (2008). Geomorphology and sedimentary features in the Central Portuguese submarine canyons, Western Iberian margin. *Geomorphology*, vol. 103, No. 3, pp. 310–329.
- Lastras, G., and others (2016). Cold-Water Corals and Anthropogenic Impacts in La Fonera Submarine Canyon Head, Northwestern Mediterranean Sea. *PLoS One*, vol. 11, No. 5, pp. 1–36. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155729>.
- Leal, M.C., and others (2012). Trends in the discovery of new marine natural products from invertebrates over the last two decades – where and what are we bioprospecting. *PLoS One*, vol. 7, No. 1, art. e30580, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030580>.
- Leduc, Daniel, and others (2014). Unusually high food availability in Kaikoura Canyon linked to distinct deep-sea nematode community. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 104, pp. 310–318.
- Leduc, Daniel, and others (2016). Limited differences among habitats in deep-sea macro-infaunal communities off New Zealand: implications for their vulnerability to anthropogenic disturbance. *Marine Ecology*, vol. 37, No. 4, pp. 845–866.
- Leduc, Daniel, and others (2018). Quantifying the Transfer of Terrestrial Organic Matter into Two Contrasting New Zealand Submarine Canyon Systems Using Bulk and Compound-Specific Stable Isotopes. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24107.08482>.
- Levin, Lisa A. (2003). Oxygen minimum zone benthos: Adaptation and community response to hypoxia. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, vol. 41, pp. 1–45.
- _____ (2005). Ecology of cold seep sediments: interactions of fauna with flow, chemistry and microbes. In *Oceanography and Marine Biology*, pp. 11–56. CRC Press.
- _____ (2018). Manifestation, drivers, and emergence of open ocean deoxygenation. *Annual Review of Marine Science*, vol. 10, pp. 229–260.
- Levin, Lisa A., and Greg Rouse (2019). Giant Protists (Xenophyophores) Function as Fish Nurseries. *Ecology*. <https://doi.org/10.1002/ecy.2933>.
- Levin, Lisa A., and John D. Gage (1998). Relationships between oxygen, organic matter and the diversity of bathyal macrofauna. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 45, No.1–3, pp. 129–163.
- Levin, Lisa A., and Myriam Sibuet (2012). Understanding continental margin biodiversity: a new imperative. *Annual Review of Marine Science*, vol. 4, pp. 79–112.
- Levin, Lisa A., and Natalya D. Gallo (2019). Chapter 8.5: Continental margin benthic and demersal biota. In *Ocean Deoxygenation – Everyone’s Problem: Causes, Impacts, Consequences and Solutions*, D. Laffoley and J.M. Baxter, eds. Gland: IUCN.
- Levin, Lisa A., and others (2001). Environmental influences on regional deep-sea species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 32, No. 1, pp. 51–93.
- Levin, Lisa A., and others (2009). Oxygen and organic matter thresholds for benthic faunal activity on the Pakistan margin oxygen minimum zone (700–1100 m). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 56, Nos. 6–7, pp. 449–471.
- Levin, Lisa A., and others (2013). Macrofaunal colonization across the Indian Margin oxygen minimum zone. *Biogeosciences*, vol. 10, pp. 7161–77.
- Levin, Lisa A., and others (2015a). Biodiversity on the rocks: macrofauna inhabiting authigenic carbonate at Costa Rica methane seeps. *PLoS One*, vol. 10, No. 7, e0131080.
- Levin, Lisa A., and others (2015b). Comparative biogeochemistry-ecosystem-human interactions on dynamic continental margins. *Journal of Marine Systems*, vol. 141, pp. 3–17.

- Levin, Lisa A., and others (2016a). Defining “serious harm” to the marine environment in the context of deep-seabed mining. *Marine Policy*, vol. 74, pp. 245–259.
- Levin, Lisa A., and others (2016b). Hydrothermal vents and methane seeps: rethinking the sphere of influence. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 72.
- Levin, Lisa A., and others (2017). Methane seepage effects on biodiversity and biological traits of macrofauna inhabiting authigenic carbonates. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 137, pp. 26–41.
- Levin, Lisa A., and others (2019). Global observing needs in the deep ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 241. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00241>.
- Lo Iacono, Claudio, and others (2019). 15 Habitat Mapping of Cold-Water Corals in the Mediterranean Sea. In *Mediterranean Cold-Water Corals: Past, Present and Future: Understanding the Deep-Sea Realms of Coral*, Covadonga Orejas and Carlos Jiménez, eds., pp. 157–171. Cham, Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91608-8_15.
- Lowe, Michael R., and others (2018). Drivers of euphausiid distribution and abundance in the Northeast U.S. Shelf Large Marine Ecosystem. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 75, No. 4, pp. 1280–95. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx247>.
- Lu, Beiwei, and others (2003). Cross-shore separation of adult and juvenile euphausiids in a shelf-break alongshore current. *Progress in Oceanography*, vol. 57, No. 3, pp. 381–404. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(03\)00107-1](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(03)00107-1).
- Luna, Gian Marco, and others (2016). Dense water plumes modulate richness and productivity of deep sea microbes. *Environmental Microbiology*, vol. 18, No. 12, pp. 4537–4548.
- Maldonado, Manuel, and others (2015). Aggregated clumps of lithistid sponges: a singular, reef-like bathyal habitat with relevant paleontological connections. *PLoS One*, vol. 10, No. 5, e0125378.
- Marsh, Leigh, and others (2018). Geomorphological evidence of large vertebrates interacting with the seafloor at abyssal depths in a region designated for deep-sea mining. *Royal Society Open Science*, vol. 5, No.8, 180286.
- Martín, Jacobo, and others (2014a). Impact of bottom trawling on deep-sea sediment properties along the flanks of a submarine canyon. *PLoS One*, vol. 9, No. 8, e104536.
- Martín, Jacobo, and others (2014b). Trawling-induced daily sediment resuspension in the flank of a Mediterranean submarine canyon. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 104, pp. 174–183.
- Matos, F.L., and others (2018). Canyons pride and prejudice: Exploring the submarine canyon research landscape, a history of geographic and thematic bias. *Progress in Oceanography*, vol. 169, pp. 6–19.
- Mayer, Larry, and others (2018). The Nippon Foundation—GEBCO seabed 2030 project: The quest to see the world’s oceans completely mapped by 2030. *Geosciences*, vol. 8, No. 2, art. 63.
- McCormick, Lillian R., and others (2019). Vision is highly sensitive to oxygen availability in marine invertebrate larvae. *Journal of Experimental Biology*, vol. 222, No. 10, jeb200899.
- Mecho, A., and others (2020). Deep-sea litter in the Gulf of Cadiz (Northeastern Atlantic, Spain). *Marine Pollution Bulletin*, vol. 153, 110969. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110969>.
- Menot, Lenaick, and others (2010). New perceptions of continental margin biodiversity. *Life in the World’s Oceans: Diversity, Distribution, and Abundance, Edited by: McIntyre, AD79–103*.
- Merrie, Andrew, and others (2014). An ocean of surprises – trends in human use, unexpected dynamics and governance challenges in areas beyond national jurisdiction. *Global Environmental Change*, vol. 27, pp. 19–31.
- Metaxas, Anna, and others (2019). Hydrodynamic connectivity of habitats of deep-water corals in Corsair Canyon, Northwest Atlantic: a case for cross-boundary conservation. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 159.

- Morato, Telmo, and others. (2020). Climate-induced changes in the suitable habitat of cold-water corals and commercially important deep-sea fishes in the North Atlantic. *Global Change Biology*, vol. 26, pp. 2181–2202. <https://doi.org/10.1111/gcb.14996>.
- Muiños, Susana Bolhão, and others (2013). Deep-sea Fe-Mn Crusts from the Northeast Atlantic Ocean: Composition and Resource Considerations. *Marine Georesources & Geotechnology*, vol. 31, No. 1, pp. 40–70. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2012.661215>.
- Narayanaswamy, Bhavani E., and others (2010). Deep-water macrofaunal diversity in the Faroe-Shetland region (NE Atlantic): a margin subject to an unusual thermal regime. *Marine Ecology*, vol. 31, No. 1, pp. 237–246.
- Netburn, Amanda N., and J. Anthony Koslow (2015). Dissolved oxygen as a constraint on daytime deep scattering layer depth in the southern California current ecosystem. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 104, pp. 149–158.
- Olsen, B.R., and others (2016). Environmental challenges related to offshore mining and gas hydrate extraction. *Miljødirektoratet. Rapport M-532*.
- Pabis, Krzysztof, and others (2019). Natural and anthropogenic factors influencing abundance of the benthic macrofauna along the shelf and slope of the Gulf of Guinea, a large marine ecosystem off West Africa. *Oceanologia*.
- Papale, Maria, and others (2018). Heavy-metal resistant microorganisms in sediments from submarine canyons and the adjacent continental slope in the northeastern Ligurian margin (Western Mediterranean Sea). *Progress in Oceanography*, vol. 168, pp. 155–168.
- Paradis, Sarah, and others (2018a). Enhancement of sedimentation rates in the Foix Canyon after the renewal of trawling fleets in the early XXIst century. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 132, pp. 51–59.
- Paradis, Sarah, and others (2018b). Spatial distribution of sedimentation-rate increases in Blanes Canyon caused by technification of bottom trawling fleet. *Progress in Oceanography*, vol. 169, pp. 241–252.
- Pearman, T.R.R., and others (2020). Improving the predictive capability of benthic species distribution models by incorporating oceanographic data – towards holistic ecological modelling of a submarine canyon. *Progress in Oceanography*, vol. 184, art. 102338.
- Pham, Christopher K., and others (2014). Marine litter distribution and density in European seas, from the shelves to deep basins. *PloS One*, vol. 9, No. 4, e95839.
- Phrampus, Benjamin J., and Matthew J. Hornbach (2012). Recent changes to the Gulf Stream causing widespread gas hydrate destabilization. *Nature*, vol. 490, No. 7421, p. 527.
- Pierdomenico, M. and others (2019). Megafauna distribution along active submarine canyons of the central Mediterranean: relationships with environmental variables. *Progress in Oceanography*, vol. 171, pp. 49–69.
- Pierdomenico, M. and others (2015). Sedimentary facies, geomorphic features and habitat distribution at the Hudson Canyon head from AUV multibeam data. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 121, pp. 112–125.
- Pizarro-Koch, M., and others (2018). Seasonal variability of the southern tip of the Oxygen Minimum Zone in the Eastern South Pacific (30°–38°S): A modeling study. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 124, pp. 8574–8604. <https://doi.org/10.1029/2019JC015201>.
- Priede, Imants G., and others (2010). Deep-sea demersal fish species richness in the Porcupine Seabight, NE Atlantic Ocean: global and regional patterns. *Marine Ecology*, vol. 31, No. 1, pp. 247–260.
- Puig, Pere, and others (2014). Contemporary sediment-transport processes in submarine canyons. *Annual Review of Marine Science*, vol. 6, pp. 53–77.

- Pusceddu, Antonio, and others (2014). Chronic and intensive bottom trawling impairs deep-sea biodiversity and ecosystem functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, No. 24, pp. 8861–8866.
- Quattrini, Andrea M., and others (2015). Exploration of the canyon-incised continental margin of the northeastern United States reveals dynamic habitats and diverse communities. *PLoS One*, vol. 10, No. 10, e0139904.
- Ramirez-Llodra, Eva, and others (2015). Submarine and deep-sea mine tailing placements: a review of current practices, environmental issues, natural analogs and knowledge gaps in Norway and internationally. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 97, No. 1, pp. 13–35. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.062>.
- Rastelli, Eugenio, and others (2018). Rapid response of benthic deep-sea microbes (viruses and prokaryotes) to an intense dense shelf water cascading event in a submarine canyon of the NW Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography*, vol. 168, pp. 35–42.
- Rathburn, A.E., and others (2009). Geological and biological heterogeneity of the Aleutian margin (1965–4822 m). *Progress in Oceanography*, vol. 80, Nos. 1–2, pp. 22–50.
- Reed, John K., and others (2007). Impacts of bottom trawling on a deep-water *Oculina* coral ecosystem off Florida. *Bulletin of Marine Science*, vol. 81, No. 3, pp. 481–496.
- Reichelt-Brushett, Amanda (2012). Risk assessment and ecotoxicology: limitations and recommendations for ocean disposal of mine waste in the coral triangle. *Oceanography*, vol. 25, No. 4, pp. 40–51.
- Rex, Michael A., and Gilbert T. Rowe (1983). Geographic patterns of species diversity in the deep-sea benthos. In *The Sea*, pp. 453–472. New York: Wiley.
- Rex, Michael A., and Ron J. Etter (2010). *Deep-Sea Biodiversity: Pattern and Scale*. Cambridge: Harvard University Press.
- Riedel, Michael, and others (2018). Distributed natural gas venting offshore along the Cascadia margin. *Nature Communications*, vol. 9, No. 1, pp. 1–14.
- Rosli, Norliana, and others (2016). Differences in meiofauna communities with sediment depth are greater than habitat effects on the New Zealand continental margin: implications for vulnerability to anthropogenic disturbance. *PeerJ*, vol. 4, e2154.
- Ross, Rebecca E., and others (2019). Combining distribution and dispersal models to identify a particularly vulnerable marine ecosystem. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 574. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00574>.
- Ross, Steve W., and others (2015). Demersal fish distribution and habitat use within and near Baltimore and Norfolk Canyons, US middle Atlantic slope. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 103, pp. 137–154.
- Rowden, Ashley A., and others (2016). Habitat differences in deep-sea megafaunal communities off New Zealand: implications for vulnerability to anthropogenic disturbance and management. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 241.
- Salvadó, Joan A., and others (2017). Transfer of lipid molecules and polycyclic aromatic hydrocarbons to open marine waters by dense water cascading events. *Progress in Oceanography*, vol. 159, pp. 178–194.
- Salvadó, Joan A., and others (2019). Influence of deep water formation by open-sea convection on the transport of low hydrophobicity organic pollutants in the NW Mediterranean Sea. *Science of the Total Environment*, vol. 647, pp. 597–605.
- Salvatteci, Renato, and others (2019). Fish debris in sediments from the last 25 kyr in the Humboldt Current reveal the role of productivity and oxygen on small pelagic fishes. *Progress in Oceanography*, vol. 176, art. 102114. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.05.006>.

- Santora, Jarrod A., and others (2018). Submarine canyons represent an essential habitat network for krill hotspots in a Large Marine Ecosystem. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 7579. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25742-9>.
- Sardà, F., and others (2009). Relationship between environment and the occurrence of the deep-water rose shrimp *Aristeus antennatus* (Risso, 1816) in the Blanes submarine canyon (NW Mediterranean). *Progress in Oceanography*, vol. 82, No. 4, pp. 227–238.
- Sato, Kirk N., and others (2018). Response of sea urchin fitness traits to environmental gradients across the southern California oxygen minimum zone. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 258.
- Schimmelmann, Arndt, and others (2016). Varves in marine sediments: a review. *Earth-Science Reviews*, vol. 159, pp. 215–246.
- Seabrook, Sarah, and others (2019). Flipping for Food: The use of a methane seep by Tanner Crabs (*Chionoecetes tanneri*). *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 43.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2009) = Конвенция о биологическом разнообразии (2008). Конференция сторон, двенадцатое совещание, решение XII/22 «Морское и прибрежное биоразнообразие: экологически или биологически значимые морские районы (ЭБЗР)». www.cbd.int/decision/cop/?id=13385.
- Seibel, Brad A., and others (2016). Hypoxia tolerance and metabolic suppression in oxygen minimum zone euphausiids: implications for ocean deoxygenation and biogeochemical cycles. *Integrative and Comparative Biology*, vol. 56, No. 4, pp. 510–523.
- Seibel, Brad A., and others (2018). Metabolic suppression in the pelagic crab, *Pleuroncodes planipes*, in oxygen minimum zones. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, vol. 224, pp. 88–97.
- Sellanes, Javier, and others (2010). Diversity patterns along and across the Chilean margin: a continental slope encompassing oxygen gradients and methane seep benthic habitats. *Marine Ecology*, vol. 31, No. 1, pp. 111–124.
- Sellanes, Javier, and others (2008). Megafauna community structure and trophic relationships at the recently discovered Concepción Methane Seep Area, Chile, 36 S. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 65, No. 7, pp. 1102–1111.
- Sen, Arunima, and others (2019). Atypical biological features of a new cold seep site on the Lofoten-Vest-erålen continental margin (northern Norway). *Scientific Reports*, vol. 9, No. 1, art. 1762.
- Serrano, A., and others (2017). Deep-sea benthic habitats modeling and mapping in a NE Atlantic seamount (Galicia Bank) *Deep-sea Research Part 1*, vol. 126, pp. 115–127
- Sinniger, Frédéric, and others (2016). Worldwide analysis of sedimentary DNA reveals major gaps in taxonomic knowledge of deep-sea benthos. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 92.
- Sion, Letizia, and others (2019). Does the Bari Canyon (Central Mediterranean) influence the fish distribution and abundance? *Progress in Oceanography*, vol. 170, pp. 81–92.
- Skarke, Adam, and others (2014). Widespread methane leakage from the sea floor on the northern US Atlantic margin. *Nature Geoscience*, vol. 7, No. 9, p. 657.
- Skropeta, D., and L. Wei (2014). Recent advances in deep-sea natural products. *Natural Product Reports*, vol. 31, pp. 999–1025. <https://doi.org/10.1039/C3NP70118B>.
- Smith, Craig R., and others (2000). Variations in bioturbation across the oxygen minimum zone in the northwest Arabian Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 47, Nos. 1–2, pp. 227–257.
- Soldatou, Sylvia, and Bill J. Baker (2017). Cold-water marine natural products, 2006 to 2016. *Natural Product Reports*, vol. 34, pp. 585–626. <https://doi.org/10.1039/C6NP00127K>.

- Sperling, Erik A., and others (2013). Oxygen, ecology, and the Cambrian radiation of animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, No. 33, pp. 13446–13451.
- Sperling, Erik A., and others (2016). Biodiversity response to natural gradients of multiple stressors on continental margins. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 283, No. 1829, 20160637.
- Stramma, Lothar, and others (2008). Expanding oxygen-minimum zones in the tropical oceans. *Science*, vol. 320, No. 5876, pp. 655–658.
- Stramma, Lothar, and others (2010). Ocean oxygen minima expansions and their biological impacts. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 57, No. 4, pp. 587–595.
- Sweetman, Andrew K., and others (2017). Major impacts of climate change on deep-sea benthic ecosystems. *Elementa: Science of the Anthropocene*, vol. 5, No. 4.
- Tamburrino, Stella, and others (2019). Pathways of inorganic and organic contaminants from land to deep sea: the case study of the Gulf of Cagliari (W Tyrrhenian Sea). *Science of the Total Environment*, vol. 647, pp. 334–341.
- Taviani, Marco, and others (2019). U/Th dating records of cold-water coral colonization in submarine canyons and adjacent sectors of the southern Adriatic Sea since the Last Glacial Maximum. *Progress in Oceanography*, vol. 175.
- Taylor, M.L., and others (2016). Plastic microfibre ingestion by deep-sea organisms. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 33997.
- Taylor, J.R., and others (2014). Physiological effects of environmental acidification in the deep-sea urchin *Strongylocentrotus fragilis*. *Biogeosciences*, vol. 11, No. 5, pp. 1413–1423.
- Teixeira, Manuel, and others (2019). Interaction of along slope and downslope processes in the Alentejo Margin (SW Iberia) – Implications on slope stability. *Marine Geology*, vol. 410, pp. 88–108. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2018.12.011>.
- Treude, Tina, and others (2011). Elasmobranch egg capsules associated with modern and ancient cold seeps: a nursery for marine deep-water predators. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 437, pp. 175–181.
- Trueman, C.N., and others (2014). Trophic interactions of fish communities at midwater depths enhance long-term carbon storage and benthic production on continental slopes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 281, No. 1787, 20140669.
- Tubau, Xavier, and others (2015). Marine litter on the floor of deep submarine canyons of the Northwestern Mediterranean Sea: the role of hydrodynamic processes. *Progress in Oceanography*, vol. 134, pp. 379–403.
- Tutasi, Pritha, and Ruben Escribano (2020). Zooplankton diel vertical migration and downward C flux into the oxygen minimum zone in the highly productive upwelling region off northern Chile. *Biogeosciences*, vol. 17, pp. 455–473.
- United Nations (2017a). Chapter 36F: Open ocean deep sea. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017b). Chapter 51: Biological communities on seamounts and other submarine features potentially threatened by disturbance. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017c). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van den Beld, I.M., and others (2017). Cold-water coral habitats in submarine canyons of the Bay of Biscay. *Frontiers in Marine Science*, vol. 7, art. 118, <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00118>.
- Vare, Lindsay L., and others (2018). Scientific considerations for the assessment and management of mine tailings disposal in the deep sea. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 17.

- Vieira, Rui P., and others (2015). Lost fishing gear and litter at Gorrington Bank (NE Atlantic). *Journal of Sea Research*, vol. 100, pp. 91–98.
- Vieira, Rui P., and others (2019). Deep-water fisheries along the British Isles continental slopes: status, ecosystem effects and future perspectives. *Journal of Fish Biology*.
- Wei, Chih-Lin, and others (2010). Bathymetric zonation of deep-sea macrofauna in relation to export of surface phytoplankton production. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 399, pp. 1–14.
- Winder, Priscilla L., and others (2011). Natural Products from the Lithistida: A Review of the Literature since 2000. *Marine Drugs*, vol. 9, pp. 2643–2682; <https://doi.org/10.3390/md9122643>.
- Wishner, Karen F., and others (1995). Pelagic and benthic ecology of the lower interface of the Eastern Tropical Pacific oxygen minimum zone. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 42, No. 1, pp. 93–115.
- Wishner, Karen F., and others (2008). Vertical zonation and distributions of calanoid copepods through the lower oxycline of the Arabian Sea oxygen minimum zone. *Progress in Oceanography*, vol. 78, No. 2, pp. 163–191.
- Wishner, Karen F., and others (2013). Zooplankton in the eastern tropical north Pacific: boundary effects of oxygen minimum zone expansion. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 79, pp. 122–140.
- Wishner, Karen F., and others (2018). Ocean deoxygenation and zooplankton: Very small oxygen differences matter. *Science Advances*, vol. 4, No. 12, eaau5180.
- Wishner, Karen F., and others (2000). Living in suboxia: ecology of an Arabian Sea oxygen minimum zone copepod. *Limnology and Oceanography*, vol. 45, No. 7, pp. 1576–1593.
- Woodall, Lucy C., and others (2014). The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society Open Science*, vol. 1, No. 4, 140317.
- Woodall, Lucy C., and others (2015). Deep-sea litter: a comparison of seamounts, banks and a ridge in the Atlantic and Indian Oceans reveals both environmental and anthropogenic factors impact accumulation and composition. *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, art. 3.
- Woulds, Clare, and others (2007). Oxygen as a control on sea floor biological communities and their roles in sedimentary carbon cycling. *Limnology and Oceanography*, vol. 52, No. 4, pp. 1698–1709.
- Woulds, Clare, and others (2009). The short-term fate of organic carbon in marine sediments: comparing the Pakistan margin to other regions. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 56, Nos. 6–7, pp. 393–402.
- Wright, Amy E., and others (2017). Analogues of the potent antitumor compound Leiodermatolide from a deep-water sponge of the genus *Leiodermatium*. *Journal of Natural Products*, vol. 80, pp. 735–73, <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.6b01140>.
- Yasuhara, Moriaki (2018). Marine biodiversity in space and time: what tiny fossils tell. *Mètode Science Studies Journal-Annual Review*, No. 9.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2008). Abrupt climate change and collapse of deep-sea ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 105, No. 5, pp. 1556–1560.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2014). Response of deep-sea biodiversity to abrupt deglacial and Holocene climate changes in the North Atlantic Ocean. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 23, No. 9, pp. 957–967.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2016). Biodiversity–ecosystem functioning relationships in long-term time series and palaeoecological records: deep sea as a test bed. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 371, No. 1694, 20150282.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2017). Combining marine macroecology and palaeoecology in understanding biodiversity: microfossils as a model. *Biological Reviews*, vol. 92, No. 1, pp. 199–215.

- Yasuhara, Moriaki, and Thomas M. Cronin (2008). Climatic influences on deep-sea ostracode (Crustacea) diversity for the last three million years. *Ecology*, vol. 89, No. sp. 11, pp. S53–S65.
- Yasuhara, Moriaki, and Roberto Danovaro (2016). Temperature impacts on deep-sea biodiversity. *Biological Reviews*, vol. 91, No. 2, pp. 275–287.
- Yool, Andrew, and others (2017). Big in the benthos: Future change of seafloor community biomass in a global, body size-resolved model. *Global Change Biology*, vol. 23, No. 9, pp. 3554–3566.
- Zeng, Cong and others (2017). Population genetic structure and connectivity of deep-sea stony corals (Order Scleractinia) in the New Zealand region: Implications for the conservation and management of vulnerable marine ecosystems. *Evolutionary Applications*, vol. 10, No. 10, pp. 1040–1054.
- Zeng, Cong and others (2019). The use of spatially explicit genetic variation data from four deep-sea sponges to inform the protection of Vulnerable Marine Ecosystems. *Scientific Reports*, vol. 9, No. 1, art. 5482.

Глава 7К

Высокоширотные

льды

Участники: Грэнт Р. Бигг (координатор), Маурицио Аццаро, Хью Гриффитс, Кэрен Эванс (ведущий участник, ответственный за подглаву) и Мориаки Ясухара.

Ключевые тезисы

- Местообитания, расположенные в высокоширотных льдах, характеризуются географически неоднородными, но существенными сокращениями протяженности морского льда вследствие изменения климата.
- Утрата арктических местообитаний, приуроченных к морским льдам, и антарктических шельфовых ледников делает возможной экспансию как пелагических, так и бентических видов в новые среды, расположенные в открытых водах.
- Однако в целом у многих ледозависимых видов происходит уменьшение численности, а возможно, и сужение пространственного распространения, особенно в Арктике.
- Сокращение протяженности морских льдов в Арктике повышает возможности для осуществления человеком целого ряда видов деятельности, включая рыболовство, судходство и разведку углеводородов, что положительно сказывается на достижении нескольких целей в области устойчивого развития¹.
- Вместе с тем многие из этих видов деятельности будут некоторое время оставаться малозаметными, поскольку сезонное освобождение Арктики ото льда ожидается в нынешнем столетии не сразу.
- При этом сокращение морского ледяного покрова будет приводить к тому, что у местного населения сузятся возможности для натурального охотничьего промысла.

1. Введение

В настоящей подглаве актуализируется информация из главы 46 первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017a). Кроме того, при рассмотрении высокоширотных морских льдов как экологической среды в ней разбираются еще и местообитания, приуроченные к айсбергам и шельфовым ледникам. Данная подглава перекликается со многими подглавами главы 6 настоящей «Оценки», в которых обсуждаются аспекты высокоширотного биоразнообразия. Однако в настоящей подглаве акцент делается на использовании морских ледовых местообитаний и на взаимодействиях между организмами в этих местообитаниях. Наконец, поскольку среда, приуроченная к высокоширотным льдам, по природе своей является и прибрежной, и относящейся к открытому океану, она взаимодействует с целым рядом других сред (бенталь, открытый океан, прибрежная зона и др.), которые рассматриваются в главе 7 настоящей «Оценки».

Исходное состояние местообитаний, приуроченных к высокоширотным льдам, на момент их рассмотрения в первой «Оценке» (United Nations, 2017b) характеризовалось масштабными и стремительными изменениями. Размах этих

изменений объясняется до некоторой степени спецификой этой среды, которая испытывает сильные сезонные колебания между минимумом ледяного покрова в разгар лета и его максимумом в конце зимы. Однако разительные перемены происходили и с усредненными параметрами морской ледовой среды. Так, быстро уменьшались протяженность, толщина и средний возраст льдов в Арктике. В Южном океане изменение морской ледовой среды было менее заметным, хотя за предыдущие десятилетия на Антарктическом полуострове разрушилось несколько шельфовых ледников (Vaughan and others, 2013). Эти изменения среды вызвали сопутствующую реакцию в приуроченных к ней экосистемах (United Nations, 2017b). Было обнаружено, что у известнейших морских и наземных видов, приспособленных к жизни в морских льдах, например у белых медведей, нарвалов, тюленей и различных морских птиц, происходит сокращение как численности популяций, так и географического распространения. Было установлено, что крупную роль в первичной продукции в этих местообитаниях играют морские ледовые водоросли и что расширение открытых океанских участ-

¹ См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

ков привело к усилению фитопланктонных цветений. Оба эти изменения подразумевали, что база высокоширотной пищевой цепи претерпела перемены. В целом было констатировано, что расширению открытых океанских участков сопутствует увеличение численности и географического распространения видов, свойственных открытому океану. По поводу Южного океана была отмечена неопределенность относительно того, влияют ли изменения в морских ледовых местообитаниях на ключевые виды, в частности из состава крилевых популяций.

2. Описание экологических изменений с 2010 по 2020 год

За период после первой «Оценки» самым основным экологическим изменением в высокоширотной ледовой среде стало продолжение прошлых изменений (рисунок I; см. также гл. 5 настоящей «Оценки»). Наиболее крупные успехи в получении знаний, формировании потенциала и выяснении тенденций связаны прежде всего с национальными и международными программами [такими, как арктическая экспедиция MO-SAiC (Multidisciplinary Drifting Observatory for the Study of Arctic Climate) и антарктическая экспедиция ACE (Antarctic Circumnavigation Expedition)], а также с давно действующими международными организациями (такими, как как многонациональный Арктический совет и Комиссия по сохранению морских живых ресурсов Антарктики). С годовой или иной периодичностью появляются сводки об изменениях, происходящих в Арктике, включая ледовые местообитания. Эти сводки публикуются государствами [например, «Отчетная справка по Арктике» Национального управления по исследованию океанов и атмосферы Соединенных Штатов (Richter-Menge and others, 2019) и «Доклад о состоянии Северного Ледовитого океана за 2019 год» Министерства рыболовства и океанических ресурсов Канады (Niemi and others, 2019) и международными комитетами [например, «Доклад о состоянии арктической науки» Международного арктического научного комитета (International Arctic Science Committee, 2020) и материалы Научного комитета по исследованию Антарктики (Scientific Committee for Antarctic Research, 2020)]. Сводки более глобального характера, тоже охватывающие изменения в ледовых местообитаниях, выходят по линии

Новизна информации, вошедшей в первую «Оценку», была достигнута благодаря крупным успехам в понимании морской полярной биологии (Robinson, 2009; Stoddart, 2010) за время проведения Международного полярного года (2007–2008 годы). Успехи в расширении знаний, давшие материал для второй «Оценки состояния Мирового океана», стали результатом разного рода более скромных инициатив.

Американского метеорологического общества (Blunden and Arndt, 2019). Арктический совет выпустил охватывающие 25-летний период панарктические обзоры изменений в криосфере (Arctic Monitoring and Assessment Programme, 2017) и в биоразнообразии (Conservation of Arctic Flora and Fauna Programme, 2017).

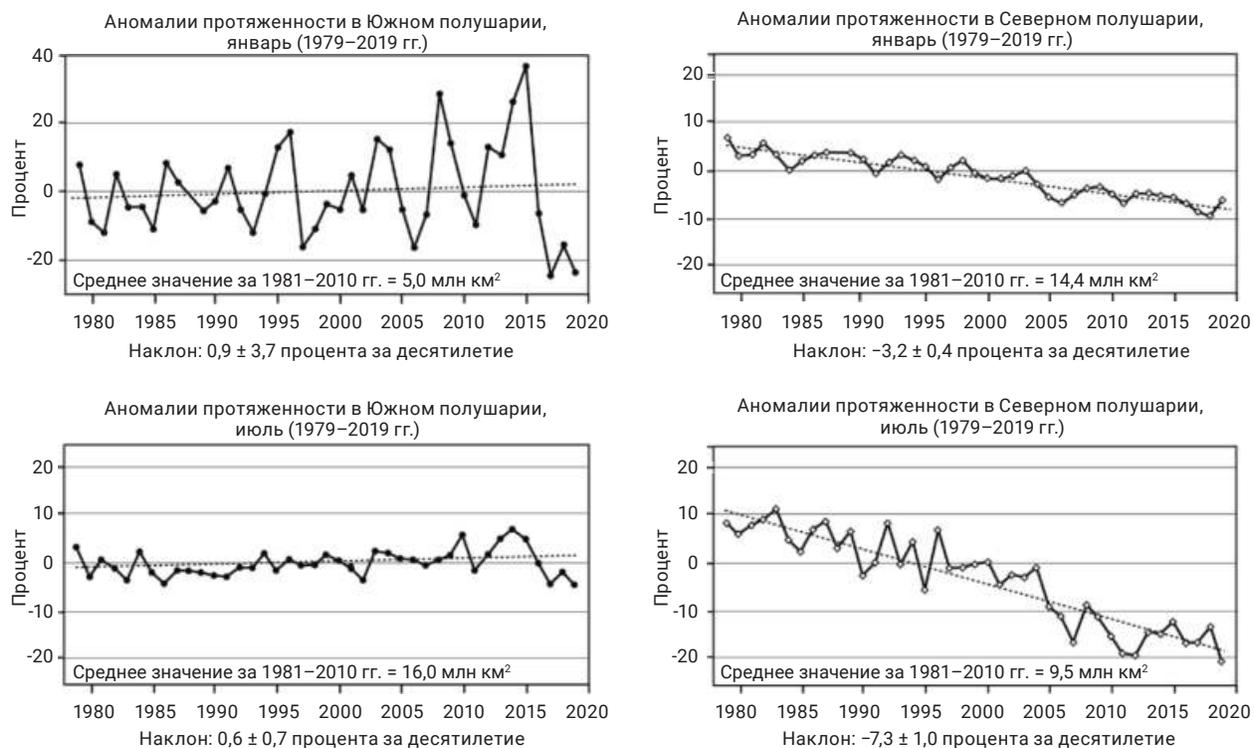
2.1. Местообитания в морских льдах

В Арктике продолжало происходить долговременное уменьшение площади морского льда (см. также гл. 5) как летом, так и зимой. Средняя протяженность арктического морского льда летом вновь упала, хотя это может оказаться временным явлением (Vaughan and others, 2013). Толщина морского льда тоже упала до нового минимума: после 2007 года был утрачен значительный объем многолетних льдов, причем с тех пор их сокращение только продолжалось (Serreze and Meier, 2019). Стоит отметить, что при общем упадке морских льдов в Арктике ее тихоокеанский сектор теряет лед гораздо быстрее, чем другие сектора, включая Канадский Арктический архипелаг (см. рисунок X в гл. 5).

В Южном океане, несмотря на сильную межгодовую изменчивость по типу той, которая отмечалась в первой «Оценке», долговременных изменений в протяженности морских льдов летом или зимой, по сути, не происходило (рисунок I; см. также гл. 5). Однако с 2017 по 2019 год январские (минимальные) уровни систематически оказывались ниже уровней, регистрировавшихся с 1979 года (когда началось фиксирование со спутников), особенно в обычно покрытых

Рисунок 1

Тренды, характеризующие протяженность морских льдов в полярных областях Северного и Южного полушарий летом (вверху слева и внизу справа) и зимой (вверху справа и внизу слева) за период с 1979 года, когда появилась спутниковая съемка



Источники: Fetterer and others, 2017; Sea Ice Index (сервис Национального центра данных по снегу и льду (URL: https://nsidc.org/data/seaice_index/compare_trends), который предоставляет суточные и месячные сводки о протяженности и динамике морских льдов в Арктике и Антарктике).

Примечание. На каждом графике указан наклон линии тренда; уровень статистической значимости у трендов в Северном полушарии составляет 0,01; тренды в Южном полушарии значимыми не являются.

льдом зонах моря Уэдделла и моря Амундсена. Это может быть следствием недавнего океанографического потепления в Южном океане (Meehl and others, 2019).

Из-за сочетания таких двух факторов, как стремительное изменение физической среды и относительная недоступность полярных океанов, исследования сосредоточивались в основном не на выяснении временной динамики изменений, а на сценариях климатических изменений (см. также гл. 5), и особенно их проявлениях внизу трофической системы. Немногочисленные исследования по сообществам, населяющим расоловые включения в морском льду, позволяют говорить об отсутствии на данный момент изменений, которые были бы связаны с повышенными концентрациями CO₂ или пониженным pH

(McMinn and others, 2017). Вместе с тем фитопланктонная продуктивность под морским льдом оказалась неожиданно высокой (Arrigo and others, 2012). Такие изменения могут положительно влиять на организмы бентали и верхних слоев океана, увеличивая снабжение более низких трофических уровней пищей в виде нерастворенного органического углерода (Oxtoby and others, 2017; Yasuhara and others, 2012; Xu and others, 2018). Обнаружено, что на северо-восточной части шельфа Чукотского моря подледная продукция зимой поддерживается деятельностью диатомей изнутри льда (Koch and others, 2020).

Воздействие сокращения морских льдов в Арктике на популяции морских млекопитающих и птиц является специфическим для каждого вида и определяется тем, насколько этот вид

зависит от морских льдов как среды обитания. Выяснено, что белая чайка (*Pagophila eburnea*) действует на окраине ледяной зоны Арктики и в прилегающем открытом море, а Гильг и др. (Gilg and others, 2016) обнаружили, что примерно 80 процентов видов морских птиц кормятся на всё более редких участках с высокой концентрацией морского льда. Такое дифференцированное использование ледовой среды может указывать на приспособляемость к меняющемуся климату. Сокращение морских льдов в Арктике привело к уменьшению численности морских птиц в Беринговом море в общей сложности на примерно 10 процентов (Renner and others, 2016). Есть некоторые признаки того, что такие хищные виды, как белуха (*Delphinapterus leucas*), по мере изменения местообитаний их добычи расширяют ареал охоты (Hauser and others, 2018) и вообще гибко реагируют в своем кормовом поведении на перемены в окружающей обстановке (O'Corry-Crowe and others, 2016). С другой стороны, сокращение морских льдов привело к уменьшению численности кольчатой нерпы (*Pusa hispida*) в Гудзоновом заливе (Ferguson and others, 2017), а также сжатию ареала ее распространения в акватории архипелага Шпицберген, в результате чего этот ареал стал значительно меньше пересекаться в названной акватории с ареалом главного хищника Арктики – белого медведя (*Ursus maritimus*). Наблюдаемой реакцией белых медведей стало более частое поедание ими птиц, гнездящихся на земле (Hamilton and others, 2017), и китовых туш (Pagano and others, 2020), чему сопутствует больший расход энергии. Замечено, что в Антарктике стремительное потепление приводит к смещению популяций криля (*Euphausia superba*) на юг, что сопровождается уменьшением плотности, но увеличением длины тела особей (Atkinson and others, 2019). Хюкштедт и др. (Hückstädt and others, 2020) допускают вероятность негативных последствий этого для зависящих от криля видов, таких как тюлень-крабодод (*Lobodon carcinophaga*).

2.2. Местообитания на шельфовых ледниках и айсбергах

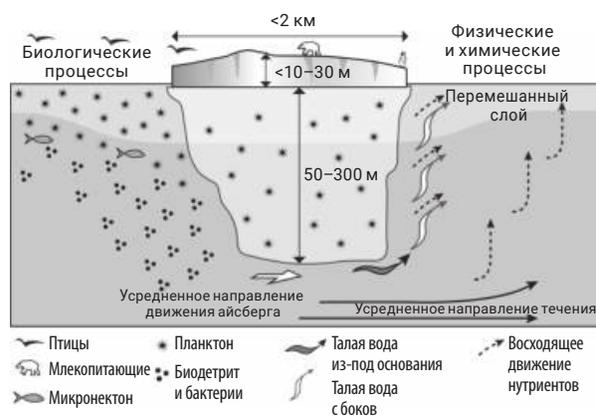
Ледовые местообитания как на шельфовых ледниках, так и на айсбергах простираются на сотни метров ниже океанской поверхности. Это означает, что по своей морской составляющей

они сильно отличаются от местообитаний в морских льдах с точки зрения как влияния на окружающий океан, так и условий жизни, которые предлагаются их субаэральными и подводными поверхностями. Шельфовые ледники служат стабильными платформами для размножения, дающими (там, где толщина их краев это позволяет) прямой выход к океану, и у видов, которые пользуются такими платформами, например у императорского пингвина (*Aptenodytes forsteri*), выработалась за долгие годы зависимость от этих ледников (Wienecke, 2012; Fretwell and others, 2014). Субаэральные поверхности шельфовых ледников, особенно если там присутствуют эоловые или гляциальные отложения, предоставляют среду обитания для микробных матов (Mueller and others, 2006), обеспечивая тем самым механизм для переноса организмов на большие расстояния (Cefarelli and others, 2016). В свою очередь, удивительно разнообразными местообитаниями служат темные участки под шельфовыми ледниками. Большая их часть относится к бентали. С шельфовых ледников туда попадает материал, способный служить пищей (Hawes and others, 2018), что приводит к микробной активности (Vick-Majors and others, 2016) и появлению ряда видов, относящихся к мейобентосу (Pawlowski and others, 2005; Ingole and Singh, 2010). Некоторые организмы действуют более непосредственно, используя подводную поверхность шельфовых ледников. К ним относятся большой широколобик (*Pagothenia borchgrevinkii*), охотящийся за добычей у ледяной поверхности (Gutt, 2002), и актиния *Edwardsiella andrillae*, использующая такую поверхность как опорный субстрат (Daly and others, 2013; Murray and others, 2016). Разрушение шельфовых ледников как в Арктике, так и в Антарктике приводило к региональным эпизодам утраты этой уникальной темной среды, однако многочисленные представители обитавшей там биоты расселились на участки, открывшиеся для приема материалов с поверхности, что привело к значительному снижению объемов углерода (Barnes and others, 2018).

Айсберги бывают разными – от свободноплавающих структур, оторвавшихся от шельфовых ледников (особенно в Антарктике, но не только там), до ледяных фрагментов размером в несколько десятков метров, отколовшихся от краевого обрыва живого ледника. Их экосистемный вклад в

морскую среду характеризуется широким диапазоном. По одному из краев этого диапазона находятся айсберги, которые представляют собой, по сути, свободнодвижущиеся куски шельфового ледника, способные разместить значительные площадки для гнездования и кормления морских птиц как в Антарктике (Ruhl and others, 2011; Joiris, 2018), так и в Арктике. В Арктике на айсбергах различного размера и вблизи них в изобилии обнаружены белая чайка (Nachtsheim and others, 2016) и обыкновенная моевка (*Rissa tridactyla*; Joiris, 2018). Высказано предположение, что распространение пингуина Адели (*Pygoscelis adeliae*) могло быть опосредовано движением льда при перемещении гигантских айсбергов, происшедшем в Антарктике в прошлом (Shepherd and others, 2005). Айсберги такого размера могут оказывать и негативное воздействие на экосистемы. Если гигантский айсберг надолго застревает у действующей колонии пингуинов, его присутствие и распространение припая от него могут блокировать проход пингуиновых особей, препятствуя их доступу к местам кормления и приводя к значительной смертности птенцов (Кооупан and others, 2007; Wilson and others, 2016). Кроме того, придавливание и соскабливание донных отложений крупными айсбергами вызывает физическое возмущение и серьезно сказывается на бентических организмах (Kaiser and others, 2013; Yasuhara and others, 2007). В районах частого прохождения айсбергов, например в обширных акваториях вдоль берегов Антарктиды и Гренландии (Bigg, 2015), до 30 процентов морского дна может подвергнуться за год возмущению, сопровождающему гибелью до двух третей бентической фауны на затронутом участке (Barnes, 2017). Поскольку экосистемное восстановление занимает несколько лет, такие разрушения могут привести в краткосрочной перспективе к существенному ослаблению способности этого участка действовать в качестве углеродного хранилища, особенно в мелководных морях (Barnes and others, 2018). Таяние айсбергов позволяет нутриентам и микроэлементам, которые удерживаются во льду или на нем, попадать в воду, создавая специфическую и продуктивную локальную экосистему (Smith and others, 2007; Smith and others, 2013). Процесс таяния и связанного с ним восхождения относительно свежих плавучих струй способствует поступлению в поверхностные воды

Рисунок II
Арктическая/антарктическая экосистема на айсберге и вокруг него



Источник: Bigg, 2015. Воспроизводится с разрешения.

нутриентов (рисунок II), где концентрация хлорофилла может в 4–10 раз превышать фоновый уровень. Кроме того, вода около айсбергов сильнее заселена бактериями, а обитающие в ней сообщества отличаются по своему составу от сообществ в ненарушенной воде неподалеку (Kaufmann and others, 2011; Dinasquet and others, 2017). На большем удалении наблюдается ситуация, когда сочетание повышенного содержания нутриентов вокруг айсберга (Helly and others, 2011) с привнесением железа (Raiswell and others, 2008; De Jong and others, 2015) и кремнезема (Hawkings and others, 2017) из внутриледникового обломочного материала, высвобождаемого при таянии, приводит к разрастанию фитопланктона (Vernet and others, 2011) и может потенциально сказываться на секвестрации углерода (Cefarelli and others, 2016; Duprat and others, 2016).

Можно было бы ожидать, что разрушение шельфовых ледников (например, Fettweis and others, 2017; Rignot and others, 2019) будет приводить к умножению айсбергов. Однако не хватает всеобъемлющих, долговременных расчетов количества айсбергов как в Арктике, так и в Антарктике. Сведения об айсбергах, фиксируемых у берегов Ньюфаундленда (Bigg and others, 2014), и спутниковые данные об айсбергах среднего и небольшого размера к северу от 66° ю. ш. в Южном океане (Tournadre and others, 2016) указывают на рост такого количества. Отрыв гигантских айс-

Рисунок III
Годовое количество случаев образования гигантских айсбергов в Антарктике



бергов (>18 км длиной) от шельфовых ледников в Антарктике, хоть он и носит весьма эпизодический характер, тоже сопровождается некоторыми признаками того, что и количество таких отрывов (рисунок III; Antarctic Iceberg Tracking Database), и их масштабность в последнее время увеличились.

Источники: см. Budge and Long, 2017; Antarctic Iceberg Tracking Database, URL: www.scp.byu.edu/data/iceberg.

Примечание. К гигантским относятся айсберги, длина которых в одном из поперечников превышает 18 км, однако последовательных многолетних оценок площади или объема не имеется.

Вероятное увеличение количества айсбергов в обоих полушариях, скорее всего, привело за последние годы к увеличению продуктивности и усилению воздействия на прибрежные бентические экосистемы, однако доказательств этому на данный момент мало, а информация о воздействии айсберговых потоков выводится в основном из данных по Южному океану.

3. Экономические и социальные последствия

Исторически сложилось так, что местообитания, расположенные в высокоширотных льдах, слабо подвергались человеческой деятельности и велась эта деятельность в основном коренными жителями Арктики и ее периферии. Продолжающееся отступление этих местообитаний в результате глобального потепления и активизация использования полярных областей человеком стремительно меняют их значимость для человечества, со всеми вытекающими отсюда экономическими и социальными последствиями. Сокращение морских льдов повышает возможности для трансокеанского судоходства и эксплуатации углеводородных ресурсов морского дна, однако на данный момент главным побудителем усиливающегося использования Арктики является рыболовство (Eguíluz and others, 2016). На север, в освобождающиеся ото льда воды, может двинуться больше рыбы, водящейся в открытом океане, что будет увеличивать промысловые

возможности, однако рыбные виды, чья среда обитания приурочена к морским льдам, например полярная треска (*Boreogadus saida*), станут, вероятно, менее распространенными (Christiansen, 2017). В настоящее время в Арктике мало охраняемых морских районов, избавленных от рыболовства или иной эксплуатации (Harris and others, 2018). Вместе с тем в октябре 2018 года было подписано международное соглашение о запрете определенного промысла в Арктике, которое, после того как оно будет ратифицировано 10 странами, ограничит расширение рыболовной деятельности в Арктике на следующие 10 или более лет (European Commission, 2019). Правда, по состоянию на июнь 2020 года его ратификацию произвели только восемь стран. Данная инициатива напрямую связана с целью 14 в области устойчивого развития.

Подъем уровня моря и освобождение побережий от некогда сковывавшей их мерзлоты,

вызываемые в Арктике таянием ледников, не только напрямую сказываются на населении и промышленности, но и открывают для них множество возможностей (Richter-Menge and others, 2019). Негативные воздействия включают потерю прибрежных ледовых дорог, повышение паводкового уровня, перемены в местах гнездования, изменения во вдольбереговом переносе отложений, сокращение угодий для натурального охотничьего промысла, высвобождение захороненных ранее загрязнителей и даже утрату некоторых прибрежных сообществ. Потенциальные экономические возможности включают открытие акваторий для океанского рыболовства, морских перевозок и новых судоходных путей, а также расширение возможностей как для сооружения объектов возобновляемой энергетики, так и для добычи углеводородов. Вместе с тем реализация этих возможностей способна усиливать риски, сопряженные с соответствующей деятельностью, например риск загрязнения местообитаний в результате таких катастроф, как разливы нефти (Cappello and others, 2014). Стоит отметить, что нефть, попавшая в морской лед, быстро не разлагается (Loftus and others, 2020).

По мере расширения свободных от льда, а значит, жизнеспособных маршрутов, проходящих через арктический север Российской Федерации (Северный морской путь), увеличивалось количество пользующихся ими судов, и в 2013 году по Северному морскому пути прошло более 70 судов. Однако в последующие годы количество проходящих по нему судов (если не их тоннаж) уменьшилось: с 2014 года оно не превышало 40 (Northern Sea Route Information Office, 2019; Centre for High North Logistics Information Office, n.d.).

Неоднородный характер носит в Арктике нефтегазовая деятельность. Канада недавно расширила мораторий на выдачу новых лицензий на бурение в своей арктической исключительной экономической зоне, который теперь запрещает всю офшорную нефтегазовую деятельность до конца 2021 года (Vigliotti, 2019). В арктических водах Соединенных Штатов аналогичный запрет на бурение был введен в 2016 году, снят в 2017-м

и восстановлен в 2019-м. Его будущее остается предметом судебного обжалования (Gilmer, 2020). В западноарктических водах Российской Федерации в последние годы велись определенные буровые работы, расширение которых было приостановлено по экономическим причинам в результате санкций, однако недавние сообщения позволяют говорить о возможном возобновлении бурения в 2020 или 2021 году (Staalesen, 2019).

С точки зрения целей в области устойчивого развития большинство изменений, наблюдаемых в ледовой среде Арктики, имеют смешанные последствия. Так, добыча углеводородов расширяет доступ к источникам энергии (цель 7), а рост судоходства, туризма и рыболовства стимулирует местную экономическую активность (цель 8). С другой стороны, эти виды деятельности могут мешать формированию устойчивой окружающей среды с богатым биоразнообразием (цель 14), вызывая дальнейшее изменение климата и выбросы (цель 13), приводящие к загрязнению (цели 12 и 14).

Некоторые районы промысла (например, промысла криля) в Антарктике находятся в прибрежных водах Южной Атлантики и моря Уэдделла, где морской ледяной покров стал проявлять признаки сокращения. Однако более широкие последствия этого сокращения для более широкой экосистемы и приуроченных к ней промысловых районов пока не выяснены. На плато, окружающем Фолклендские (Мальвинские) острова² (MacAulay, 2015), инициирована разведка углеводородов, хотя оценка сопутствующих экологических рисков только началась, а сам этот район находится за пределами системы управления Антарктикой (Bigg and others, 2018). Учитывая важность криля как источника корма для растущей аквакультурной отрасли, Комиссия по сохранению морских живых ресурсов Антарктики начинает осуществлять в подведомственном ей районе долгосрочные стратегии управления крилевыми запасами (Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources (CCAMLR), 2019). Решению некоторых

² Между правительством Аргентины и правительством Соединенного Королевства Великобритании и Северной Ирландии существует спор по поводу суверенитета над Фолклендскими (Мальвинскими) островами.

хозяйственных вопросов может помочь создание охраняемых морских районов в каких-то конкретных местах, что потребует дополнительных нововведений со стороны системы Договора об Антарктике, в частности Комиссии по сохранению морских живых ресурсов Антаркти-

ки. В 2016 году был создан охраняемый морской район в море Росса, и на рассмотрении членом Комиссии находится еще ряд предложений по созданию таких районов, например в море Уэдделла, в Восточной Антарктике и вблизи Антарктического полуострова.

4. Перспективы

Перспективы полярных ледовых местообитаний остаются совершенно такими же, как и на момент составления первой «Оценки». Ожидается, что арктические морские льды продолжат отступать и истончаться, и весьма вероятным представляется то, что в течение XXI века Арктику ждет сезонное освобождение ото льда, хотя время наступления этого эпохального экологического события является пока еще очень неопределенным (Serreze and Meier, 2019). Морские льды Антарктики в настоящее время стабильны, однако прогнозируется, что в течение столетия они сократятся (Naughton and others, 2018), главным образом из-за потепления океана. Ожидается, что влияние этого потепления на шельфовые ледники Антарктики станет проявляться в повышении темпов их подповерхностного таяния, которое составит к концу века от 41 до 129 процентов (Naughton and others, 2018) и будет сопровождаться учащением случаев отрыва айсбергов. Ожидается, что продолжающееся потепление в Арктике вызовет усиление таяния Гренландского ледникового щита (Barry, 2017), а возможно, и учащение айсбергообразования, пусть и эпизодического.

Сокращение протяженности морских льдов и шельфовых ледников продолжит открывать возможности для экспансии как пелагических, так и бентических видов, которые выиграют от расширения и улучшения условий для кормления (Christiansen, 2017), но станет угрожать жизнеспособности рыб, в частности полярной трески (см. Christiansen, 2017), и популяциям тех видов морских млекопитающих, которые зависят от морских льдов (United Nations, 2017a). Многочисленные исследования подсказывают, что морские ледовые водоросли станут уязвимыми к изменению климата и что это будет приводить к сокращению биоразнообразия и упадку популяций (Hardge and others, 2017; Kiko

and others, 2017). С другой стороны, более распространенным явлением (по крайней мере в начале лета, до того как ограничится поступление питательных веществ) могут стать фитопланктонные цветения под более тонким, более подверженным разводящим и заснеженным морским льдом в Северном Ледовитом океане (Assmy and others, 2017; см. также гл. 6А настоящей «Оценки»). Такие изменения могут шире сказываться на экспорте углерода, поскольку зоны с сезонным ледяным покровом будут подключаться к поглощению углерода (Abelmann and others, 2015; Rapp and others, 2018). Сокращение морских льдов может также уменьшить привнесение в Северный Ледовитый океан пластика, поскольку в настоящее время морской лед там содержит на порядки больше пластиковых микрочастиц, чем сам этот океан (см. главу 12 настоящей «Оценки»; см. также Kanhai and others, 2020). Известно, что в Южном океане, где морской лед на сегодняшний день не демонстрирует существенных долговременных трендов, специализация индивидуального уровня является наиболее низкой на участках, где наиболее высока межгодовая изменчивость морской ледовой обстановки (McMullin and others, 2017), а это позволяет предположить возможности для адаптации к более изменчивому климату будущего.

Превращение Арктики в регион, открытый для судоходства, рыболовства и разработки ресурсов морского дна и его недр, серьезно скажется на экосистемах высокоширотной ледовой среды (Harris and others, 2018) и на человеческих популяциях, включая коренные народы, которые зависят от этой среды. Это также повлияет на достижение ряда целей устойчивого развития. Так, в августе 2017 года по Северному морскому пути впервые прошло судно без ледокольного сопровождения (High North News, 2018).

Впрочем, в обозримом будущем грузовые перевозки продолжат, вероятно, нуждаться в таком сопровождении, если только они не осуществляются судном «ледового класса» (Kiiski and others, 2018), так что в течение нескольких десятилетий арктические маршруты останутся, скорее всего, второстепенными. К числу других факторов, сдерживающих использование таких новых судоводных маршрутов, относится потенциальное негативное воздействие более интенсивного

судоходства на морских млекопитающих Арктики (Hauser and others, 2018), нежелательное облегчение переноса некоренных видов и сложный радиационный форсинг, который может вызываться в арктической климатической системе судовыми выхлопами (Stephenson and others, 2018). У последнего из названных факторов тенденция к усилению, возможно, замедляется в свободные ото льда периоды.

5. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях и в формировании потенциала

Недоступность высокоширотных областей приводит к тому, что ледовая среда остается относительно малоизученной. Из местообитаний, рассмотренных в настоящей подглаве, наиболее изученными на данный момент являются местообитания, расположенные в морских льдах, но и для них еще предстоит провести комплексное изучение пищевой сети. Во многих исследованиях пищевой сети внимание заострялось лишь на каком-то одном аспекте (Dickinson and others, 2016). В целом следует констатировать, что трехмерность ледовых местообитаний (Bluht and others, 2018), ареалы и количество населяющих их видов, а также их пространственная и временная изменчивость исследованы пока еще очень слабо (Christiansen, 2017). Не хватает также данных о том, как наличие или отсутствие таких ме-

стообитаний влияет на окружающий океан и на секвестрацию углерода (Barnes, 2017).

В свою очередь, труднодоступность шельфовых ледников и морских акваторий около ледников (Zappalà and others, 2017), особенно подводной зоны под ними, делает получение новой информации об этой ледовой среде нечастым явлением. Значительная часть аналитических выкладок опирается и продолжит опираться на данные дистанционного зондирования: новые спутниковые системы обещают революционизировать получение знаний первого порядка о местообитаниях. Важно будет обеспечить удобный и универсальный доступ к новым данным, генерируемым наблюдательными платформами, чтобы восполнить нынешние пробелы в знаниях и потенциале.

Справочная литература

- Abelmann, Andrea, and others (2015). The seasonal sea-ice zone in the glacial Southern Ocean as a carbon sink. *Nature Communications*, vol. 6, art. 8136.
- Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP) (2017). Snow, water, ice and permafrost in the Arctic. Summary for Policy-makers. <https://swipa.amap.no>.
- Arrigo, Kevin R., and others (2012). Massive phytoplankton blooms under Arctic sea ice. *Science*, vol. 336, No. 6087, pp. 1408–1408.
- Assmy, Philipp, and others (2017). Leads in Arctic pack ice enable early phytoplankton blooms below snow-covered sea ice. *Scientific Reports*, vol. 7, art. 40850.
- Atkinson, Angus, and others (2019). Krill (*Euphausia superba*) distribution contracts southward during rapid regional warming. *Nature Climate Change*, vol. 9, No. 2, pp. 142–147.
- Barnes, David K.A. (2017). Polar zoobenthos blue carbon storage increases with sea ice losses, because across-shelf growth gains from longer algal blooms outweigh ice scour mortality in the shallows. *Global Change Biology*, vol. 23, No. 12, pp. 5083–5091.

- Barnes, David K.A., and others (2018). Icebergs, sea ice, blue carbon and Antarctic climate feedbacks. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 376, No. 2122, 20170176.
- Barry, Roger G. (2017). The Arctic cryosphere in the twenty-first century. *Geographical Review*, vol. 107, No. 1, pp. 69–88.
- Bigg, Grant R. (2015). *Icebergs: Their Science and Links to Global Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bigg, Grant R., and others (2018). A model for assessing iceberg hazard. *Natural Hazards*, vol. 92, No. 2, pp. 1113–1136.
- Bigg, Grant R., and others (2014). A century of variation in the dependence of Greenland iceberg calving on ice sheet surface mass balance and regional climate change. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 470, No. 2166, 20130662.
- Bluhm, Bodil A., and others (2018). Sea ice meiofauna distribution on local to pan-Arctic scales. *Ecology and Evolution*, vol. 8, No. 4, pp. 2350–2364.
- Blunden, Jessica, and Derek S. Arndt, eds. (2019). State of the Climate in 2018. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 100, No. 9, pp. Si–S305.
- Budge, Jeffrey S., and David G. Long (2017). A comprehensive Database for Antarctic iceberg tracking using scatterometer data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations*, vol. 11, No. 2, <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2784186>.
- Cappello, Simone, and others (2014). STRANgE, integrated physical–biological–mechanical system for recovery in of the “oil spill” in Antarctic environment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, vol. 13, No. 4, pp. 369–375.
- Cefarelli, Adrián O., and others (2016). Diatoms (Bacillariophyceae) associated with free-drifting Antarctic icebergs: taxonomy and distribution. *Polar Biology*, vol. 39, No.3 , pp. 443–459.
- Centre for High North Logistics Information Office (n.d.). “Northern Sea Route transit statistics”. Available at <http://arctic-lio.com/category/statistics>.
- Christiansen, Jørgen S. (2017). No future for Euro-Arctic ocean fishes? *Marine Ecology Progress Series*, vol. 575, pp. 217–227.
- Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources (CCAMLR) (2019). CCAMLR: Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources website. 2019. www.ccamlr.org.
- Conservation of Arctic Flora and Fauna Programme (CAFF) (2017). State of the Arctic Marine Biodiversity Report. www.arcticbiodiversity.is/marine.
- Daly, Marymegan, and others (2013). *Edwardsiella andrillae*, a new species of sea anemone from Antarctic Ice. *PloS One*, vol. 8, No. 12, e83476.
- De Jong, J.T.M. and others (2015). Sources and fluxes of dissolved iron in the Bellingshausen Sea (West Antarctica): The importance of sea ice, icebergs and the continental margin. *Marine Chemistry*, vol. 177, pp. 518–535.
- Dickinson, Iain, and others (2016). Microbes and the Arctic Ocean. In *Their World: A Diversity of Microbial Environments*, pp. 341–381.
- Dinasquet, Julie, and others (2017). Mixing of water masses caused by a drifting iceberg affects bacterial activity, community composition and substrate utilization capability in the Southern Ocean. *Environmental Microbiology*, vol. 19, No. 6, pp. 2453–2467.
- Duprat, Luis P.A.M., and others (2016). Enhanced Southern Ocean marine productivity due to fertilization by giant icebergs. *Nature Geoscience*, vol. 9, No. 3, p. 219.
- Eguíluz, Victor M., and others (2016). A quantitative assessment of Arctic shipping in 2010–2014. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 30682.

- European Commission (2019). EU and Arctic partners enter historic agreement to prevent unregulated fishing in high seas. Fisheries – European Commission. 2019. https://ec.europa.eu/fisheries/eu-and-arctic-partners-enter-historic-agreement-prevent-unregulated-fishing-high-seas_en.
- Ferguson, Steven H., and others (2017). Demographic, ecological, and physiological responses of ringed seals to an abrupt decline in sea ice availability. *PeerJ*, vol. 5, e2957.
- Fetterer, Florence, and others (2017). *Sea Ice Index, Version 3*. Boulder, Colorado: NSIDC: National Snow and Ice Data Center. <https://nsidc.org/data/G02135/versions/3>.
- Fettweis, Xavier, and others (2017). Reconstructions of the 1900–2015 Greenland ice sheet surface mass balance using the regional climate MAR model. *The Cryosphere*, vol. 11, pp. 1015–1033.
- Fretwell, Peter T., and others (2014). Emperor penguins breeding on iceshelves. *PLoS One*, vol. 9, No.1, e85285.
- Gilg, Olivier, and others (2016). Living on the edge of a shrinking habitat: the ivory gull, *Pagophila eburnea*, an endangered sea-ice specialist. *Biology Letters*, vol. 12, No. 11, 20160277.
- Gilmer, Ellen M. (2020). Judges weigh Trump’s bid to reopen parts of Arctic to drilling. <https://news.bloomberglaw.com/environment-and-energy/judges-weigh-trumps-bid-to-reopen-parts-of-arctic-to-drilling>.
- Gutt, Julian (2002). The Antarctic ice shelf: an extreme habitat for notothenioid fish. *Polar Biology*, vol. 25, No. 4, pp. 320–322.
- Hamilton, Charmain D., and others (2017). An Arctic predator-prey system in flux: climate change impacts on coastal space use by polar bears and ringed seals. *Journal of Animal Ecology*, vol. 86, No. 5, pp. 1054–1064.
- Hardge, Kristin, and others (2017). The importance of sea ice for exchange of habitat-specific protist communities in the Central Arctic Ocean. *Journal of Marine Systems*, vol. 165, pp. 124–138.
- Harris, Peter T., and others (2018). Arctic marine conservation is not prepared for the coming melt. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 75, No. 1, pp. 61–71.
- Hauser, Donna D.W., and others (2018). Vulnerability of Arctic marine mammals to vessel traffic in the increasingly ice-free Northwest Passage and Northern Sea Route. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 29, pp. 7617–7622.
- Hawes, I., and others (2018). The “Dirty Ice” of the McMurdo Ice Shelf: analogues for biological oases during the Cryogenian. *Geobiology*, vol. 16, No. 4, pp. 369–377.
- Hawkings, Jon R., and others (2017). Ice sheets as a missing source of silica to the polar oceans. *Nature Communications*, vol. 8, art. 14198.
- Helly, John J., and others (2011). Cooling, dilution and mixing of ocean water by free-drifting icebergs in the Weddell Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 58, No. 11–12, pp. 1346–1363.
- High North News (2018). The Northern Sea Route is alive and well. www.highnorthnews.com/en/op-ed-northern-sea-route-alive-and-well.
- Hückstädt, Luis A., and others (2020). Projected shifts in the foraging habitat of crabeater seals along the Antarctic Peninsula. *Nature Climate Change*, vol. 10, No. 5, pp. 472–477.
- International Arctic Science Committee (2020). State of Arctic Science Report, 2020. International Arctic Science Committee. pp. 1–26.
- Ingole, B.S., and Ravail Singh (2010). Biodiversity and community structure of freeliving marine nematodes from the Larsemann Ice Shelf, East Antarctica. *Current Science*, vol. 99, No. 10, pp. 1413–1419.
- Joiris, Claude R. (2018). Hotspots of kittiwakes *Rissa tridactyla* on icebergs off southwest Greenland in autumn. *Polar Biology*, vol. 41, No. 11, pp. 2375–2378.
- Kaiser, Stefanie, and others (2013). Patterns, processes and vulnerability of Southern Ocean benthos: a decadal leap in knowledge and understanding. *Marine Biology*, vol. 160, No. 9, pp. 2295–2317.

- Kanhai, La Daana K., and others (2020). Microplastics in sea ice and seawater beneath ice floes. *Scientific Reports*, vol. 10, No. 11, art. 5004.
- Kaufmann, Ronald S., and others (2011). Composition and structure of macrozooplankton and micronekton communities in the vicinity of free-drifting Antarctic icebergs. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 58, Nos. 11–12, pp. 1469–1484.
- Kiiski, Tuomas, and others (2018). Long-term dynamics of shipping and icebreaker capacity along the Northern Sea Route. *Maritime Economics & Logistics*, vol. 20, No. 3, pp. 375–399.
- Kiko, Rainer, and others (2017). Colonization of newly forming Arctic sea ice by meiofauna: a case study for the future Arctic? *Polar Biology*, vol. 40, No. 6, pp. 1277–1288.
- Koch, Chelsea Wegner, and others (2020). Seasonal and latitudinal variations in sea ice algae deposition in the Northern Bering and Chukchi Seas determined by algal biomarkers. *PLoS One*, vol. 15, No. 4. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231178>.
- Kooyman, Gerald L., and others (2007). Effects of giant icebergs on two emperor penguin colonies in the Ross Sea, Antarctica. *Antarctic Science*, vol. 19, No. 1, pp. 31–38.
- Loftus, Synnove, and others (2020). Biodegradation of weathered crude oil in seawater with frazil ice. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 154. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111090>.
- MacAulay, F. (2015). Sea Lion Field discovery and appraisal: a turning point for the North Falkland Basin. *Petroleum Geoscience*, vol. 21, Nos. 2–3, pp. 111–124.
- McMinn, Andrew, and others (2017). Effects of CO₂ concentration on a late summer surface sea ice community. *Marine Biology*, vol. 164, No. 4, art. 87.
- McMullin, Rebecca M., and others (2017). Trophic position of Antarctic ice fishes reflects food web structure along a gradient in sea ice persistence. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 564, pp. 87–98.
- Meehl, Gerald A., and others (2019). Sustained ocean changes contributed to sudden Antarctic sea ice retreat in late 2016. *Nature Communications*, vol. 10, No. 1, art. 14.
- Mueller, Derek R., and others (2006). Environmental gradients, fragmented habitats, and microbiota of a northern ice shelf cryoecosystem, Ellesmere Island, Canada. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, vol. 38, No. 4, pp. 593–607.
- Murray, Alison E., and others (2016). Microbiome composition and diversity of the ice-dwelling sea anemone, *Edwardsiella andrillae*. *Integrative and Comparative Biology*, vol. 56, No. 4, pp. 542–555.
- Nachtsheim, Dominik A., and others (2016). A gravel-covered iceberg provides an offshore breeding site for ivory gulls *Pagophila eburnea* off Northeast Greenland. *Polar Biology*, vol. 39, No. 4, pp. 755–758.
- Naughten, Kaitlin A., and others (2018). Future projections of Antarctic ice shelf melting based on CMIP5 scenarios. *Journal of Climate*, vol. 31, No. 13, pp. 5243–5261.
- Niemi, Andrea, and others (2019). State of Canada's Arctic Seas. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 3344, pp. xv–189.
- Northern Sea Route Information Office, 2019 (<https://arctic-lio.com>).
- O'Corry-Crowe, Greg, and others (2016). Genetic profiling links changing sea-ice to shifting beluga whale migration patterns. *Biology Letters*, vol. 12, No. 11, 20160404.
- Oxtoby, L.E., and others (2017). Resource partitioning between Pacific walruses and bearded seals in the Alaska Arctic and sub-Arctic. *Oecologia*, vol. 184, No. 2, pp. 385–398.
- Pagano, Anthony M., and others (2020). The seasonal energetic landscape of an apex marine carnivore, the polar bear. *Ecology*, vol. 101, No. 3, e02959.
- Pawlowski, Jan, and others (2005). Allogromiid foraminifera and gromiids from under the Ross Ice Shelf: morphological and molecular diversity. *Polar Biology*, vol. 28, No. 7, pp. 514–522.
- Raiswell, Rob, and others (2008). Bioavailable iron in the Southern Ocean: the significance of the iceberg conveyor belt. *Geochemical Transactions*, vol. 9, No. 1, No. 7.

- Rapp, Josephine Z., and others (2018). Effects of ice-algal aggregate export on the connectivity of bacterial communities in the central Arctic Ocean. *Frontiers in Microbiology*, vol. 9, art. 1035.
- Renner, Martin, and others (2016). Timing of ice retreat alters seabird abundances and distributions in the southeast Bering Sea. *Biology Letters*, vol. 12, No. 9, 20160276.
- Richter-Menge, Jackie, and others, eds. (2019). *Arctic Report Card*. <https://arctic.noaa.gov/Report-Card>.
- Rignot, Eric, and others (2019). Four decades of Antarctic Ice Sheet mass balance from 1979–2017. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, No. 4, pp. 1095–1103.
- Robinson, Sharon A. (2009). Introduction: Climate change biology at the ends of the Earth-International Polar year special issue. *Global Change Biology*, vol. 15, No. 7, pp. 1615–1617.
- Ruhl, Henry A., and others (2011). Seabird aggregation around free-drifting icebergs in the northwest Weddell and Scotia Seas. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 58, Nos. 11–12, pp. 1497–1504.
- Scientific Committee for Antarctic Research (2020). Scientific Committee for Antarctic Research website. www.scar.org.
- Serreze, Mark C., and Walter N. Meier (2019). The Arctic's sea ice cover: trends, variability, predictability, and comparisons to the Antarctic. *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 1436, No. 1, pp. 36–53.
- Shepherd, L.D., and others (2005). Microevolution and mega-icebergs in the Antarctic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 102, No. 46, pp. 16717–16722.
- Smith, Kenneth L., and others (2013). Icebergs as unique Lagrangian ecosystems in polar seas. *Annual Review of Marine Science*, vol. 5, pp. 269–287.
- Smith, Kenneth L., and others (2007). Free-drifting icebergs: hot spots of chemical and biological enrichment in the Weddell Sea. *Science*, vol. 317, No. 5837, pp. 478–482.
- Staalesen, Atle (2019). Russia's biggest oil company announces more offshore Arctic drilling. *Arctic Today*. www.arctictoday.com/russias-biggest-oil-company-announces-more-offshore-arctic-drilling.
- Stephenson, Scott R., and others (2018). Climatic responses to future trans-Arctic shipping. *Geophysical Research Letters*, vol. 45, No. 18, pp. 9898–9908.
- Stoddart, Michael (2010). Antarctic biology in the 21st century – advances in, and beyond the international polar year 2007–2008. *Polar Science*, vol. 4, No. 2, pp. 97–101.
- Tournadre, J., and others (2016). Antarctic icebergs distributions 1992–2014. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 121, No. 1, pp. 327–349.
- United Nations (2017a). Chapter 46: High-latitude ice and the biodiversity dependent on it. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vaughan, David G., and others (2013). Observations: cryosphere. *Climate Change*, vol. 2103, pp. 317–382.
- Vernet, M., and others (2011). Impacts on phytoplankton dynamics by free-drifting icebergs in the NW Weddell Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 58, No.11–12, pp. 1422–1435.
- Vick-Majors, Trista J., and others (2016). Biogeochemistry and microbial diversity in the marine cavity beneath the McMurdo Ice Shelf, Antarctica. *Limnology and Oceanography*, vol. 61, No. 2, pp. 572–586.
- Vigliotti, Marco (2019). Trudeau government expands moratorium on oil and gas work in Arctic waters. <https://ipolitics.ca/2019/08/08/trudeau-government-expands-moratorium-on-oil-and-gas-work-in-arctic-waters>.

- Wienecke, Barbara (2012). Emperor penguins at the West Ice Shelf. *Polar Biology*, vol. 35, No. 9, pp. 1289–1296.
- Wilson, Kerry-Jayne, and others (2016). The impact of the giant iceberg B09B on population size and breeding success of Adélie penguins in Commonwealth Bay, Antarctica. *Antarctic Science*, vol. 28, No. 3, pp. 187–193.
- Xu, Zhiqiang, and others (2018). Inter-annual variation of the summer zooplankton community in the Chukchi Sea: spatial heterogeneity during a decade of rapid ice decline. *Polar Biology*, vol. 41, No. 9, pp. 1827–1843.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2007). Modern benthic ostracodes from Lutzow-Holm Bay, East Antarctica: paleoceanographic, paleobiogeographic, and evolutionary significance. *Micropaleontology*, vol. 53, No. 6, pp. 469–496.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2012). Patterns and controlling factors of species diversity in the Arctic Ocean. *Journal of Biogeography*, vol. 39, No. 11, pp. 2081–2088.
- Zappalà, G., and others (2017). New Advanced Technology Devices for Operational Oceanography in Extreme Conditions. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, vol. 12, No. 1, pp. 61–70.

Глава 7L

ПОДВОДНЫЕ

горы и скалы

Участники: Малколм Р. Кларк (координатор), Анжелу Ф. Бернардину, Дж. Марри Робертс, Бхавани Э. Нараянасвами, Пол Снелгроув и Джошуа Т. Тухумвире (ведущий участник, ответственный за подглаву).

Ключевые тезисы

- Подводные горы и скалы являются распространенными формами рельефа Мирового океана.
- В последние годы пробоотборные работы активизировались, но детальному пробоотбору подвергся лишь небольшой процент подводных гор.
- Ограниченность собранных проб, сочетающаяся с сильной экологической неоднородностью разных подводных гор, затрудняет выяснение биоразнообразия.
- Наиболее серьезную угрозу для экосистем подводных гор представляет в настоящее время рыбный промысел (особенно донный

траловый), но вызывают озабоченность и такие факторы, как попадание в море крупного и мелкого мусора, изменение климата и потенциальная разработка морского дна. Вместе с тем появляется больше инициатив по защите подводных гор.

- Исследования, выполненные недавно по временным рядам данных о глубоководных подводных горах, показывают, что за период от 15 до 20 лет сообществам каменистых кораллов восстановиться удается лишь в ограниченном объеме либо не удается совсем.

1. Введение

Подводные горы, скалы и холмы, которые в настоящей подглаве собирательно именуется «подводными горами», представляют собой покрытые водой вулканы, возвышающиеся над морским дном на сотни или даже тысячи метров. Оценки их количества варьируются в зависимости от источника данных и используемых алгоритмов: от цифр в несколько десятков тысяч подводных гор и более чем 100 000 холмов (Yesson and others, 2011; Harris and others, 2014) до экстраполированных значений в более чем 100 000 подводных гор и 25 млн скал и холмов (Wessel and others, 2010). В совокупности они покрывают до 20 процентов дна в морском глубоководье (Yesson and others, 2011).

Подводные горы имеют три важные особенности, отличающие их от окружающей глубоководной среды (Clark, 2009): их рельеф обеспечивает диапазон глубин для разных сообществ; типичная для них твердая каменистая поверхность контрастирует с мелкими рыхлыми отложениями, покрывающими большую часть морского дна; их физическая структура может влиять на локальную гидрографию и течения, привлекая к себе биоту и продуктивность. Эти факторы способны приводить к появлению там более богатых и разнообразных бентических сообществ, чем в местообитаниях, расположенных на прилегающих склонах или абиссальных равнинах.

На видовой состав обитателей подводных гор сильно влияют не только тип и характер морского дна, но и экологические параметры, зависящие от глубины (Clark and others, 2010). Подводные горы являются источником значимых экосистемных услуг и часто служат местом скопления рыб, становясь объектом существенной коммерческой эксплуатации. С 1990-х годов среднегодовые объемы выгружаемого улова организмов, обитающих главным образом на подводных горах, сохраняются около отметки в 100 000 тонн; среди этих организмов преобладают псевдопентацеры, бериксы, ореосомовые и атлантический большеголов (Clark and others, 2007; Watson and others, 2007).

Вокруг подводных гор сложилось несколько «экологических парадигм», в которых они рассматриваются как уникальные среды и очаги биоразнообразия и эндемичности. Между тем многие подводные горы не слишком изолированы (Rowden and others, 2010a), и большинство из них не отличаются высокой степенью эндемизма. У них много общих обитателей с другими глубоководными местообитаниями (Howell and others, 2010; Narayanaswamy and others, 2013), однако варибельность, привносимая рельефом и физической динамикой подводных гор, может вызвать высокий круговорот видов и специфич-

ность формирования популяций или их численного состава (Schlacher and others, 2014).

Материал для главы 51 первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017a) и для отдельных частей ее глав 34, 35 и 36F был почерпнут из нескольких обзорных трудов по подводным горам (например, Pitcher and others, 2007; Clark and others, 2010; Staudigel and others, 2010) и из результатов программы «Перепись морской жизни» (например, Rowden and others, 2010a; Stocks and others, 2012; Clark and others, 2012). Следует констатировать, однако, что понимание подводных гор затруднено ограниченностью

пробоотбора. В базах данных SeamountsOnline (Stocks, 2010) и Seamount Ecosystem Evaluation Framework (Kvile and others, 2014) числится около 700 подводных гор, по которым есть какие-то сведения, но лишь около 300 из них подверглись детальной съемке, причем лишь в немногих случаях речь идет об объектах, которые расположены в экваториальных широтах или у которых вершины находятся на глубине более чем 2000 м. Таким образом, структура, функция и соединенность экосистем подводных гор остаются в значительной степени невыясненными (Clark and others, 2012).

2. Описание изменений в знаниях с 2010 по 2020 год

За последние пять лет благодаря нескольким национальным или международным исследовательским программам получена значительная экологическая информация об ареалах подводных гор. Эти программы сжато описываются в разделе 5, а ниже синтезируются ключевые экологические результаты, основанные на обзоре экологии подводных гор (Rogers, 2018).

Подводные горы редко существуют в условиях устоявшихся океанографических потоков (Lavelle and Mohn, 2010); тем не менее могут происходить вовлечение в циркуляцию и гомогенизация водной толщи (Meredith and others, 2015). Из-за формирования внутренних волн может происходить подъем питательных веществ, что повышает первичную продуктивность на вершинных участках (Turnewitsch and others, 2016; Read and Pollard, 2017). Повышенная первичная продуктивность может, однако, носить преходящий характер (например, Lemos and others, 2018) и редко приводит к увеличению численности зоопланктона. Зоопланктонные сообщества над подводными горами соответствуют условиям окружающих океанских вод (например, Carmo and others, 2013; Denda and Christiansen, 2014; Denda and others, 2017), но при этом блокирование мигрирующего зоопланктона и микронектона рельефом подводных гор может усиливать хищническую активность рыб и креветок (например, Nishida and others, 2016; Preciado and others, 2017; Letessier and others, 2017).

На подводных горах с пологими вершинами могут расти макроводоросли, а недавно в Северной

Атлантике (Ramos and others, 2016; Stefanoudis and others, 2019) и северо-восточной части Тихого океана (Du Preez and others, 2016) были зафиксированы макроводорослевые леса. На подводных горах и хребтах в Юго-Западной Атлантике (Meirelles and others, 2015), Северо-Западной Атлантике (Stefanoudis and others, 2019) и юго-западной части Тихого океана (Clark and others, 2017) обнаружены обширные родолитовые пласты. Такие водоросли могут играть важную роль в карбонатных бюджетах мезофотических экосистем. Перейра-Филью и др. (Pereira-Filho and others, 2012) подсчитали, что карбонатная продукция родолитов на четырех горах подводной горной цепи Витория-Триндади у берегов Бразилии составляла $1,5 \times 10^{-3}$ гигатонн в год.

Благодаря моделированию видового распределения в привязке к физико-химическим условиям повысились знания о сообществах подводных гор. Моделирование, особенно в отношении глубоководных кораллов, которые могут встречаться на подводных горах в изобилии (например, Rowden and others, 2010b; Tracey and others, 2011), позволяет предположить, что к числу ключевых экологических переменных относятся глубина насыщения кальцитом и/или арагонитом, особенности рельефа, температура, соленость, содержание кислорода и присутствие нерастворенного органического углерода (например, Davies and Guinotte, 2011; Yesson and others, 2012, 2017; Anderson and others, 2016a). Вместе с тем в зависимости от детализации данных об окружающей среде модели могут работать пло-

хо (Anderson and others, 2016b; Rowden and others, 2017). Кроме того, на такие модели будут влиять новые данные, о чем свидетельствует открытие рифов из каменистых кораллов на подводных горах в северо-западной части Тихого океана, где низка насыщенность арагонитом (Vasco and others, 2017). Параметры окружающей среды могут также по-разному влиять на видовое богатство и на вытеснение одних видов другими (Victorero and others, 2018).

Не так давно были проведены исследования, посвященные механизмам соединенности подводных гор между собой. В крупных регионах подводные горы могут выступать в качестве «тропинки из камней», связывающей весь регион, однако единой закономерности нет (Rowden and others, 2010a). Рифообразующий каменистый коралл (*Solenosmilia variabilis*) и чашевидный коралл (*Desmophyllum dianthus*) имеют сходное распространение по всему Южному полушарию, но если *D. dianthus* демонстрирует на пространствах большой протяженности (тысячи км) похожую

генетическую структуру, то у разных популяций *S. variabilis* проявляются вариации даже на подводных горах, находящихся не так далеко (десятки км) друг от друга (Miller and Gunasekera, 2017). Отмечаемый в последнем случае механизм «самопополнения» популяций встречается также у двустворчатых моллюсков (Beeston and others, 2018). Пространственные модели соединенности различаются у разных видов (например, Zeng and others, 2017) и даже внутри одного и того же рода (Pante and others, 2015). Течения могут становиться как каналами, так и барьерами для распространения личинок (Dueñas and others, 2016; Holland and others, 2019).

В исследованиях подчеркиваются неоднородность экологических факторов и фауновых сообществ на разных подводных горах, которая делает невозможными обобщенные выводы об экологии подводных гор, и важность собирания проб, позволяющих судить о широком спектре физических и географических характеристик таких гор (Clark and others, 2012).

3. Описание экономических и социальных изменений

Кустарный рыбный промысел восходит к 1500-м годам, но и сегодня маломасштабный промысел вблизи океанских островов имеет важное значение для занятости: уловы (в основном тунца) составляют ориентировочно от 150 000 до 250 000 тонн в год (Da Silva and Pinho, 2007). С середины 1990-х годов в целом сократился глубоководный промысел таких демерсальных видов, как берикс и атлантический большеголов (Clark and others, 2007; Watson and others, 2007; Pitcher and others, 2010), и его нынешний уровень составляет менее 100 000 т в год. Наряду с ловом рыбы в акваториях подводных гор ведется специализированный промысел мелких беспозвоночных: лобстеров в южной части Атлантического и Индийского океанов и глубоководных красных крабов в северо-восточной части Атлантического океана (Rogers, 2018).

На подводных горах встречаются железомарганцевые корки, содержащие кобальт, никель и редкоземельные элементы, имеющие коммерческий потенциал (Hein and others, 2013).

С Международным органом по морскому дну заключено пять контрактов на разведку таких корок; из них четыре относятся к подводным горам в северо-западной части Тихого океана, а пятый — к поднятию Риу-Гранди у побережья Бразилии¹. В настоящее время добыча глубоководных полезных ископаемых не ведется, но добычные операции могут существенно повлиять на экосистемы подводных гор (например, Levin and others, 2016; Miller and others, 2018). Поэтому Орган составляет правила, призванные сбалансировать потенциальную разработку этих ресурсов с охраной окружающей среды.

Растущую озабоченность вызывает мусор, в том числе пластиковый. Организмы, приуроченные к подводным горам, запутываются в потерянных рыболовных лесках, сетях и садках или получают физические повреждения при контакте с ними (например, Maldonado and others, 2015; Vieira and others, 2015; Woodall and others, 2015). У животных, изъятых как образцы на подводных горах в южной части Индийского океана, и в донных

¹ URL: www.isa.org.jm/deep-seabed-minerals-contractors.

отложениях обнаруживались пластиковые микрочастицы (Woodall and others, 2014; Taylor and others, 2016). Существуют также опасения по поводу возможного распространения инвазивных видов через такой мусор.

Восстановление среды от последствий рыбного промысла или потенциальной добычи полезных ископаемых, равно как и возвращение ею своей экономической или социальной ценности, может происходить очень медленно. Промысловая деятельность на подводных горах может приводить к удалению оттуда значительной части бентической фауны, что влечет за собой снижение биоразнообразия и численности (Clark and others, 2015). В акватории подводных гор из Гавайско-Императорской горной цепи всё еще удается спорадически получать небольшие уловы (например, Vensch and others, 2008), а у побережья Новой Зеландии и Тасмании вновь открылось несколько небольших промыслов ат-

лантического большеголова (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2018). Однако восстановление бентических местообитаний может занимать десятилетия. Изучение временных рядов по новозеландским акваториям не выявляет больших признаков того, что спустя 15 лет после прекращения тралового лова там изменилось состояние сообществ каменистых кораллов (Clark and others, 2019), хотя на некоторых подводных горах у побережья Тасмании могла увеличиться численность актиний и мелких кораллов (Clark and others, 2010). Съёмка, проведенная недавно в северной части Тихого океана, потенциально показывает некоторое восстановление от последствий тралового лова в 1970-х годах (Vasco and others, 2019), тогда как японские исследования на подводной горе, где ранее добывались драгоценные кораллы, не обнаруживает никаких признаков восстановления (Bruckner, 2014).

4. Основные исследования последних лет (в региональной разбивке)

4.1. Северный Ледовитый океан

Работ на подводных горах в арктических водах выполнено немного. Тем не менее в 2017 году на банке Шульц были обнаружены высокие уровни плотности и разнообразия губок, что может быть связано с наличием более теплых течений, богатых кислородом и пищей (Jones and others, 2018).

4.2. Северная часть Атлантического океана

Подводные горы в Северо-Восточной Атлантике стали объектом недавних работ. По данным с горы Антон-Дорн выявлено 13 биотопов, 10 из которых соответствовали критериям для признания морской экосистемы уязвимой (Davies and others, 2015). В 2012 году была впервые проведена съёмка Гебридской горы; выявлены местообитания холодноводных кораллов (Henry and others, 2014) и нерестилище ската Ричардсона (*Bathyraja richardsoni*) (Henry and others, 2016). По линии осуществляемой Европейским союзом программы Atlas завершены съёмки подводных гор Боудитч (Бермудские острова) и Формигас (Азорские острова), а также зафиксированы обширные участки, занятые губкой *Poliorogon amadou*,

октокораллами, рифами из коралла *Solenosmilia variabilis*, ксенофиофорами и полями морских лилий, на подводной горе Тропик (Ramiro-Sánchez and others, 2019). На горе Тропик имеются обширные участки железомарганцевых корок, потенциально представляющих интерес на предмет разработки (Murton and others, 2017).

4.3. Южная часть Атлантического океана

Проведенные недавно работы, связанные с разведкой полезных ископаемых, нефти и газа, позволили полнее описать физико-химические условия на подводной горной цепи Витория-Триндади и на поднятии Риу-Гранди (Bernardino and Sumida, 2017; Montserrat and others, 2019). По видовому составу своих обитателей подводные горы сходны с близлежащими континентальными склонами, однако в разных регионах встречаются структурно выделяющиеся субстраты (O'Hara and others, 2010; Bernardino and others, 2016; Almada and Bernardino, 2017), что позволяет предположить высокое разнообразие бентической и пелагической фауны (Perez and others, 2018).

Кроме того, Соединенным Королевством выполнялись съемки подводных гор в акваториях островов Святой Елены, Вознесения и Тристан-да-Кунья².

4.4. Индийский океан

Подводные горы в регионе Индийского океана остаются малоизученными, хотя в последние годы были выполнены съемки нескольких подводных гор на Западно-Индийском и Мадагаскарском хребтах (Rogers, 2016). Съемки выявили наличие особых микробных и фитопланктонных сообществ по всей протяженности хребта (Djurhuus and others, 2017; Sonnekus and others, 2017), высокое разнообразие головоногих моллюсков (Laptikhovsky and others, 2017) и высокое разнообразие бентической фауны на разных подводных горах.

4.5. Северная часть Тихого океана

Соединенные Штаты проявляли активность в северной и центральной частях Тихого океана, проведя в 2015, 2016 и 2017 годах кампании, включавшие картографические работы и погружения дистанционно управляемых аппаратов в акваториях подводных гор и хребтов национального морского памятника «Папаханаумокуакеа» (включая Гавайско-Императорскую подводную горную цепь) вокруг ряда американских островов в центральной части Тихого океана и южнее — до Самоа, Токелау и островов Кука. Было совершено 18 погружений дистанционно управляемых аппаратов на горы подводной горной цепи Музыкантиков. На большинство гор пришлось лишь по одному такому погружению, но и его было достаточно, чтобы обнаружить разнообразные и мощные сообщества бентических глубоководных кораллов и губок (Kennedy and others, 2019). В 2019 году были проведены дальнейшие работы (погружение дистанционно управляемых аппаратов, собирание керновых проб и траление), охватившие четыре подводные горы в заливе Аляска. Китайские исследователи провели в северо-западной части Тихого океана ряд съемок подводных гор, включая Каролинские горы, горы Яп и горы Магеллана.

Кроме того, активизируются съемочные работы, которые выполняются подрядчиками, имеющими лицензии на разведку глубоководных месторождений кобальтовых корок в северо-западной части Тихого океана. Эти подрядчики (COMRA (Китай), KIOST (Республика Корея), Российская Федерация, JOGMEC (Япония)) собрали в 2017 и 2018 годах пробы с 11 подводных гор и обнаружили много новых видов среди бентических сообществ губок, кораллов и иглокожих (например, Wang and others, 2016; Dong and others, 2017). Собирались также пробы с абиссальных холмов и подводных гор в разломной зоне Клариион-Клиппертон.

Министерство рыболовства и океанических ресурсов Канады провело выяснение исходных характеристик нескольких подводных гор в канадских водах северной части Тихого океана. В 2018 году было осуществлено развертывание автономного мониторингового комплекса для сбора экологических данных о подводной горе Делвуд, а также гидрофонов, позволяющих обнаруживать присутствие китов. С помощью фотосъемки было установлено 30 потенциальных участков для долгосрочного мониторинга. Разрабатывается научный план для Сгаан-Кингхлас/Бауи и других подводных гор Тихого океана.

4.6. Южная часть Тихого океана

Проводились исследования, посвященные возможности восстановления бентических сообществ, пострадавших от донного тралового промысла. В 2015 году были завершены съемки (для пополнения временных рядов) у побережья Новой Зеландии (Clark and others, 2019), а в 2018 году — у побережья Тасмании³. За 15–20 лет, прошедшие после прекращения тралового промысла на некоторых подводных горах рифы из каменистых кораллов практически не восстановились.

За последнее время выполнялись съемки подводных гор у островов Галапагос (Эквадор) (2015 и 2016 годы) на глубину до 3000 м, а также в морском парке Наска-Десвентурас (Чили) (2016 год) и в Австралии (Nanson and others, 2018).

² См. www.bas.ac.uk/project/protecting-marine-ecosystems-in-the-south-atlantic/.

³ См. <https://ecos.csiro.au/deep-sea-life/>.

4.7. Южный океан

За последние годы в водах Антарктики были собраны пробы с нескольких подводных гор и хребтов. Новой Зеландией проведены съемки,

охватившие «Лонг-Ридж» (часть Южно-Тихоокеанского поднятия) в 2018 году и подводную горную цепь Скотт в 2019-м.

5. Перспективы

За последнее десятилетие проведены солидные исследования. Международные инициативы, запланированные на будущее по линии Global Seamounts Project⁴, новая Рабочая группа InterRidge по подводным горам и островам, связанным со срединно-океаническими хребтами, и инициативы по охвату съемками большего числа подводных гор в рамках Десятилетия Организации Объединенных Наций, посвященного науке об океане в интересах устойчивого развития, способны дополнить собою текущие национальные исследования, проводимые с целью выяснить локальное биоразнообразие или последствия рыболовного промысла. В 2017 году Европейский союз, Бразилия и Южная Африка подписали Беленское заявление, приведшее к налаживанию профинансированного рамочного панатлантического проекта iAtlantic (2019–2023 годы)⁵, в рамках которого в Атлантике будет выполнено несколько съемок подводных гор.

Угрожающим фактором становится открывающаяся перспектива того, на подводных горах начнут добывать глубоководные полезные ископаемые. Однако в качестве условия для разведки в районах за пределами национальной юрисдикции Международный орган по морскому дну выдвигает представление значительного объема фоновых экологических данных, что позволит расширить в течение следующих 10 лет знания о подводных горах в нескольких регионах.

Эффекты, к которым приведет в следующее десятилетие изменение климата, предсказать сложно, но выполненные обзоры (Rogers, 2015; Sweetman and others, 2017) позволяют предположить, что изменение климата остается для сообществ подводных гор крупной угрозой, так как сопровождается повышением температуры, снижением концентрации кислорода и поднятием горизонта насыщения арагонитом. Некоторые

виды фауны подводных гор, такие как холодноводные кораллы, уязвимы к изменениям характеристик водной массы (например, Guinotte and others, 2006; Matos and others, 2017; Hebbeln and others, 2019), причем наиболее сильные изменения на батимальных глубинах (Sweetman and others, 2017) захватывают подводные горы, которые поддерживают продуктивный промысел или высокое биоразнообразие. Вместе с тем, поскольку подводные горы покрывают более широкий диапазон глубин, они могут быть менее восприимчивы к изменениям в кислотности океана, чем окружающее морское дно, и действовать как временные рефугиумы (Tittensor and others, 2010).

В глобальном масштабе может усилиться защищенность подводных гор, что станет продолжением национальных усилий по их сохранению в северной части Атлантического океана и в юго-западной и северо-восточной частях Тихого океана (Morato and others, 2010) и таких начинаний, как недавнее прекращение промысловой деятельности у западных побережий Канады и Чили, в Северной Атлантике (Natura 2000) и во всех гавайских акваториях. Будущему сохранению подводных гор могут также способствовать финансовые поступления от туризма (Ison and others, 2021). Некоторые районы подводных гор в восточной части Тихого океана защищены от потенциальной разработки морского дна в соответствии с региональным планом экологического обустройства, принятым Международным органом по морскому дну. Есть вероятность того, что региональные рыбохозяйственные организации станут чаще относить подводные горы к числу уязвимых морских экосистем (FAO, 2009), а многие подводные горы уже квалифицируются как экологически или биологически значимые районы (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2009).

⁴ URL: <https://osf.io/xtg5c/>.

⁵ URL: www.iatlantic.eu/.

6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях

Пробелы в знаниях, выявленные в первой «Оценке» (United Nations, 2017b), во многом сохраняются: количество подводных гор, подвергшихся на сегодняшний день пробоотбору, невелико (есть некоторый прогресс); модели для прогнозирования пригодности местообитаний разработаны, но не протестированы (есть некоторый прогресс); пелагические компоненты экосистем подводных гор малоизучены, особенно по глубокой батииали (ситуация во многом не изменилась); требуется анализ многочисленных стрессоров, включая возмущение местообитаний, попадание загрязнителей, изменение климата, закисление и дезоксигенацию, и необходимо их рассмотрение в комплексе (сохраняется серьезный пробел); слабо выяснен вопрос о том, насколько эффективно показало себя на сегодняшний день объявление районов закрытыми (есть некоторый прогресс).

Существует несколько глобальных и национальных наборов данных по подводным горам, включая Seamount Catalog⁶ (в основном геологические параметры), SeamountsOnline (биологические параметры), Seamount Ecosystem Evaluation Framework (экологические параметры), а также наборы по Новой Зеландии (Rowden and others, 2008), Азорским островам (Morato and others, 2008) и юго-западной части Тихого океана (Allain and others, 2008). Однако за время после первой «Оценки» они не подвергались значимому обновлению в смысле пополнения списка подводных гор, охваченных пробоотбором. Настоятельно требуется обновленный реестр съемок подводных гор и пробоотборных работ по ним.

Учитывая, что в мире обследовано так мало подводных гор, сохраняются крупные пробелы в научном понимании масштабов и закономерностей биоразнообразия этих гор и их выносливости к климатическим изменениям и человеческой деятельности (Clark and others, 2012). Для сбора таких исходных данных требуется многокомпонентный инструментарий, включающий дистанционное зондирование, непосредственный пробоотбор и визуальные съемки (см. Clark and others, 2016). Задачей, роднящей подводные горы со многими глубоководными местообитаниями, является точная и последовательная таксономическая идентификация фауны. Необходимость повысить междисциплинарную согласованность при сборе проб вдохновила на выработку регламента океанографических исследований под названием GOSSIP (General Ocean Survey and Sampling Iterative Protocol) (Woodall and others, 2018). Для совершенствования знаний об ареалах подводных гор потребуются, вероятно, широко использовать новые методы, такие как применение искусственного интеллекта для идентификации видов, выяснение экологической ДНК, внедрение генетических подходов к морскому ландшафту и эксплуатация глубоководных буев Argo. Необходимы дополнительные исследования временных рядов для изучения долгосрочной выносливости затронутых сообществ подводных гор и их потенциала к восстановлению, а также для продуманного распоряжения ими в будущем.

7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала

Среда подводных гор может играть важную роль в глубоководной экосистеме. Подводные горы должны охватываться глубоководными съемками, дающими более ясное представление о структуре и функционировании их экосистем, которое является неременным условием человеческой деятельности. Однако нехватка научных возможностей и удаленность и неизведанность

глубоководных местообитаний в целом говорят о том, что даже в хорошо развитых, индустриализованных странах существуют значительные пробелы в потенциале и информации. У разных стран есть подводные горы, месторасположение которых соприкасается с действующими или предлагаемыми участками коммерческой деятельности, такой как рыбный промысел в

⁶ URL: <https://earthref.org/SC/>.

западной части Тихого океана, разработка морских месторождений нефти и газа в Карибском бассейне и Африке, а также потенциальная добыча глубоководных полезных ископаемых в районах подводных гор и хребтов в Тихом (северо- и

юго-запад) и Индийском океанах. Для формирования научного и хозяйственного потенциала необходимо вывести на значительный уровень сотрудничество и кооперацию между развивающимися и развитыми странами.

Справочная литература

- Allain, Valérie, and others (2008). Enhanced seamount location database for the western and central Pacific Ocean: screening and cross-checking of 20 existing datasets. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 55, No. 8, pp. 1035–1047.
- Almada, Gustavo Vaz de Mello Baez, and Angelo Fraga Bernardino (2017). Conservation of deep-sea ecosystems within offshore oil fields on the Brazilian margin, SW Atlantic. *Biological Conservation*, vol. 206, pp. 92–101.
- Anderson, Owen F., and others (2016a). Field validation of habitat suitability models for vulnerable marine ecosystems in the South Pacific Ocean: implications for the use of broad-scale models in fisheries management. *Ocean & Coastal Management*, vol. 120, pp. 110–126.
- Anderson, Owen F., and others (2016b). Habitat suitability models for predicting the occurrence of vulnerable marine ecosystems in the seas around New Zealand. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 115, pp. 265–292.
- Baco, Amy R., and others (2017). Defying dissolution: discovery of deep-sea scleractinian coral reefs in the North Pacific. *Scientific Reports*, vol. 7, No.1, art. 5436.
- Baco, Amy R., and others (2019). Amid fields of rubble, scars, and lost gear, signs of recovery observed on seamounts on 30- to 40-year time scales. *Science Advances*, vol. 5, No. 8, eaaw4513.
- Beeston, Mark A., and others (2018). Hydrological features above a Southern Ocean seamount inhibit larval dispersal and promote speciation: evidence from the bathyal mytilid *Dacrydium alleni* sp. nov. (Mytilidae: Bivalvia). *Polar Biology*, vol. 41, No. 7, pp. 1493–1504.
- Bensch, Alexis, and others (2008). *Worldwide Review of Bottom Fisheries in the High Seas*. vol. 522. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Bernardino, Angelo F., and Paulo Y.G. Sumida (2017). Deep risks from offshore development. *Science*, vol. 358, No. 6361, pp. 312–312.
- Bernardino, Angelo Fraga, and others (2016). Bathymetric and regional changes in benthic macrofaunal assemblages on the deep Eastern Brazilian margin, SW Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 111, pp. 110–120.
- Bruckner, A.W. (2014). Advances in management of precious corals in the family Corallidae: are new measures adequate? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 7, pp. 1–8.
- Carmo, Vanda, and others (2013). Variability of zooplankton communities at Condor seamount and surrounding areas, Azores (NE Atlantic). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 98, pp. 63–74.
- Clark, Malcolm R. (2009). Deep-sea seamount fisheries: a review of global status and future prospects. *Latin American Journal of Aquatic Research*, vol. 37, No. 3, pp. 501–512.
- Clark, Malcolm R., and others (2007). Large-scale distant-water trawl fisheries on seamounts. *Seamounts: Ecology, Fisheries, and Conservation*, vol. 12, pp. 361–399.
- Clark, Malcolm R., and others (2010). The ecology of seamounts: structure, function, and human impacts. *Annual Review of Marine Science*, vol. 2, pp. 253–278.

- Clark, Malcolm R., and others (2012). Science priorities for seamounts: research links to conservation and management. *PLoS One*, vol. 7, No. 1, e29232.
- Clark, Malcolm R., and others (2015). The impacts of deep-sea fisheries on benthic communities: a review. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 73, No. suppl. 1, pp. i51–i69.
- Clark, Malcolm R., and others (2016). *Biological Sampling in the Deep Sea*. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Clark, Malcolm R., and others (2017). Biodiversity of the Kermadec Islands and offshore waters of the Kermadec Ridge: report of a coastal, marine mammal and deep-sea survey (TAN1612). *New Zealand Aquatic Environment and Biodiversity Report*, No. 179, pp. 95.
- Clark, Malcolm R., and others (2019). Little evidence of benthic community resilience to bottom trawling on seamounts after 15 years. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, p. 63.
- Da Silva, Helder Marques, and Mário Rui Pinho (2007). Small-scale fishing on seamounts. In *Seamounts: Ecology Fisheries and Conservation, Fisheries and Aquatic Resource Series, Blackwell Scientific*, T.J. Pitcher and others, eds., pp. 335–360. Fish and Aquatic Resources Series. Oxford: Blackwell Science.
- Davies, Andrew J., and John M. Guinotte (2011). Global habitat suitability for framework-forming cold-water corals. *PLoS One*, vol. 6, No. 4, e18483.
- Davies, Jaime S., and others (2015). Benthic assemblages of the Anton Dohrn Seamount (NE Atlantic): defining deep-sea biotopes to support habitat mapping and management efforts with a focus on vulnerable marine ecosystems. *PLoS One*, vol. 10, No. 5, e0124815.
- Denda, A., and Bernd Christiansen (2014). Zooplankton distribution patterns at two seamounts in the subtropical and tropical NE Atlantic. *Marine Ecology*, vol. 35, No. 2, pp. 159–179.
- Denda, A., and others (2017). Microzooplankton and meroplanktonic larvae at two seamounts in the subtropical and tropical NE Atlantic. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol. 97, No. 1, pp. 1–27.
- Djurhuus, A., and others (2017). The spatial distribution of particulate organic carbon and microorganisms on seamounts of the South West Indian Ridge. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 136, pp. 73–84.
- Dong, Dong, and others (2017). Three squat lobsters (Crustacea: Decapoda: Anomura) from tropical West Pacific seamounts, with description of a new species of *Uroptychus* Henderson, 1888. *Zootaxa*, vol. 4311, No. 3, pp. 389–398.
- Du Preez, Cherisse, and others (2016). The structure and distribution of benthic communities on a shallow seamount (Cobb Seamount, Northeast Pacific Ocean). *PLoS One*, vol. 11, No. 10, e0165513.
- Dueñas, Luisa F., and others (2016). The Antarctic Circumpolar Current as a diversification trigger for deep-sea octocorals. *BMC Evolutionary Biology*, vol. 16, No. 1, art. 2.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009) = Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО) (2011). *Международные руководящие принципы регулирования глубоководного промысла в открытом море*. Рим.
- _____ (2018). *Global Review of Orange Roughy (Hoplostethus Atlanticus), Their Fisheries, Biology and Management*. Geoffrey Tingley and Matthew Dunn, eds. FAO Fisheries and Technical Paper 622. Rome.
- Guinotte, John M., and others (2006). Will human-induced changes in seawater chemistry alter the distribution of deep-sea scleractinian corals? *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 4, No. 3, pp. 141–146.
- Harris, Peter, and others (2014). Geomorphology of the oceans. *Marine Geology*, vol. 352, pp. 4–24. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.01.011>.
- Hebbeln, Dierk, and others (2019). The fate of cold-water corals in a changing world: a geological perspective. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 119.

- Hein, James R., and others (2013). Deep-ocean mineral deposits as a source of critical metals for high- and green-technology applications: comparison with land-based resources. *Ore Geology Reviews*, vol. 51, pp. 1–14.
- Henry, L.-A., and others (2016). Seamount egg-laying grounds of the deep-water skate *Bathyraja richardsoni*. *Journal of Fish Biology*, vol. 89, No. 2, pp. 1473–1481.
- Henry, Lea-Anne, and others (2014). Environmental variability and biodiversity of megabenthos on the Hebrides Terrace Seamount (Northeast Atlantic). *Scientific Reports*, vol. 4, art. 5589.
- Holland, L.P., and others (2019). *Genetic connectivity of deep-sea corals in the New Zealand region*. New Zealand Aquatic Environment & Biodiversity Report No. 245. Wellington.
- Howell, Kerry L., and others (2010). Mounting evidence: near-slope seamounts are faunally indistinct from an adjacent bank. *Marine Ecology*, vol. 31, pp. 52–62.
- Ison, S., and others (2021). Tourist preferences for seamount conservation in the Galapagos Marine Reserve. *Frontiers in Marine Science*.
- Jones, E.M., and others (2018). Oceanographic setting and short-timescale environmental variability at an Arctic seamount sponge ground. *Deep Sea Research I*, vol. 138, pp. 98–113.
- Kennedy, Brian R.C., and others (2019). The unknown and the unexplored: insights into the Pacific Deep-Sea following NOAA CAPSTONE expeditions. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 21.
- Kvile, Kristina Ø., and others (2014). A global assessment of seamount ecosystems knowledge using an ecosystem evaluation framework. *Biological Conservation*, vol. 173, pp. 108–120.
- Laptikhovskiy, V., and others (2017). Cephalopods of the Southwest Indian Ocean Ridge: a hotspot of biological diversity and absence of endemism. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 136, pp. 98–107.
- Lavelle, J. William, and Christian Mohn (2010). Motion, commotion, and biophysical connections at deep ocean seamounts. *Oceanography*, vol. 23, No. 1, pp. 90–103.
- Lemos, A.T., and others (2018). Annual phytoplankton blooming using satellite-derived chlorophyll-a data around the Vitória-Trindade Chain, Southeastern Brazil. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 136, pp. 62–71.
- Letessier, Tom B., and others (2017). Seamount influences on mid-water shrimps (Decapoda) and gnathophausiids (Lophogastridea) of the South-West Indian Ridge. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 136, pp. 85–97.
- Levin, Lisa A., and others (2016). Defining “serious harm” to the marine environment in the context of deep-seabed mining. *Marine Policy*, vol. 74, pp. 245–259.
- Maldonado, Manuel, and others (2015). Aggregated clumps of lithistid sponges: a singular, reef-like bathyal habitat with relevant paleontological connections. *PloS One*, vol. 10, No. 5, e0125378.
- Matos, Lélia, and others (2017). Coral mound development at the Campeche cold-water coral province, southern Gulf of Mexico: implications of Antarctic Intermediate Water increased influence during interglacials. *Marine Geology*, vol. 392, pp. 53–65.
- Meirelles, Pedro M., and others (2015). Baseline assessment of mesophotic reefs of the Vitória-Trindade seamount chain based on water quality, microbial diversity, benthic cover and fish biomass data. *PloS One*, vol. 10, No. 6, e0130084.
- Meredith, Michael P., and others (2015). Circulation, retention, and mixing of waters within the Weddell-Scotia Confluence, Southern Ocean: the role of stratified Taylor columns. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 120, No. 1, pp. 547–562.
- Miller, Karen J., and Rasanthi M. Gunasekera (2017). A comparison of genetic connectivity in two deep sea corals to examine whether seamounts are isolated islands or stepping stones for dispersal. *Scientific Reports*, vol. 7, art. 46103.

- Miller, Kathryn A., and others (2018). An overview of seabed mining including the current state of development, environmental impacts, and knowledge gaps. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 418.
- Montserrat, Francesc, and others (2019). Deep-sea mining on the Rio Grande Rise (Southwestern Atlantic): a review on environmental baseline, ecosystem services and potential impacts. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 145, pp. 31–58.
- Morato, Telmo, and others (2008). Evidence of a seamount effect on aggregating visitors. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 357, pp. 23–32.
- Morato, Telmo, and others (2010). Can we protect seamounts for research? A call for conservation. *Oceanography*, vol. 23, No. 1, pp. 190–199.
- Murton, B.J., and others (2017). Detailed description of FeMn crusts at Tropic Seamount. *Proceedings of the American Geophysical Union, Fall Meeting 2017*, abstract #OS34A-05. Washington, D.C.: American Geophysical Union.
- Nanson, R., and others (2018). An eco-narrative of Gifford Marine Park: Temperate East marine region. *Report to the National Environmental Science Programme, Marine Biodiversity Hub*. Geoscience Australia.
- Narayanaswamy, Bhavani E., and others (2013). First observations of megafaunal communities inhabiting George Bligh Bank, northeast Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 92, pp. 79–86.
- Nishida, K., and others (2016). Prey use by three deep-sea fishes in the Emperor Seamount waters, North Pacific Ocean, as revealed by stomach contents and stable isotope analyses. *Environmental Biology of Fishes*, vol. 99, No. 4, pp. 335–349.
- O'Hara, Timothy D., and others (2010). Environmental predictors and turnover of biota along a seamount chain. *Marine Ecology*, vol. 31, pp. 84–94.
- Pante, Eric, and others (2015). An inter-ocean comparison of coral endemism on seamounts: the case of *Chrysogorgia*. *Journal of Biogeography*, vol. 42, No. 10, pp. 1907–1918.
- Pereira-Filho, Guilherme H., and others (2012). Extensive rhodolith beds cover the summits of southwestern Atlantic Ocean seamounts. *Journal of Coastal Research*, vol. 28, No. 1, pp. 261–269.
- Perez, Jose Angel Alvarez, and others (2018). Benthopelagic megafauna assemblages of the Rio Grande Rise (SW Atlantic). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 134, pp. 1–11.
- Pitcher, Tony J., and others (2007). *Seamounts: Ecology, Fisheries & Conservation*. Oxford: Blackwell.
- Pitcher, Tony J., and others (2010). Seamount fisheries: do they have a future? *Oceanography*, vol. 23, No. 1, pp. 134–144.
- Preciado, Izaskun, and others (2017). Food web functioning of the benthopelagic community in a deep-sea seamount based on diet and stable isotope analyses. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 137, pp. 56–68.
- Ramiro-Sánchez, Berta, and others (2019). Characterization and mapping of a deep-sea sponge ground on the Tropic Seamount (northeast tropical Atlantic): implications for spatial management in the high seas. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 278.
- Ramos, Manuela, and others (2016). Patterns in megabenthic assemblages on a seamount summit (Ormonde Peak, Goringe Bank, Northeast Atlantic). *Marine Ecology*, vol. 37, No. 5, pp. 1057–1072.
- Read, Jane, and Raymond Pollard (2017). An introduction to the physical oceanography of six seamounts in the southwest Indian Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 136, pp. 44–58.
- Rogers, A. (2016). Pelagic ecology of the South West Indian Ocean Ridge seamounts: introduction and overview. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 136, pp. 1–4.
- _____ (2018). The biology of seamounts: 25 years on. *Advances in Marine Biology*, vol. 79, pp. 137–223.

- _____ (2015). Environmental change in the deep ocean. *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 40, pp. 1–38.
- Rowden, A.A., and others (2008). *New Zealand's "SEAMOUNT" database: recent updates and its potential use for ecological risk assessment*. Aquatic Environment and Biodiversity Report No. 27.
- Rowden, A.A., and others (2010a). A test of the seamount oasis hypothesis: seamounts support higher epibenthic megafaunal biomass than adjacent slopes. *Marine Ecology*, vol. 31, pp. 95–106.
- Rowden, A.A., and others (2010b). Paradigms in seamount ecology: fact, fiction and future. *Marine Ecology*, vol. 31, pp. 226–241.
- Rowden, A.A., and others (2017). High-resolution habitat suitability models for the conservation and management of vulnerable marine ecosystems on the Louisville Seamount Chain, South Pacific Ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 335.
- Schlacher, Thomas A., and others (2014). Seamount benthos in a cobalt-rich crust region of the central Pacific: conservation challenges for future seabed mining. *Diversity and Distributions*, vol. 20, No. 5, pp. 491–502.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity Secretariat (2009). *Azores Scientific Criteria and Guidance for Identifying Ecologically or Biologically Significant Marine Areas and Designing Representative Networks of Marine Protected Areas in Open Ocean Waters and Deep Sea Habitats*. Montreal, Canada.
- Sonnekus, Martinus J., and others (2017). Phytoplankton and nutrient dynamics of six South West Indian Ocean seamounts. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 136, pp. 59–72.
- Staudigel, Hubert and others (2010). Seamount sciences: quo vadis? *Oceanography*, vol. 23, No. 1, pp. 212–213.
- Stefanoudis, P., and others (2019). Depth-dependent structuring of reef fish assemblages from the shallows to the rariphotic zone. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 307.
- Stocks, Karen I. (2010). BOX 10-SeamountsOnline: A Desktop Window Into the Lives of Seamounts. *Oceanography*, vol. 23, No. 1, p. 145.
- Stocks, Karen I., and others (2012). CenSeam, an international program on seamounts within the census of marine life: achievements and lessons learned. *PloS One*, vol. 7, No. 2, e32031.
- Sweetman, Andrew K., and others (2017). Major impacts of climate change on deep-sea benthic ecosystems. *Elementa: Science of the Anthropocene*, vol. 5, pp. 1–23.
- Taylor, M.L., and others (2016). Plastic microfibre ingestion by deep-sea organisms. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 33997.
- Tittensor, Derek P., and others (2010). Seamounts as refugia from ocean acidification for cold-water stony corals. *Marine Ecology*, vol. 31, pp. 212–225.
- Tracey, Dianne M., and others (2011). Habitat-forming cold-water corals show affinity for seamounts in the New Zealand region. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 430, pp. 1–22.
- Turnewitsch, Robert, and others (2016). Tidal influence on particulate organic carbon export fluxes around a tall seamount. *Progress in Oceanography*, vol. 149, pp. 189–213.
- United Nations (2017a). Chapter 51: Biological communities on seamounts and other submarine features potentially threatened by disturbance. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Victorero, Lissette, and others (2018). Species replacement dominates megabenthos beta diversity in a remote seamount setting. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 4152.

- Vieira, Rui P., and others (2015). Lost fishing gear and litter at Gorrington Bank (NE Atlantic). *Journal of Sea Research*, vol. 100, pp. 91–98.
- Wang, Dexiang, and others (2016). Three new species of glass sponges Phoronematidae (Porifera: Hexactinellida) from the deep-sea of the northwestern Pacific Ocean. *Zootaxa*, vol. 4171, No. 3, pp. 562–574.
- Watson, Reg, and others (2007). Catches from world seamount fisheries. In *Seamounts: Ecology, Fisheries & Conservation*, Tony J. Pitcher and others, eds., pp. 400–412. Oxford: Blackwell Publishing.
- Wessel, Paul, and others (2010). The global seamount census. *Oceanography*, vol. 23, No. 1, pp. 24–33.
- Woodall, Lucy C., and others (2014). The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society Open Science*, vol. 1, No. 4, 140317.
- Woodall, Lucy C., and others (2015). Deep-sea litter: a comparison of seamounts, banks and a ridge in the Atlantic and Indian Oceans reveals both environmental and anthropogenic factors impact accumulation and composition. *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, art. 3.
- Woodall, Lucy C., and others (2018). A multidisciplinary approach for generating globally consistent data on mesophotic, deep-pelagic, and bathyal biological communities. *Oceanography*, vol. 31, No. 3, pp. 76–89.
- Yesson, Chris, and others (2011). The global distribution of seamounts based on 30 arc seconds bathymetry data. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 58, No. 4, pp. 442–453.
- Yesson, Chris, and others (2012). Global habitat suitability of cold-water octocorals. *Journal of Biogeography*, vol. 39, No. 7, pp. 1278–1292.
- Yesson, Chris, and others (2017). The global distribution of deep-water Antipatharia habitat. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 145, pp. 79–86.
- Zeng, Cong, and others (2017). Population genetic structure and connectivity of deep-sea stony corals (Order Scleractinia) in the New Zealand region: Implications for the conservation and management of vulnerable marine ecosystems. *Evolutionary Applications*, vol. 10, No. 10, pp. 1040–1054.

Глава 7М

Абиссальные равнины

Участники: Джероэн Ингелс (координатор), Анжелу Ф. Бернардину, Холли Бик, Пуньяслоке Бхадури, Томас Дальгрэн, Дэниел О. Б. Джоунз, Малколм Р. Кларк, Крейг Макклейн, Клифтон Наннали, Пол Снелгроув, Джошуа Т. Тухумвире (ведущий участник, ответственный за подглаву), Дива Эймон и Мориаки Ясухара.

Ключевые тезисы

- Абиссаль пролегает на глубине от 3 до 6 км и занимает больше земной поверхности, чем все другие среды обитания, вместе взятые.
- В настоящей «Оценке состояния Мирового океана» впервые появляется глава, целиком посвященная абиссали. Она охватывает биоразнообразие, региональные различия, биогеографию, а также изменения и воздействия, становящиеся результатом природных стрессоров и антропогенной деятельности.
- Абиссальное биоразнообразие недостаточно выяснено, и существует множество пробелов в нынешнем понимании эволюции и биогеографии абиссали, а также распространения в ней организмов, соединенности их популяций и их реакции на меняющиеся условия.
- Фрагментарность знаний об абиссальной таксономии объясняется во многом сложностью собирания проб на обширной и удаленной территории и вытекающей отсюда ограниченностью исследовательских усилий, которая мешает развитию научных представлений.
- Большинство абиссальных сред поддерживаются процессы, которые определяют функционирование глубоководных и глобальных экосистем и тесно связаны с поверхностной продукцией и пелагическими процессами.
- В абиссали, несмотря на ее удаленность, ощущаются климатические изменения и антропогенные воздействия.

1. Введение

1.1. Ситуация, отраженная в первой «Оценке состояния Мирового океана»

В первой «Оценке состояния Мирового океана» (United Nations, 2017d) абиссальные среды были описаны сжато – в главе 1 (United Nations, 2017a), главе 36F (United Nations, 2017c) и главах, посвященных биоразнообразию в различных океанских регионах. Были отмечены зависимость абиссальных местообитаний от притока пищи сверху, возможные последствия климатических изменений и вероятное воздействие глубоководной разработки морского дна. Сохраняется неопределенность в отношении абиссального биоразнообразия и того, как оно потенциально соотносится с пелагическими и поверхностными водными организмами и будущими изменениями в них. Первая «Оценка» не содержала всестороннего описания абиссального биоразнообразия, представленного в настоящей главе.

1.2. Общие сведения

Абиссальная зона (глубина воды 3–6 км) (Gage and Tyler, 1991) занимает больше всего территории на Земле: около 58 процентов поверхности планеты. Она состоит в основном из обширных участков донных равнин, обычно покрытых мелкозернистыми отложениями и спорадиче-

ски перемежающихся твердым субстратом на возвышениях (подводные холмы и горы, срединно-океанические хребты, островные дуги) и понижениях (долины, более глубокие желоба). Поскольку в эту зону совсем не проникает солнечный свет, а собственная первичная продукция у нее отсутствует (не считая происходящего кое-где хемосинтеза; см. гл. 7Р), для нее характерна экосистема, базирующаяся на изменчивом «дожде» материала из эвфотических зон, расположенных на меньших глубинах. Несмотря на ограниченность пищи и более низкую численность популяций по сравнению с большинством глубоководных местообитаний (Gage and Tyler, 1991), абиссаль поддерживает высокий уровень альфа- и бета-разнообразия мейофауны, макрофауны и мегафауны (Rex and Etter, 2010). Количество и качество частиц пищи, опускающихся с поверхности океана, сильно влияют на экосистемную структуру и функцию (Smith and others, 2008; McClain and others, 2012a), но при этом обратные механизмы, т. е. привнесение нутриентов в водную толщу абиссальными обитателями, изучены плохо (Thurber and others, 2014). Абиссальные регионы отличаются друг от друга физическими переменными, характеристиками поверхностных вод и биогеографическими особенностями, которые находят отражение в их бионтах, сообществах и биоразнообразии.

Абиссальному биоразнообразию свойственна пространственная (Glover and others, 2002; Woolley and others, 2016; Simon-Lledó and others, 2019a) и временная (Ruhl and others, 2008) изменчивость. Закономерности биоразнообразия в масштабах от регионального до глобального изучены плохо, однако в некоторых регионах, например абиссали Южного океана (Brandt and others, 2006; Griffiths, 2010) и экваториальной части Тихого океана (Glover and others, 2002; Amon and others, 2016a), имеются крупные резервуары биоразнообразия. Количество изученных таксонов невелико, но степень соединенности их популяций представляется высокой (Vasco and others, 2016; Taboada and others, 2018). Исследования же функционального разнообразия морского глубоководья только начинаются (например, Chapman and others, 2019), причем это относится и к морскому дну абиссальных районов (например, Christodoulou and others, 2019; O'Hara and others, 2019). Выяснение биоразнообразия разных регионов идет разными темпами. В последние годы интерес к разработке морского дна (см. гл. 18) способствовал получению новой информации по таким регионам, как разломная зона Кларион-Клиппертон в центральной части Тихого океана (например,

Dahlgren and others, 2016; Glover and others, 2016a; Amon and others, 2017a, 2017b; Marsh and others, 2018; Wiklund and others, 2019). В частности, появились свидетельства как биоразнообразия, так и уязвимости обитателей этих регионов (Vanreusel and others, 2016).

На абиссали будет, вероятно, сказываться изменение климата (Yasuhara and Danovaro, 2016; Sweetman and others, 2017). Прогнозы говорят о росте температуры и закисления в океанской абиссали, а также о снижении кислородной концентрации и ослаблении притока органических веществ в нижние слои воды. Видимо, будут реагировать и другие океанографические процессы, что приведет к усилению стратификации и ослаблению обмена водных масс. Ввиду узости экологических ниш, занимаемых абиссальной биотой, подобные изменения способны вызвать географические сдвиги и усилить уязвимость абиссальных организмов к другим антропогенным воздействиям (Levin and others, 2020). Вопрос о том, каково антропогенное воздействие на абиссальные экосистемы, в настоящее время выяснен слабо, и это лишь подчеркивает наличие уязвимости, которая в будущем, скорее всего, возрастет.

2. Сдвиг в базисных параметрах абиссального биоразнообразия и документирование его состояния и происходящих в нем изменений

Сложность собирания проб в удаленных точках, располагающихся на глубинах более 3000 м, способствует недостаточной охваченности абиссальной зоны пробоотбором (Glover and others, 2018). Эта недостаточность отражена в количестве записанных данных о биоразнообразии (рисунки I и II). Кроме того, пробоотборные работы сосредоточивались больше на морском дне, чем на весьма неоднородной и обширной пелагической области.

2.1. Бентическое абиссальное биоразнообразие и стьюковка бентали с пелагиалью

Значительная часть тонкой обитаемой структуры на отложениях имеет биогенное происхождение. Свой вклад в эту структуру вносят и эпизодиче-

ски оказывающиеся на морском дне пищевые ресурсы (McClain and Schlacher, 2015). Течения, которым свойственна низкая скорость, вызывают лишь минимальную эрозию отложений (Smith and others, 2008), но влияют на их состав (McCave, 2017). Абиссальные воды холодные (<5 °C), относительно постоянные по температуре (Sweetman and others, 2017) и характеризуются крайне высоким гидростатическим давлением.

Органическое вещество попадает в абиссаль главным образом в результате оседания нерастворенного органического углерода, который образуется в основном в поверхностных слоях воды за счет фотосинтетической первичной продукции и зоопланктона, причем последний генерирует вторичную продукцию и побочные продукты (Cavan and others, 2015). При гибели морских по-

звоночных их тела тоже могут через несколько дней оказаться на абиссальной равнине, временно увеличивая локальную снабженность пищей (Amon and others, 2016b). Экспортируемый с поверхности органический материал может достичь абиссальных глубин за несколько дней, но скорость этого экспорта колеблется (Smith and others, 2008). Динамика экспорта частиц, например из верхних слоев летом, может сильно влиять на биогеохимические процессы в абиссали (Bouef and others, 2019). Вместе с тем реминерализация по всей протяженности водной толщи приводит к тому, что абиссального дна достигают лишь очень малые количества органического вещества (около 0,5–5,0 процента поверхностной продукции) (Lutz and others, 2007; Smith and others, 2008; Smith and others, 2009). Поступление пищи влияет на абиссальные сообщества и их разнообразие, численность, плотность и состав; важные микробные группы — на такие процессы, как круговорот углерода и азота; вертикальный перенос органического вещества — на состав и биогеографию глубоководных прокариотных (и эукари-

отных) сообществ (Mestre and others, 2018). Из-за малодоступности энергии абиссальным организмам обычно свойственны низкая численность, биомасса и скорость протекания биологических процессов: метаболизма, роста и размножения (Smith and others, 2008; Wei and others, 2010).

С увеличением глубины воды общая биомасса у всех размерных классов бентоса, как правило, уменьшается, за исключением бактерий и архей, которые доминируют в биомассе абиссальных равнин и более глубоких слоев (Wei and others, 2010). Оценочное моделирование позволяет предположить, что глобальная биомасса прокариот на морском дне составляет примерно 35 мегатонн углерода (Wei and others, 2010). Таким образом, активность микробных сообществ сильно влияет на тип и количество питательных веществ, высвобождаемых обратно в пелагическую среду. Микробы также подвергаются нисходящему воздействию со стороны вирусных популяций (Suttle, 2005) и выеданию животными различного размера (например, Howell and others, 2003; Ingels and others, 2010).

Рисунок I.A

Количество записей, содержащихся в Информационной системе по океаническому биоразнообразию (ОБИС), в зависимости от глубины океана

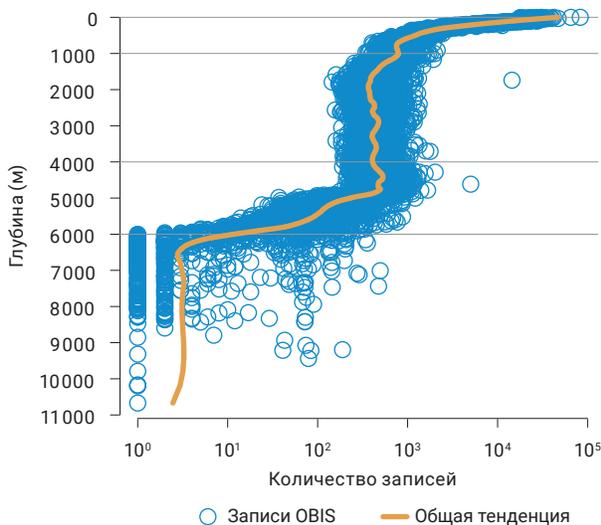
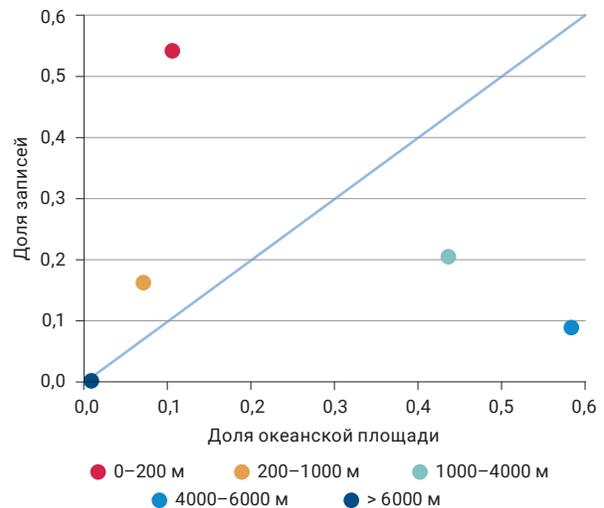


Рисунок I.B

Доля всех записей в ОБИС, соответствующих разным глубинным зонам, в зависимости от того, какая доля площади Мирового океана встречается на этих глубинах



Источник: Webb and others, 2010.

Примечание. Биссектриса разделяет области океана, по которым количество записей пропорционально больше (точки над биссектрисой) или меньше (точки под биссектрисой) количества, ожидаемого с учетом их площади. График объективно показывает недостаточную или избыточную представленность каждой среды обитания в зависимости от ее размеров.

Рисунок II.A

Карта мира, показывающая количество записей по абиссали, содержащихся в Информационной системе по океаническому биоразнообразию

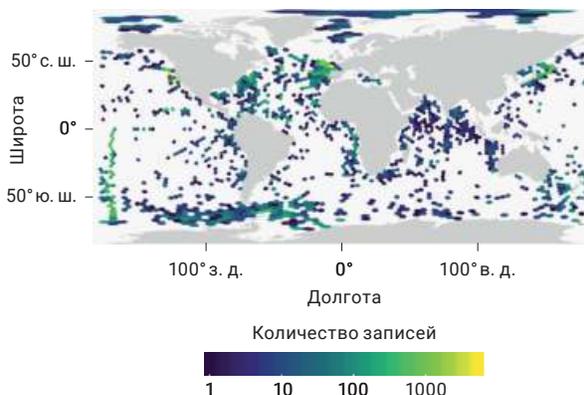
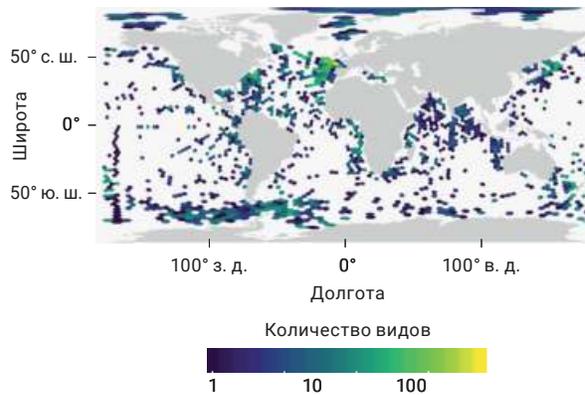


Рисунок II.B

Карта мира, показывающая присутствие биологических видов на глубине от 3000 до 6000 м



Источник: Ocean Biodiversity Information System (OBIS), 16 May 2019, Intergovernmental Oceanographic Commission of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Заимствовано с сайта <https://obis.org>.

Примечания. А: количество имеющихся данных редко превышает 1000 записей на 75 000 м² площади (налицо пробелы, особенно по Тихому океану и южной части Атлантического и Индийского океанов). В: Северо-Восточная Атлантика охвачена пробоотбором больше, чем все другие океанские акватории). Обратите внимание на корреляцию между количеством записей и присутствием видов.

2.2. Абиссопелагическая зона

Гораздо меньше известно о пелагической фауне, которая занимает в основном глубины от 3 до 6 км, обитая на высоте более 200 м над морским дном. Согласно Информационной системе по океаническому биоразнообразию, охваченность этих экосистем пробоотбором минимальна, что указывает на серьезные пробелы в знаниях о среде обитания, площадь которой превышает 1 млрд км³ и которая потенциально может являться крупнейшим на Земле резервуаром неизведанного биоразнообразия (Robison, 2009). Абиссопелагическая зона способствует критически значимой экосистемной услуге, которую Мировой океан оказывает, будучи крупнейшим на планете поглотителем углерода (Atwood and others, 2020). Ежедневная вертикальная миграция между глубоководными пелагическими слоями не только является частью долговременной циркуляции в океанском глубоководье, но и может перемещать растворенные питательные вещества, которые способствуют первичной продукции в фотической зоне (Houghton and Dabiri, 2019).

2.3. Основные различия или контрасты (в региональной разбивке)

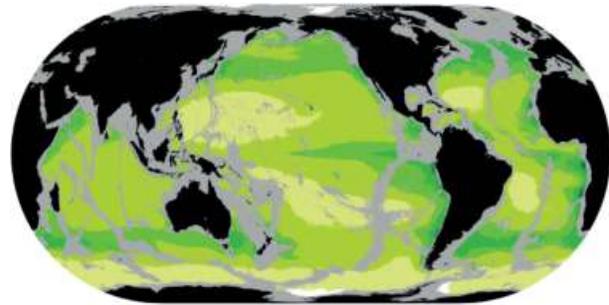
Широкомасштабная неоднородность физической и химической среды (поток органических веществ, кислород и т. д.) в абиссали вызывает географическую дифференцированность биоразнообразия. При этом соленость меняется слишком слабо, чтобы считаться фактором такой неоднородности. Подобная географическая дифференцированность может также обуславливать несовпадения в реакции разных регионов на антропогенные воздействия, однако не хватает данных, которые позволили бы оценить эту возможность.

Доступность углерода. Многочисленные исследования доступности углерода указывают на разнообразие процессов, определяющих содержание нерастворенного органического углерода в абиссали, а тем самым — и облик населяющих ее сообществ (Carney, 2005; Smith and others, 2008; Rex and Etter, 2010; McClain and others, 2012a; McClain and Schlacher, 2015; Woolley and others, 2016). Притоку частиц органического углерода в глубоководные слои свойственна пространственно-временная изменчивость (Lampitt and

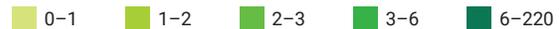
Antia, 1997; Lutz and others, 2007; рисунок III). Такие факторы, как глубина, расстояние от продуктивных прибрежных вод и/или присутствие апвеллинга, могут вызывать значительные локальные эффекты, выражающиеся обычно в ограничении притока нерастворенного органического углерода на дно морского глубоководья. Например, в экваториальной части Тихого океана апвеллинг приводит к высоким значениям такого притока (2–6 г/м²/год), тогда как в близлежащих областях, расположенных южнее, эти значения крайне малы (<1 г/м²/год) (Watling and others, 2013). В районах северо-восточной части Тихого океана и юго-восточной части Атлантического океана, где интенсивность прибрежного апвеллинга сочетается с узкостью континентального шельфа, абиссальные местообитания оказываются ближе к продуктивным прибрежным водам, что приводит к усилению притока нерастворенного органического углерода (Lutz and others, 2007; Lampitt and Antia, 1997). В Северной Атлантике из-за вспышек весеннего цветения тоже наблю-

даются умеренно высокие значения такого притока: 6,6 г/м²/год (Lampitt and Antia, 1997).

Рисунок III.A
Приток нерастворенного органического углерода на дно для глубин от 3500 до 6500 м



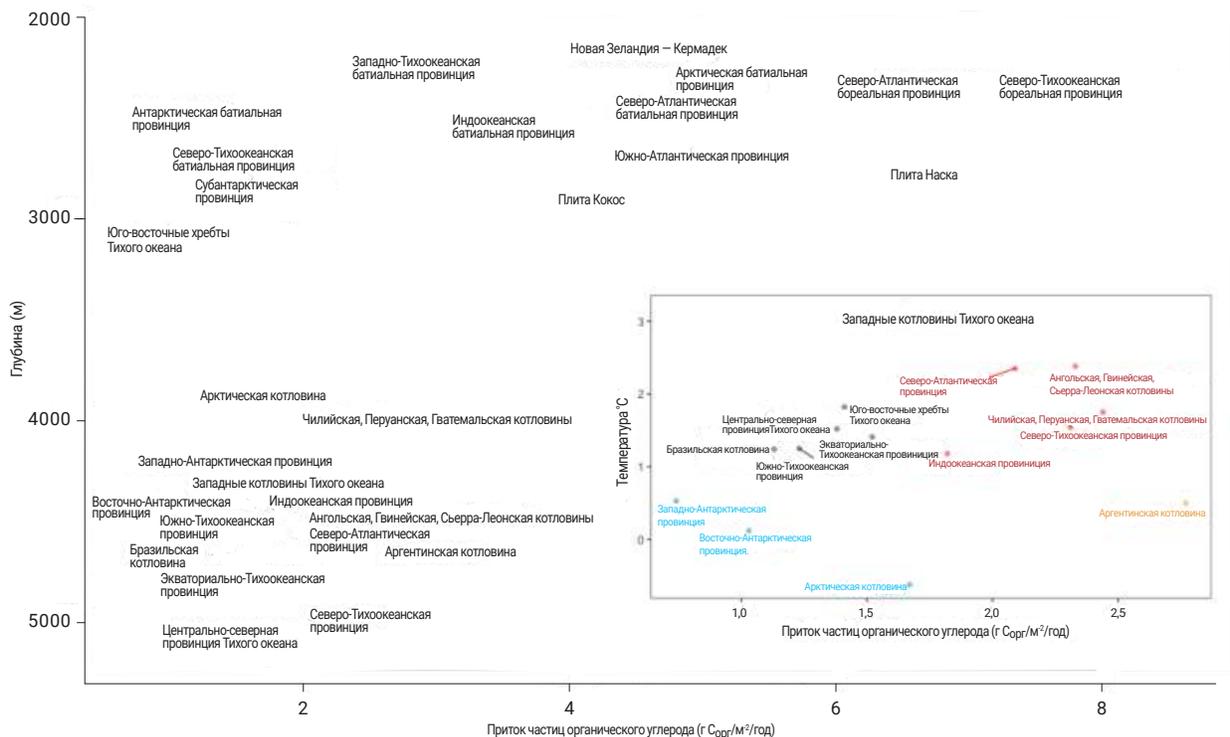
Приток нерастворенного органического углерода на дно по данным Лутца
г C_{орг}/м²/год



Источники: заимствовано у Уотлинга и др. (Watling and others, 2013), которые приводят данные Лутца и др. (Lutz and others, 2007).

Рисунок III.B

Основная часть рисунка показывает зависимость притока нерастворенного органического углерода от глубины и разницу в их притоке между батимальными и абиссальными регионами. Врезка показывает неоднородность абиссальных регионов (зависимость притока нерастворенного органического углерода от температуры)



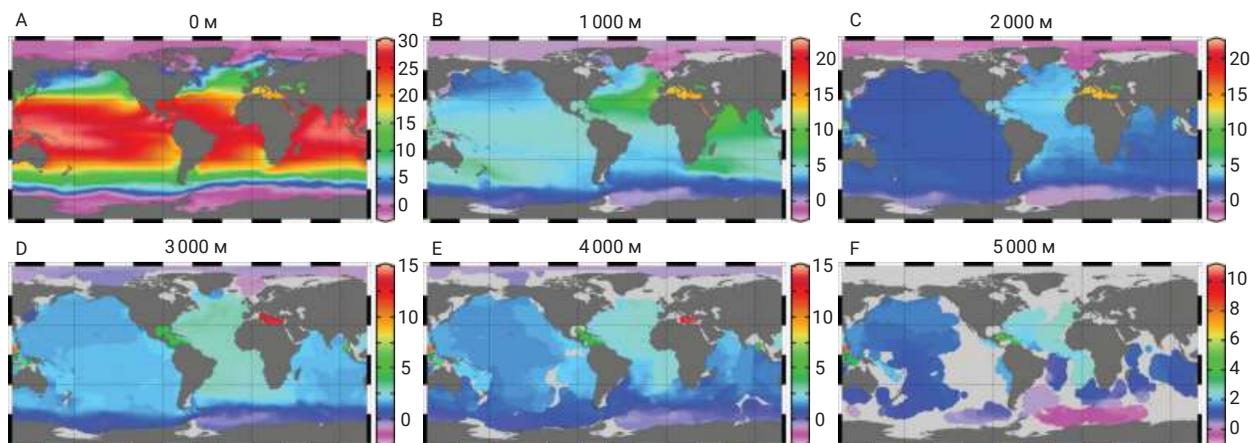
Источники: основано на данных Уотлинга и др. (Watling and others, 2013).

Температура. В абиссали часто проявляется статистически значимое соотношение разнообразия с температурой (Cronin and Raymo, 1997; Hunt and others, 2005; Yasuhara and Danovaro, 2016). Температурой может также ограничиваться биогеографическое распространение некоторых видов (McClain and others, 2012b). В Средиземном море даже на абиссальных равнинах отмечаются температуры выше 10 °С. В некоторых других окраинных морях, например в Мексиканском заливе и море Сулу, тоже отмечаются более высокие температуры, чем на абиссальных глубинах в открытом океане. Абиссальные температуры в Тихом океане несколько ниже, чем в Атлантическом, а в полярных морях они становятся значительно более низкими (см. рисунок IV; Yasuhara

and Danovaro, 2016). Гебби и Хайберс (Gebbie and Huybers, 2019) сообщили недавно о значительной разнице между циркуляцией в Тихом океане (продолжающееся охлаждение как результат малого ледникового периода) и циркуляцией в Атлантическом океане (начинающееся потепление из-за недавних климатических изменений). Происходящие перемены могут повлиять на глубину карбонатной компенсации (глубина воды, при которой скорость поступления карбонатов и скорость их растворения равны) в разных бассейнах. Региональные различия возникают под влиянием глубины и таких процессов, как формирование придонной воды, даунвеллинг и другие обмена водных масс.

Рисунок IV

Общемировое распределение температур на различных водных глубинах (°С)



Источник: Yasuhara and Danovaro, 2016 (адаптировано). (URL: www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA09/pr_woa09.html).
Примечания. Карта построена с помощью Ocean Data View (URL: <http://odv.awi.de>).

Кислород. Концентрации растворенного кислорода влияют на экологию и распространение глубоководных животных (Levin, 2003; Stramma and others, 2010), будучи способны детерминировать присутствие или отсутствие видов в конкретных регионах и ограничивать расселение видов. Содержание кислорода в абиссали может варьироваться от 1 до более чем 6 мл/л (Watling and others, 2013). Двигаясь на север, хорошо окисгенированная антарктическая донная вода усиливает концентрации растворенного кислорода на крайнем юге Индийского, Тихого и Атлантического океанов (3–4 мл/л). В свою очередь,двигающаяся на юг североатлантическая

глубинная вода окисгенирует Северную Атлантику (5,5–6,5 мл/л), в результате чего там образуется одна из самых насыщенных кислородом абиссальных акваторий (наряду с Антарктикой) на Земле (Watling and others, 2013).

Глубина. Минимальная глубина, на которой начинаются абиссальные равнины, варьируется в зависимости от региона. Эта глубина в Мексиканском заливе (3000–3900 м) и в Средиземном море (в среднем 1500 м, максимум 5267 м) начинается на более ранней отметке, чем в других регионах. В Северном Ледовитом океане и в Чилийской, Перуанской и Гватемальской котловинах средняя глубина приближается к 4000 м,

тогда как в северной и центральной частях Тихого океана она ближе к 5000 м. При прочих равных условиях увеличение глубины сопровождается сокращением притока нерастворенного органического углерода. Будучи косвенным показателем давления, глубина может также сдерживать биогеографическое распространение организмов (Somero, 1992; Carney, 2005). Таким образом, региональная дифференцированность абиссальных глубин может вызывать сдвиги в таксономическом составе и влиять на биоразнообразие. Вместе с тем, несмотря на значительные биогеографические различия между регионами, следует отметить малочисленность доказательств, которые указывали бы на сильную корреляцию разнообразия на абиссальных равнинах с глубиной.

Рельеф. Формы рельефа могут мешать обмену особями между глубоководными популяциями и влиять на биогеографическую классификацию (McClain and Hardy, 2010). Доля видов, общих как для Тихого, так и для Атлантического океана, составляет всего лишь 15–20 процентов (Vinogradova, 1997). Гибралтарский пролив сдерживает колонизацию относительно бедного видами Средиземноморья атлантической фауны (Sardà and others, 2004). Расселение видов на абиссальных равнинах может ограничиваться и срединно-океаническими хребтами. Половина известных видов глубоководных двустворчатых моллюсков обитает либо в Восточной, либо в Западной Атлантике (McClain and others, 2011), скорее всего — из-за Срединно-Атлантического хребта.

Недавно исследователи пришли к выводу, что абиссальные холмы, возвышающиеся менее чем на 1000 м над морским дном, порождают такие различия в рельефе, глубине и отложениях, которые способствуют появлению разных таксономических скоплений и формированию большей биомассы (Yesson and others, 2011; Durden and others, 2015), чем на более плоских абиссальных отложениях.

Отложения и субстрат. Типы отложений, обнаруживаемые в разных абиссальных регионах, могут сильно различаться по своему составу. Если диатомовые илы встречаются на большинстве абиссальных глубин, то радиоляриевые илы обнаруживаются, в частности, в Южном океане, экваториальной части Тихого океана и Перуанской

котловине. Крупным компонентом отложений в Австрало-Антарктической котловине являются спикулы губок. На крупных участках морского дна у берегов Южной Америки и в Индийском океане, а также во всей Южно-Австралийской котловине преобладают глинистые отложения (Dutkiewicz and others, 2015). Разнообразие отложений влияет на биоразнообразие, но связи между типом отложений и моделями биоразнообразия остаются малоизученными. На биоразнообразии могут влиять и полиметаллические конкреции, присутствующие в отложениях на абиссальных равнинах. Скопления организмов на конкрециях фундаментально отличаются от сообществ, населяющих придонный слой морской воды или сам слой отложений (Shulze and others, 2017; Simon-Lledó and others, 2019a). Повышенное присутствие конкреций способствует увеличению численности мегафауны и ксенофиофор (Simon-Lledó and others, 2019b). Таким образом, повышение комплексности местообитания из-за присутствия полиметаллических конкреций усиливает разнообразие на всех уровнях абиссальной биоты.

Влияние рек. Воздействие речного стока на абиссаль может выражаться в следующем: а) привнесение углерода с суши; б) появление барьера для расселения особей, сказывающегося на биогеографии; в) возмущение, приводящее к изменению глубоководных отложений. Значительные речные стоки показаны в таблице 1.

Кроме того, в наносах из крупных рек могут содержаться значительные объемы антропогенных загрязнителей, влияние которых на абиссальное биоразнообразие не выяснено (Davies and Moore, 1970). Органические вещества, наносимые крупными реками к континентальным окраинам, склонам и каньонам, легко попадают различными путями в абиссаль, где они могут стать фактором возмущения или стимулирования для биомассы морского дна и для разнообразия сообществ.

Ледяной покров. Полярный ледяной покров влияет на первичную продукцию и тем самым на приток нерастворенного органического углерода в абиссаль. При постоянном ледяном покрове поверхностная продукция сокращается или не формируется, что объясняет ограниченность биоразнообразия и биомассы в Северном

Ледовитом океане, где известное видовое богатство полихет может быть ниже, чем в других, аналогичных по размеру бассейнах (Bodil and others, 2011). Отсутствие льда в летнее время может стимулировать поверхностную продукцию и вести к увеличению биоразнообразия и биомассы (Wlodarska-Kowalczyk and Pearson, 2004).

Геологический возраст. На распределение абиссального биоразнообразия, вероятно, влияли геологические сдвиги, которые изменяли соединения между океанскими регионами, в том числе указанные в таблице 2.

Таблица 1
Воздействие речного стока

Реципиент	Река	Мегатонн углерода в год
Индийский океан	Ганг и др.	30,0
Юго-восточная часть Атлантического океана	Конго и др.	30,0
Юго-западная часть Атлантического океана	Амазонка	37,6
Северо-западная часть Тихого океана	Янцзы, Хуанхэ и Меконг	16,2
Северный Ледовитый океан	Сибирские реки	12,8
Мексиканский залив	Миссисипи	3,6
Юго-западная часть Тихого океана	Индонезийские реки (при большом годовом количестве осадков)	90,0

Таблица 2
Соединения между океанскими регионами

Соединение	Когда открылось	Когда закрылось	Источник
	млн лет назад (приблизительно)		
Средиземное море между Атлантическим и Индийским океанами (морской путь Тетис)		19–14	Harzhauser and others, 2007
Пролив Дрейка	30		Lawver and Gahagan, 2003; Livermore and others, 2007; Scher and Martin, 2006
Центральноамериканский морской путь		3	Schmidt and others, 2007; O’Dea and others, 2016; Schmidt and others, 2016
Берингов пролив (между Северным Ледовитым и Тихим океанами)	4,8–7,4		Marincovich and Gladenkov, 2001; Hu and others, 2012
Пролив Фрама (между Северным Ледовитым и Атлантическим океанами)	10–20		Engen and others, 2008; Ehlers and Jokat, 2013

Источник: Yasuhara and others, 2019a.

2.4. Абиссальная биогеография

Если границы между бентическими скоплениями на континентальных окраинах — вполне признанный факт, то вопрос о существовании таких границ в абиссали остается не выясненным (Carney, 2005). Исследователи пытались установить биогеографические области на глубинах ниже 3000 м. В прошлом было несколько попыток, которые строились вокруг сходств по температуре, рельефу или фауне. В одних случаях предлагалось деление на Атлантический, Индо-Тихоокеанский, Антарктический и Арктический регионы; в других Арктический и Атлантический регионы объединялись; в третьих ставились под сомнение такие объединения, Индийский и Тихий океаны выделялись в самостоятельные регионы или предлагалось выделить больше субрегионов (Menziés and others, 1973; Vinogradova, 1979, 1997; Carney, 1994).

Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры спонсировала схему, которая получила название «Биогеографическая классификация открытых районов Мирового океана и глубоководных участков морского дна» (ГООДС) и в которой с использованием таких параметров окружающей среды, как температура, соленость, растворенный кислород, поток углерода, первичная продукция, батиметрия и границы плит, оконтурены биогеографические провинции, в том числе 14 абиссальных провинций (Briones and others, 2009)¹.

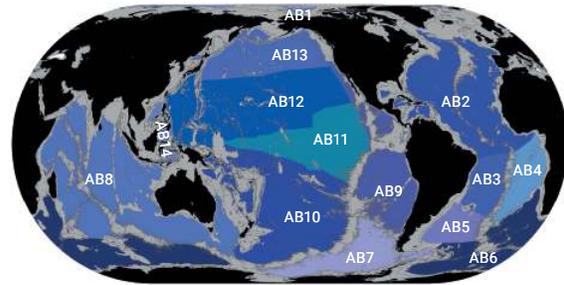
Позднее было выдвинуто предложение уточнить эти 14 абиссальных провинций (рисунок V), придав больше веса гидрографическим характеристикам, потоку частиц органического углерода, растворенному кислороду и воздействию холодных антарктических и более теплых североатлантических вод (Watling and others, 2013).

2.5. Зафиксированные изменения в абиссальном биоразнообразии

2.5.1. Данные палеоэкологических исследований

Временные ряды за периоды, составляющие более чем несколько десятилетий, выстраиваются только из данных, фиксируемых по окаме-

Рисунок V
Предлагаемые биогеографические регионы



AB1: Арктическая котловина	AB8: Индоокеанская провинция
AB2: Северо-Атлантическая провинция	AB9: Чилийская, Перуанская, Гватемальская котловины
AB3: Бразильская котловина	AB10: Южно-Тихоокеанская провинция
AB4: Ангольская, Гвинейская, Сьерра-Леонская котловины	AB11: Экваториально-Тихоокеанская провинция
AB5: Аргентинская котловина	AB12: Центрально-северная провинция Тихого океана
AB6: Восточно-Антарктическая провинция	AB13: Северо-Тихоокеанская провинция
AB7: Западно-Антарктическая провинция	AB14: Западные котловины Тихого океана

Источник: на основе Watling and others, 2013.

нелостям, которые обнаруживаются в кернах глубоководных отложений (Yasuhara and others, 2017, 2019b), и эти палеоэкологические данные явно указывают на долгосрочные последствия климатических изменений для абиссального биоразнообразия. Последнее положительно коррелирует на протяжении 1000–10 000 лет с температурой придонной воды (Cronin and Raymo, 1997; Cronin and others, 1999; Yasuhara and Cronin, 2008; Yasuhara and Danovaro, 2016). Динамика глубоководной циркуляции и связанные с ней температурные изменения происходили даже на таком временном отрезке, который составлял от нескольких десятилетий до столетия (Yashayaev and others, 2007; Hoffmann and others, 2018; Thornalley and others, 2018; Yasuhara and others, 2019b). У исследователей сложилось мнение, что абиссали, в отличие от батии или еще менее глубоких слоев воды, свойственна значительная стабильность биотических и экологических условий. Данные по окаменелостям за более длительные отрезки времени показывают, что современная глубоководная фауна сформировалась в эпоху миоцена, примерно 13 млн лет назад (Thomas and others, 2000; Thomas, 2007). Градиенты широтного биоразнообразия в морском глубоководье, сформир-

¹ См. Intergovernmental Oceanographic Commission, IOC Technical Series, No. 84 (IOC/2009/TS/84 and Corr.).

ровавшиеся в эпоху позднего эоцена, примерно 37 млн лет назад, сохраняются и сегодня (Thomas and Gooday, 1996).

2.5.2. Зафиксированные изменения в абиссальном биоразнообразии

Насчитывается не так много долгосрочных исследовательских программ, которые позволили получить достаточно данных, чтобы сделать выводы относительно долгосрочных естественных и антропогенных изменений. Там, где такие данные получены, они указывают на сильную связь между поверхностной продукцией и абиссальными донными сообществами, часто при высокой степени динамизма. Выполненные работы показывают, что одноразовые или краткосрочные изыскания в абиссали не позволяют в адекватной степени произвести механистическую оценку изменений в биологических сообществах, в частности для нужд распоряжения глубоководной средой.

Мониторинговые исследования, осуществляемые с 1989 года на станции М (объект, действующий у побережья центральной Калифорнии), указывают на плотную корреляцию между процессами на океанской поверхности и поступлением нерастворенного органического углерода в абиссаль, колебания которого сказываются на структуре и функционировании сообществ. Краткосрочные изменения в абиссальных сообществах, наблюдаемых со станции М (Kuhnz and others, 2014), увязываются с межгодовой изменчивостью климата (Эль-Ниньо/Ла-Нинья) (Ruhl and others, 2014), однако долгосрочные последствия выяснены слабо. Многолетние периоды дефицита пищи в абиссали могут спорадически перемежаться интенсивными «вбросами» туда пищи, создающими ее излишек.

Обсерватория PAP-SO (Porcupine Abyssal Plain Sustained Observatory).

Наблюдения, систематически проводимые с 1989 года на абиссальной равнине Поркьюпайн (Северо-Восточная Атлантика) на глубине 4850 м, позволили получить детализированные данные об участке от поверхности моря до его дна. Реакцией на изменения в притоке органического вещества становятся ощутимые сдвиги в биологических сообществах и в численности популяций (например, Billett and others, 2001), а интенсивность такого притока плотно коррелирует с поверхностной продуктивностью (Frigstad and others, 2015). В результате сдвигов, происшедших за 1989–2005 годы, кардинально поменялось хранение углерода. Большая часть абиссальной биоты реагирует на приток пищи, изменение окружающей среды и конкурентные взаимодействия (Gooday and others, 2010; Kalogeropoulou and others, 2010; Lampitt and others, 2010; Soto and others, 2010). Биогеохимические результаты показывают, что с увеличением антропогенных выбросов CO₂ снижается парциальное давление CO₂ (pCO₂) (Hartman and others, 2015).

Обсерватория LTER (Long-term Ecological Research) Hausgarten.

Данные этой обсерватории (она действует с 1999 года в арктическом проливе Фрама на глубине 250–5500 м) указывают на интенсивное сезонное воздействие, которое на сообщества оказывает региональная ледовая и гидродинамическая обстановка в море (Soltwedel and others, 2005, 2016). Пелагические и бентические данные за 15 лет говорят о быстрой реакции всей экосистемы на изменения в водной толще. Однако сохраняется неопределенность по поводу того, чем объясняются эти тенденции: антропогенными изменениями или естественной многолетней изменчивостью.

3. Главные природные и антропогенные нагрузки

3.1. Природные нагрузки

Природные возмущения в виде придонных течений, ресуспендирования отложений или осаждения частиц пищи могут приводить к кардинальным переменам в бентических сообществах (Hessler and Jumars, 1974; Snelgrove and Smith, 2002). В Атлантике массовое перемещение от-

ложений вниз по склону способно влиять на перенос органического вещества в близлежащие абиссальные котловины (Levin and Gooday, 2003). Сходные процессы происходят во время каскадинга плотных шельфовых вод через каньоны и склоны к абиссальным глубинам, вызываемого повышенной соленостью и зимним похолода-

нием (Carney, 2005; Company and others, 2008). Такие возмущения могут усиливать поступление органического вещества в абиссаль (Canals and others, 2006; Ulses and others, 2008; Palanques and others, 2011).

Точно так же неоднородный рельеф морского дна может модифицировать состав и численность видов, равно как и темпы реминерализации углерода. Абиссальные холмы играют, скорее всего, значительную роль в жизни глубоководных сообществ и круговороте органических веществ в Тихом океане, учитывая многочисленность этих форм рельефа и ограниченность наносимых с континента отложений (Smith and Demopoulos, 2003).

3.2. Антропогенные нагрузки

3.2.1. Изменение климата

Изменение климата будет влиять на физические (соленость, температура), биогеохимические (питательные вещества, CO₂, кислород (O₂), седиментация) и биологические процессы и функции в абиссали (Mora and others, 2013; Sweetman and others, 2017). Абиссальные температуры могут за следующие 80 лет повыситься на 1°, а донные местообитания в абиссали, расположенные под областями формирования глубинных вод, могут испытать к 2100 году снижение концентрации кислорода в водной толще на целых 0,03 мл/л. Такие изменения могут сказаться на снабжении пищей и переносе отложений (Cheung and Levin, 2019; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019). Климатогенные изменения в океанской циркуляции и гидродинамике могут повлиять на соединенность абиссали, сказываясь на расселении пелагических личинок абиссальных организмов (притом что личинки некоторых абиссальных таксонов не достигают верхних слоев океана). Вопрос о том, как такие изменения влияют на сообщества океанского глубоководья, остается открытым, однако десятилетние исследования в северной части Тихого океана указывают на существенную связь между первым и вторым (Ruhl and others, 2008). Поэтому при оценке воздействий, вызываемых изменением климата, а также оказываемых синергически или кумулятивно вместе с другими видами антропогенной деятельности, необходимо учитывать реакцию абиссальных экосистем

(Smith and others, 2008; Levin and Le Bris, 2015; Sweetman and others, 2017).

Ограниченность снабжения абиссальных экосистем пищей говорит о высокой чувствительности всей биоты (от микробов до мегафауны) к изменениям в структуре и продуктивности фитопланктонного сообщества, равно как и в количестве и качестве поступающей извне пищи (Ruhl and Smith, 2004; Ruhl and others, 2008; Billett and others, 2010; Smith and others, 2013). Потепление климата будет, скорее всего, усиливать стратификацию океана, снижать первичную продукцию, повышать кислотность и видоизменять доминирующую структуру фитопланктонного сообщества, вызывая биотические изменения на крупных абиссальных пространствах, таких как экваториальная часть Тихого океана (Smith and others, 2008; Levin and others, 2020). Прогнозы, предсказывающие значительное сокращение притока органического вещества на дно морского глубоководья в большинстве океанских акваторий (Sweetman and others, 2017), контрастируют с прогнозами, согласно которым в полярных морях продукция водной толщи и биомасса морского дна будут возрастать (Jones and others, 2014). В числе угроз для абиссопелагической среды фигурирует также смещение зон кислородного минимума на большую глубину.

3.2.2. Пластиковое и другие формы загрязнения

Загрязнение уже давно сказывается на абиссальных глубинах (Chiba and others, 2018). Даже на океанских глубинах более 10 000 м обнаружены большие объемы пластикового мусора, а также признаки зараженности бентических организмов органическими загрязнителями (см. гл. 11 и 12). Насчитывается не так много научных работ, в которых задокументированы взаимодействия абиссальной биоты с мусором и другими загрязнителями, но эта исследовательская тема быстро становится востребованной. К другим примерам загрязнения абиссали относится происходивший до 1983 года сброс ядерных отходов, о чем рассказывалось в разделе 3 главы 24 первой «Оценки» (United Nations, 2017b).

3.2.3. Добыча полезных ископаемых

За последние несколько десятилетий значительно возрос интерес к запасам полезных ис-

копаемых на абиссальных глубинах. Будущая добыча полезных ископаемых морского дна — полиметаллических конкреций, кобальтоносных корок и полиметаллических сульфидов — потенциально представляет значительную прямую и косвенную угрозу для абиссопелагических и бентических сообществ (Christiansen and others, 2020). В главе 18 настоящей «Оценки» обсуждаются экологические, социальные и экономические аспекты разработки морского дна.

3.2.4. Антропогенные нагрузки на абиссопелагическое биоразнообразие

Хотя в настоящее время биопоисковые и нефтедобывающие работы на абиссальных равнинах — это редкость, они порождают дополнитель-

ные угрозы для здоровья абиссопелагических и бентических местообитаний. Коммерческое рыболовство и рыбоводство в открытом море могут, при плохо поставленном управлении ими на национальном и международном уровнях, угрожать абиссопелагическому разнообразию. Плохое управление ими способно приводить к сокращению популяций, служащих добычей хищников, влиять на нижестоящие звенья пищевой цепи и подрывать биоразнообразие, в том числе разнообразие как промысловых, так и непромысловых ресурсов. Хотя в настоящее время биопоисковые и нефтедобывающие работы на абиссальных равнинах — это редкость, они порождают дополнительные угрозы для абиссопелагической среды.

4. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия

Несмотря на его кажущуюся удаленность и негостеприимность, океанское глубоководье играет немаловажную роль в социальном и экономическом благополучии людей в силу своих эко-

системных функций и услуг в масштабах от регионального до глобального (Van den Hove and Moreau, 2007; Armstrong and others, 2012; Thurber and others, 2014; таблицы 3 и 4).

Таблица 3

Восприимчивость абиссального морского дна и абиссопелагической зоны к экологическим побудителям и нагрузкам, на которые влияет изменение климата

	Степень воздействия на абиссальное морское дно	Степень воздействия на абиссопелагическую зону
Изменения в температуре, кислотности, солености и кислородных характеристиках	От средней до высокой	Низкая
Изменения в уровне моря	Низкая: воздействие проявляется косвенно, через сушу	Низкая: воздействие проявляется косвенно, через сушу
Изменения в суровости штормов и интенсивности экстремальных явлений	Низкая	Низкая
Изменения в ультрафиолетовом излучении	Низкая: воздействие проявляется косвенно, через стыковку бентали с пелагиалью	Низкая: воздействие проявляется косвенно, через стыковку бентали с пелагиалью
Изменения в физических и химических аспектах океана	Низкая	Низкая
Изменения в поступлении пищи	От средней до высокой	От средней до высокой

Таблица 4

Угрозы и нагрузки для услуг, оказываемых абиссальными экосистемами, и их серьезность в абиссали

	Степень угрозы для абиссальных равнин	Степень угрозы для абиссопелагических зон
Обеспечивающие услуги		
Рыбный промысел	В настоящее время угрозы нет	В настоящее время угрозы нет
Добыча нефти и газа	В настоящее время определенная угроза есть; происходит также косвенное воздействие из-за рассеивания при работах на шельфе и в батиали	В настоящее время угрозы нет, но происходит косвенное воздействие из-за рассеивания при работах на шельфе и в батиали
Запасы метана/потенциал для добычи газогидратов	Мексиканский залив, а потенциально и другие районы	Сюда не относится
Производство водорода и использование недр морского дна для будущего удержания и удаления углерода	На данный момент не выяснена	Сюда не относится
Разработка полезных ископаемых (металлоносные отложения, полиметаллические конкреции, редкоземельные металлы, массивные сульфиды)	От средней до высокой (в будущем, потенциально)	От средней до высокой (в будущем, потенциально) – из-за высвобождения добычных отходов и отработанной воды
Удаление отходов	Высокая (проблема широко распространена)	От средней до высокой (проблема присутствует)
Биопоиск	Угроза присутствует, причем потенциально высокая	Угроза потенциально высокая, но не выяснена
Военная деятельность и использование в военных целях	Не выяснена	Не выяснена
Энергообеспечение	В настоящее время угрозы нет	В настоящее время угрозы нет
Поддерживающие услуги		
Предоставление среды обитания	От низкой до средней и высокой (в будущем)	От низкой до средней и высокой (в будущем)
Рециркуляция нутриентов	Средняя	Средняя
Циркуляция воды и водообмен	Средняя	Средняя
Хемосинтетическая первичная продукция	Средняя	Средняя
Обеспечение выносливости	Высокая	Высокая
Регулирующие услуги		
Регулирование газов и климата	Средняя	Средняя
Поглощение и детоксикация отходов	Средняя	Средняя
Биологическое регулирование	Средняя	Средняя
Рециркуляция нутриентов	Средняя	Средняя
Культурные услуги		
Научные знания	Средняя	Средняя
Образовательная ценность	Средняя	Средняя
Экономическая польза	Потенциально высокая	Потенциально высокая
Эстетическая, вдохновляющая, этическая, автохтонная значимость	Высокая	Высокая
Сведения о климате, выясняемые по глубоководным отложениям	Средняя	Сюда не относится

4.1. Воздействия на услуги абиссальных экосистем

По сравнению с другими глубоководными местообитаниями абиссальные равнины предоставляют экосистемные услуги, которые ограничены в сфере своего применения, но не в своей значимости и охвате. Лишь немногие абиссальные услуги, например наличие минеральных ресурсов, способны быть напрямую полезными людям, однако большинством абиссальных сред поддерживаются процессы, определяющие функционирование глубоководных и глобальных экосистем и климатической системы Земли в таких колоссальных масштабах, что они влияют на всю земную систему.

Важнейшей из поддерживающих и регулирующих экосистемных услуг, оказываемых абиссопелагической зоной, является «биологическая помпа», которая ускоряет перенос углерода, питательных веществ и других соединений из по-

верхностных вод в глубоководные. Изменения в фауне, трофических связях или составе сообществ либо физические перемены в водных массах (стратификация, потепление, дезоксигенация, закисление и т. д.) могут приводить к сбоям в ассоциированных биологических процессах, оказывая воздействие на абиссаль через стыковку бентали с пелагиалью. Стресс, вызываемый низким содержанием кислорода, закислением или повышенной температурой, способен снижать выносливость видов и экосистем из-за сдвигов в чувствительности организмов (Pörtner and Farrell, 2008; Pörtner, 2010), в результате чего замедляется восстановление после возмущений, вызываемых человеческой деятельностью, например разработкой морского дна. Последствия изменения климата могут усугубить антропогенные воздействия и поставить под угрозу структуру и функцию глубоководных экосистем, а в конечном итоге — их пользу для благосостояния людей (Mora and others, 2013).

5. Перспективы

В отношении абиссальных экосистем остается много неизвестного, но за последнее десятилетие произошла значительная активизация профильных исследований и ожидается их дальнейшее расширение, особенно ввиду растущего интереса к глубоководной добыче полезных ископаемых. Планы на Десятилетие Организации Объединенных Наций, посвященное науке об океане в интересах устойчивого развития (2021–2030 годы), предусматривают, в частности, расширение глубоководных исследований.

Появление потенциала для глубоководной разработки морского дна, включающей добычу полиметаллических конкреций, порождает риск для абиссальных экосистем. Вместе с тем данные, собираемые в ходе текущих разведочных работ, могут в течение следующих 10 лет повысить знания о глубоководной среде нескольких регионов. Исследователи часто сетуют на существенную нехватку данных о таксономическом биоразнообразии большей части абиссальной фауны. Работа по сбору таких данных ведется, но она будет требовать гораздо больше времени и ресурсов (Glover and others, 2018).

Исследования демонстрируют чувствительность абиссали к изменению климата. Хотя точные последствия климатических изменений в следующие 10–20 лет спрогнозировать непросто, можно ожидать повышения температур, снижения концентраций кислорода, поднятия горизонта насыщения арагонитом и изменений в бентопелагической стыковке (Rogers, 2015; Sweetman and others, 2017). С учетом медленных темпов роста организмов и их хорошей адаптированности к абиссальной обстановке (холод, высокое давление, стабильность, скудость пищи) последствия прогнозируемых изменений для биологических сообществ в абиссали будут, вероятно, более суровыми, чем на меньших глубинах. Значительное снижение притока органического материала на дно, прогнозируемое для глубоководья в большинстве океанских акваторий, может породить особые проблемы для абиссальных районов. Дальнейшие исследования позволят повысить знания об абиссальном биоразнообразии и наше представление о том, как изменение климата и антропогенная деятельность будут влиять на абиссальные экосистемы.

Абиссальные среды могут стать более защищенными в глобальном масштабе. Они включены в классификацию экологически или биологически значимых районов, составленную в рамках Конвенции о биологическом разнообразии (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2008). Международным органом по морскому дну пред-

принимаются дальнейшие усилия по оформлению региональных планов экологического обустройства в связи с разработкой морского дна. Наконец, ведется нормотворческая работа по теме управления биоразнообразием за пределами национальной юрисдикции.

6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях

Несмотря на недавние успехи в изучении абиссальных экосистем, существует множество пробелов в понимании биоразнообразия, эволюции и биогеографии абиссали, а также распределения ее популяций, их соединенности и их реакций на меняющиеся условия и антропогенные воздействия.

Слабость нынешних познаний о таксономии, естественном развитии и биоразнообразии фауны, обитающей на абиссальных равнинах, сдерживает мониторинг экологического воздействия и указывает на необходимость в фоновых исследованиях, которые позволили бы составить списки биологических видов и подсчитать численность их популяций. Тот факт, что более 95 процентов таких видов в районах, где планируется добывать полезные ископаемые, не описаны, говорит о неадекватности нынешнего порядка мониторинговой деятельности. Имеют место усилия по формированию необходимых фауновых каталогов и таксономических знаний (Dahlgren and others, 2016; Glover and others, 2016b; Wiklund and others, 2017), однако в будущем для эффективного мониторинга потребуются непрерывное выделение ресурсов.

Насчитывается очень мало работ, в которых изучались бы абиссальные местообитания на твердом дне. Имеется определенная информация о мегафауне, но сведений о приуроченных к таким местообитаниям микробах, протистах, мейофауне или макрофауне почти нет.

Обширные участки абиссального морского дна остаются совершенно не охваченными пробоотбором. Судя по записям в международных базах данных (например, в Информационной системе по океаническому биоразнообразию), особенно серьезной недоохваченностью пробоотбором отмечаются южная часть Тихого океана, а также глубоководные участки Индийского океана и Бенгальского залива.

Ограниченный характер имеют знания о географических ареалах биологических видов, о типологии их соединенности либо о выносливости сообществ к климатическим стрессорам или к непосредственному антропогенному возмущению в абиссали. Между тем от такой информации зависит эффективная организация человеческой деятельности по поддержанию глубоководного биоразнообразия. Кроме того, слабая характеристика вкладов абиссали в экосистемные товары и услуги суживает ассортимент надлежащих инструментов для адекватной оценки ее благ для человечества (Jobstvagt and others, 2014a, 2014b; Thurber and others, 2014).

Самым же серьезным пробелом в знаниях может являться нехватка документации, обговаривающей или затрагивающей регулирование антропогенных воздействий на столь обширное и динамичное пространство, почти полностью находящееся за пределами национальной юрисдикции.

Справочная литература

Amon, Diva J., and others (2016a). Insights into the abundance and diversity of abyssal megafauna in a polymetallic-nodule region in the eastern Clarion-Clipperton Zone. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 30492.

- Amon, Diva J., and others (2016b). Observations of organic falls in the abyssal Clarion-Clipperton Zone, tropical eastern Pacific Ocean. *Marine Biodiversity*. <https://doi.org/10.1007/s12526-016-0572-4>.
- Amon, Diva J., and others (2017a). Megafauna of the UKSRL exploration contract area and eastern Clarion-Clipperton Zone in the Pacific Ocean: Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Chordata, Ctenophora, Mollusca. Jeffrey C. Drazen and others, eds. *Biodiversity Data Journal*, vol. 5, e14598. <https://doi.org/10.3897/BDJ.5.e14598>.
- Amon, Diva J., and others (2017b). Megafauna of the UKSRL exploration contract area and eastern Clarion-Clipperton Zone in the Pacific Ocean: Echinodermata. *Biodiversity Data Journal*, vol. 5, e11794. <https://doi.org/10.3897/BDJ.5.e11794>.
- Armstrong, Claire W., and others (2012). Services from the deep: Steps towards valuation of deep sea goods and services. *Ecosystem Services*, vol. 2, pp. 2–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.001>.
- Atwood T.B., and others (2020) Global Patterns in Marine Sediment Carbon Stocks. *Frontiers in Marine Science*, vol. 7, art. 165. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00165>.
- Baco, Amy R., and others (2016). A synthesis of genetic connectivity in deep-sea fauna and implications for marine reserve design. *Molecular Ecology*, vol. 25, No. 14, pp. 3276–3298.
- Billett, D.S.M., and others (2001). Long-term change in the megabenthos of the Porcupine Abyssal Plain (NE Atlantic). *Progress in Oceanography*, vol. 50, Nos. 1–4, pp. 325–348.
- Billett, D.S.M., and others (2010). Long-term change in the abyssal NE Atlantic: The ‘Amperima Event’ revisited. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 57, No. 15, pp. 1406–1417.
- Bodil, Bluhm A., and others (2011). Diversity of the arctic deep-sea benthos. *Marine Biodiversity*, vol. 41, No. 1, pp. 87–107. <https://doi.org/10.1007/s12526-010-0078-4>.
- Bouef, Dominique, and others (2019). Biological composition and microbial dynamics of sinking particulate organic matter at abyssal depths in the oligotrophic open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, No. 24, pp. 11824–11832.
- Brandt, Angelika, and others (2006). The biodiversity of the deep Southern Ocean benthos. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 362, No. 1477, pp. 39–66.
- Briones, Elva Escobar, and others (2009). Global open oceans and deep seabed (GOODS) biogeographic classification. IOC Technical Series No. 84, UNESCO-IOC.
- Canals, Miquel, and others (2006). Flushing submarine canyons. *Nature*, vol. 444, No. 7117, p. 354.
- Carney, Robert S. (1994). Consideration of the oasis analogy for chemosynthetic communities at Gulf of Mexico hydrocarbon vents. *Geo-Marine Letters*, vol. 14, Nos. 2–3, pp. 149–159.
- _____ (2005). Zonation of deep biota on continental margins. In *Oceanography and Marine Biology*, pp. 221–288. CRC Press.
- Cavan, E.L., and others (2015). Attenuation of particulate organic carbon flux in the Scotia Sea, Southern Ocean, is controlled by zooplankton fecal pellets. *Geophysical Research Letters*, vol. 42, No. 3, pp. 821–830.
- Chapman, Abbie S.A., and others (2019). sFDvent: A global trait database for deep-sea hydrothermal-vent fauna. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 28, No. 11, pp. 1538–1551. <https://doi.org/10.1111/geb.12975>.
- Cheung, William, and Lisa Levin (2019). Ecosystem considerations. In *Deep-Ocean Climate Change Impacts on Habitat, Fish and Fisheries*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 638. Rome.
- Chiba, S., and others (2018). Human footprint in the abyss: 30 year records of deep-sea plastic debris. *Marine Policy*, vol. 96, pp. 204–212.
- Christiansen, B., and others (2020). Potential effects of deep seabed mining on pelagic and benthopelagic biota. *Marine Policy*, vol. 114, 103442.

- Christodoulou, Magdalini, and others (2019). Dark Ophiuroid Biodiversity in a Prospective Abyssal Mine Field. *Current Biology*, vol. 29, No. 22, pp. 3909–3912.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.09.012>.
- Company, Joan B., and others (2008). Climate influence on deep sea populations. *PLoS One*, vol. 3, No. 1, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001431>.
- Cronin, Thomas M., and Maureen E. Raymo (1997). Orbital forcing of deep-sea benthic species diversity. *Nature*, vol. 385, No. 6617, p. 624.
- Cronin, Thomas M., and others (1999). Deep-sea ostracode species diversity: response to late Quaternary climate change. *Marine Micropaleontology*, vol. 37, Nos. 3–4, pp. 231–249.
- Dahlgren, Thomas G., and others (2016). Abyssal fauna of the UK-1 polymetallic nodule exploration area, Clarion-Clipperton Zone, central Pacific Ocean: Cnidaria. *Biodiversity Data Journal*, No. 4.
- Davies, David K., and W. Richard Moore (1970). Dispersal of Mississippi sediment in the Gulf of Mexico. *Journal of Sedimentary Research*, vol. 40, No. 1.
- Durden, Jennifer M., and others (2015). Abyssal hills – hidden source of increased habitat heterogeneity, benthic megafaunal biomass and diversity in the deep sea. *Progress in Oceanography*, vol. 137, pp. 209–218.
- Dutkiewicz, Adriana, and others (2015). Census of seafloor sediments in the world’s ocean. *Geology*, vol. 43, No. 9, pp. 795–798.
- Ehlers, Birte-Marie, and Wilfried Jokat (2013). Paleo-bathymetry of the northern North Atlantic and consequences for the opening of the Fram Strait. *Marine Geophysical Research*, vol. 34, No. 1, pp. 25–43.
- Engen, Øyvind, and others (2008). Opening of the Fram Strait gateway: A review of plate tectonic constraints. *Tectonophysics*, vol. 450, Nos. 1–4, pp. 51–69.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2019). *Deep-Ocean Climate Change Impacts on Habitat, Fish and Fisheries*. Fisheries and Aquaculture Technical Paper 638. Rome.
- Frigstad, H., and others (2015). Links between surface productivity and deep ocean particle flux at the Porcupine Abyssal Plain sustained observatory. *Biogeosciences*, vol. 12, No. 19, pp. 5885–5897.
- Gage, John D., and Paul A. Tyler (1991). *Deep-Sea Biology: A Natural History of Organisms at the Deep-Sea Floor*. Cambridge University Press.
- Gebbie, G., and P. Huybers (2019). The Little Ice Age and 20th-century deep Pacific cooling. *Science*, vol. 363, No. 6422, pp. 70–74.
- Glover, Adrian G., and others (2002). Polychaete species diversity in the central Pacific abyss: local and regional patterns, and relationships with productivity. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 240, pp. 157–170.
- Glover, Adrian G., and others (2016a). Abyssal fauna of the UK-1 polymetallic nodule exploration claim, Clarion-Clipperton Zone, central Pacific Ocean: Echinodermata. *Biodiversity Data Journal*, No. 4.
- Glover, Adrian G., and others (2016b). An end-to-end DNA taxonomy methodology for benthic biodiversity survey in the Clarion-Clipperton Zone, central Pacific abyss. *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 4, No. 1, art. 2.
- Glover, Adrian G., and others (2018). Point of View: Managing a sustainable deep-sea ‘blue economy’ requires knowledge of what actually lives there. *ELife*, vol. 7, e41319.
- Gooday, Andrew J., and others (2010). Decadal-scale changes in shallow-infaunal foraminiferal assemblages at the Porcupine Abyssal Plain, NE Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 57, No. 15, pp. 1362–1382.
- Griffiths, Huw J. (2010). Antarctic marine biodiversity – what do we know about the distribution of life in the Southern Ocean? *PloS One*, vol. 5, No. 8, e11683.
- Hartman, S.E., and others (2015). Biogeochemical variations at the Porcupine Abyssal Plain sustained Observatory in the northeast Atlantic Ocean, from weekly to inter-annual timescales. *Biogeosciences*, vol. 12, No. 3, pp. 845–853.

- Harzhauser, Mathias, and others (2007). Biogeographic responses to geodynamics: a key study all around the Oligo–Miocene Tethyan Seaway. *Zoologischer Anzeiger*, vol. 246, No. 4, pp. 241–256.
- Hessler, Robert R., and Peter A. Jumars (1974). Abyssal community analysis from replicate cores in the central North Pacific. In *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, vol. 21, pp. 185–209. Elsevier.
- Hoffmann, Sharon S., and others (2018). Evidence for stable Holocene basin-scale overturning circulation despite variable currents along the deep western boundary of the North Atlantic Ocean. *Geophysical Research Letters*, vol. 45, No. 24, pp. 13,427–13,436.
- Houghton, Isabel A., and John O. Dabiri (2019). Alleviation of hypoxia by biologically generated mixing in a stratified water column. *Limnology and Oceanography*, vol. 64, No. 5, pp. 2161–2171. <https://doi.org/10.1002/lno.11176>.
- Howell, Kerry L., and others (2003). Feeding ecology of deep-sea seastars (Echinodermata: Asteroidea): a fatty-acid biomarker approach. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 255, pp. 193–206.
- Hu, Aixue, and others (2012). The Pacific-Atlantic seesaw and the Bering Strait. *Geophysical Research Letters*, vol. 39, No. 3.
- Hunt, Gene, and others (2005). Species-energy relationship in the deep sea: a test using the Quaternary fossil record. *Ecology Letters*, vol. 8, No. 7, pp. 739–747.
- Ingels, Jeroen, and others (2010). Preferred use of bacteria over phytoplankton by deep-sea nematodes in polar regions. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 406, pp. 121–133.
- Jobstvogt, Niels, and others (2014a). How can we identify and communicate the ecological value of deep-sea ecosystem services? *PloS One*, vol. 9, No. 7, e100646.
- Jobstvogt, Niels, and others (2014b). Twenty thousand sterling under the sea: estimating the value of protecting deep-sea biodiversity. *Ecological Economics*, vol. 97, pp. 10–19.
- Jones, Daniel O.B., and others (2014). Global reductions in seafloor biomass in response to climate change. *Global Change Biology*, vol. 20, No. 6, pp. 1861–1872.
- Kalogeropoulou, V., and others (2010). Temporal changes (1989–1999) in deep-sea metazoan meiofaunal assemblages on the Porcupine Abyssal Plain, NE Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 57, No. 15, pp. 1383–1395.
- Kuhnz, Linda A., and others (2014). Rapid changes and long-term cycles in the benthic megafaunal community observed over 24 years in the abyssal northeast Pacific. *Progress in Oceanography*, vol. 124, pp. 1–11.
- Lampitt, R.S., and A.N. Antia (1997). Particle flux in deep seas: regional characteristics and temporal variability. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 44, No. 8, pp. 1377–1403.
- Lampitt, R.S., and others (2010). The sustained observatory over the Porcupine Abyssal Plain (PAP): Insights from time series observations and process studies (preface). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 57, No. 15, pp. 1267–1271.
- Lawver, Lawrence A., and Lisa M. Gahagan (2003). Evolution of Cenozoic seaways in the circum-Antarctic region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 198, Nos. 1–2, pp. 11–37.
- Levin, Lisa A. (2003). Oxygen minimum zone benthos: Adaptation and community response to hypoxia. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, vol. 41, pp. 1–45.
- Levin, Lisa A., and Andrew J. Gooday (2003). The deep Atlantic Ocean. In *Ecosystems of the World*, pp. 111–178. Elsevier.
- Levin, Lisa A., and Nadine Le Bris (2015). The deep ocean under climate change. *Science*, vol. 350, No. 6262, pp. 766–768.
- Levin, Lisa A., and others (2020). Climate change considerations are fundamental to management of deep-sea resource extraction. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.15223>.

- Livermore, Roy, and others (2007). Drake Passage and Cenozoic climate: An open and shut case? *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 8, No. 1.
- Lutz, Michael J., and others (2007). Seasonal rhythms of net primary production and particulate organic carbon flux to depth describe the efficiency of biological pump in the global ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 112, No. C10.
- Marincovich, Louie, Jr., and Andrey Y. Gladenkov (2001). New evidence for the age of Bering Strait. *Quaternary Science Reviews*, vol. 20, Nos. 1–3, pp. 329–335.
- Marsh, Leigh, and others (2018). Geomorphological evidence of large vertebrates interacting with the seafloor at abyssal depths in a region designated for deep-sea mining. *Royal Society Open Science*, vol. 5, No. 8, 180286.
- McCave, Ian Nicholas (2017). Formation of sediment waves by turbidity currents and geostrophic flows: a discussion. *Marine Geology*, vol. 390, pp. 89–93.
- McClain, Craig R., and others (2011). Dispersal, environmental niches and oceanic-scale turnover in deep-sea bivalves. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 279, No. 1735, pp. 1993–2002.
- McClain, Craig R., and others (2012a). Energetics of life on the deep seafloor. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 109, No. 38, pp. 15366–15371.
- McClain, Craig R., and others (2012b). Increased energy promotes size-based niche availability in marine mollusks. *Evolution: International Journal of Organic Evolution*, vol. 66, No. 7, pp. 2204–2215.
- McClain, Craig R., and Sarah Mincks Hardy (2010). The dynamics of biogeographic ranges in the deep sea. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 277, No. 1700, pp. 3533–3546.
- McClain, Craig R., and Thomas A. Schlacher (2015). On some hypotheses of diversity of animal life at great depths on the sea floor. *Marine Ecology*, vol. 36, No. 4, pp. 849–872.
- Menzies, Robert James, and others (1973). Abyssal environment and ecology of the world oceans.
- Mestre, Mireia, and others (2018). Sinking particles promote vertical connectivity in the ocean microbiome. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 29, pp. E6799–E6807.
- Mora, Camilo, and others (2013). Biotic and human vulnerability to projected changes in ocean biogeochemistry over the 21st century. *PLoS Biology*, vol. 11, No. 10, e1001682.
- O’Dea, Aaron, and others (2016). Formation of the Isthmus of Panama. *Science Advances*, vol. 2, No. 8, e1600883.
- O’Hara, Timothy D., and others (2019). Contrasting processes drive ophiuroid phylodiversity across shallow and deep seafloors. *Nature*, vol. 565, No. 7741, p. 636.
- Palanques, Albert, and others (2011). Effects of storm events on the shelf-to-basin sediment transport in the southwestern end of the Gulf of Lions (Northwestern Mediterranean).
- Pörtner, Hans-O., and Anthony P. Farrell (2008). Physiology and climate change. *Science*, vol. 322, No. 5902, pp. 690–692.
- Pörtner, H-O. (2010). Oxygen- and capacity-limitation of thermal tolerance: a matrix for integrating climate-related stressor effects in marine ecosystems. *Journal of Experimental Biology*, vol. 213, No. 6, pp. 881–893.
- Rex, Michael A., and Ron J. Etter (2010). *Deep-Sea Biodiversity: Pattern and Scale*. Harvard University Press.
- Robison, Bruce H. (2009). Conservation of deep pelagic biodiversity. *Conservation Biology*, vol. 23, No. 4, pp. 847–858.
- Rogers, Alex David (2015). Environmental change in the deep ocean. *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 40, pp. 1–38.
- Ruhl, Henry A., and Kenneth L. Smith (2004). Shifts in deep-sea community structure linked to climate and food supply. *Science*, vol. 305, No. 5683, pp. 513–515.

- Ruhl, Henry A., and others (2014). Links between deep-sea respiration and community dynamics. *Ecology*, vol. 95, No. 6, pp. 1651–1662.
- Ruhl, Henry A., and others (2008). Connections between climate, food limitation, and carbon cycling in abyssal sediment communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 105, No. 44, pp. 17006–17011.
- Sardà, Francisco, and others (2004). An introduction to Mediterranean deep-sea biology. *Scientia Marina*, vol. 68, No. S3, pp. 7–38.
- Scher, Howie D., and Ellen E. Martin (2006). Timing and climatic consequences of the opening of Drake Passage. *Science*, vol. 312, No. 5772, pp. 428–430.
- Schmidt, Daniela N., and others (2007). The closure history of the Central American seaway: evidence from isotopes and fossils to models and molecules. *Deep Time Perspectives on Climate Change Marrying the Signal from Computer Models and Biological Proxies: London, Geological Society of London*, pp. 427–442.
- Schmidt, Daniela N., and others (2016). Morphological response of planktic foraminifers to habitat modifications associated with the emergence of the Isthmus of Panama. *Marine Micropaleontology*, vol. 128, pp. 28–38.
- Shulse, Christine N., and others (2017). Polymetallic nodules, sediments, and deep waters in the equatorial North Pacific exhibit highly diverse and distinct bacterial, archaeal, and microeukaryotic communities. *Microbiology Open*, vol. 6, No. 2, e00428.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2008) = Конвенция о биологическом разнообразии (2008). Конференция сторон Конвенции о биологическом разнообразии, решение IX/20 «Морское и прибрежное биоразнообразие» (UNEP/CBD/COP/DEC/IX/20), приложение I «Научные критерии выявления экологически или биологически значимых морских районов, нуждающихся в охране, в водах открытого океана и глубоководных местах обитания».
- Simon-Lledó, Erik, and others (2019a). Ecology of a polymetallic nodule occurrence gradient: Implications for deep-sea mining. *Limnology and Oceanography*, vol. 64, No. 5, pp. 1883–1894. <https://doi.org/10.1002/lno.11157>.
- Simon-Lledó, Erik, and others (2019b). Megafaunal variation in the abyssal landscape of the Clarion Clipperton Zone. *Progress in Oceanography*, vol. 170, pp. 119–133.
- Smith, Craig R., and others (2008). Abyssal food limitation, ecosystem structure and climate change. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 23, No. 9, pp. 518–528.
- Smith, Craig R., and Amanda W.J. Demopoulos (2003). The deep Pacific ocean floor. In *Ecosystems of the World*, pp. 179–218.
- Smith, Kenneth L., Jr., and others (2009). Climate, carbon cycling, and deep-ocean ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, No. 46, pp. 19211–19218.
- Smith, Kenneth L., Jr., and others (2013). Deep ocean communities impacted by changing climate over 24 y in the abyssal northeast Pacific Ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, No. 49, pp. 19838–19841.
- Snelgrove, Paul V.R., and C.R. Smith (2002). A riot of species in an environmental calm: the paradox of the species-rich deep-sea floor. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, vol. 40, pp. 311–42.
- Soltwedel, Thomas, and others (2005). HAUSGARTEN: multidisciplinary investigations at a deep-sea, long-term observatory in the Arctic Ocean. *Oceanography*, vol. 18, No. 3.
- Soltwedel, Thomas, and others (2016). Natural variability or anthropogenically-induced variation? Insights from 15 years of multidisciplinary observations at the arctic marine LTER site HAUSGARTEN. *Ecological Indicators*, vol. 65, pp. 89–102.

- Somero, G.N. (1992). Biochemical ecology of deep-sea animals. *Experientia*, vol. 48, No. 6, pp. 537–543.
- Soto, Eulogio H., and others (2010). Temporal variability in polychaete assemblages of the abyssal NE Atlantic Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 57, No. 15, pp. 1396–1405.
- Stramma, Lothar, and others (2010). Ocean oxygen minima expansions and their biological impacts. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 57, No. 4, pp. 587–595.
- Suttle, Curtis A. (2005). Viruses in the sea. *Nature*, vol. 437, No. 7057, p. 356.
- Sweetman, Andrew K., and others (2017). Major impacts of climate change on deep-sea benthic ecosystems. *Elementa: Science of the Anthropocene*, vol. 5, art. 4.
- Taboada, Sergi, and others (2018). Implications of population connectivity studies for the design of marine protected areas in the deep sea: an example of a demosponge from the Clarion-Clipperton Zone. *Molecular Ecology*, vol. 27, No. 23, pp. 4657–4679.
- Thomas, Ellen (2007). Cenozoic mass extinctions in the deep sea: what perturbs the largest habitat on Earth? In *Large Ecosystem Perturbations: Causes and Consequences*, Simonetta Monechi, and others, eds. Geological Society of America, vol. 424. [https://doi.org/10.1130/2007.2424\(01\)](https://doi.org/10.1130/2007.2424(01)).
- Thomas, Ellen, and Andrew J. Gooday (1996). Cenozoic deep-sea benthic foraminifers: tracers for changes in oceanic productivity? *Geology*, vol. 24, No. 4, pp. 355–358.
- Thomas, Ellen, and others (2000). Deep-sea environments on a warm earth: latest Paleocene-early Eocene. In *Warm Climates in Earth History*, eds. Brian T. Huber and others, pp. 132–160. Cambridge University Press.
- Thornalley, David J.R., and others (2018). Anomalously weak Labrador Sea convection and Atlantic overturning during the past 150 years. *Nature*, vol. 556, No. 7700, p. 227.
- Thurber, Andrew R., and others (2014). Ecosystem function and services provided by the deep sea. *Biogeosciences*, vol. 11, No. 14, pp. 3941–3963.
- Ulses, C., and others (2008). Impact of storms and dense water cascading on shelf-slope exchanges in the Gulf of Lion (NW Mediterranean). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 113, No. C2. <https://doi.org/10.1029/2006JC003795>.
- United Nations (2017a). Chapter 1: Introduction – Planet, oceans and life. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017b). Chapter 24: Solid waste disposal. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017c). Chapter 36F: Open ocean deep sea. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017d). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van den Hove, Sybille, and Vincent Moreau (2007). *Deep-Sea Biodiversity and Ecosystems: A Scoping Report on Their Socio-Economy, Management and Governanace*. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 184. UNEP/Earthprint.
- Vanreusel, Ann, and others (2016). Threatened by mining, polymetallic nodules are required to preserve abyssal epifauna. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 26808.
- Vinogradova, Nina G. (1979). The geographical distribution of the abyssal and hadal (ultra-abyssal) fauna in relation to the vertical zonation of the ocean. *Sarsia*, vol. 64, Nos. 1–2, pp. 41–50.
- _____ (1997). Zoogeography of the abyssal and hadal zones. In *Advances in Marine Biology*, vol. 32, pp. 325–387. Elsevier.
- Watling, Les, and others (2013). A proposed biogeography of the deep ocean floor. *Progress in Oceanography*, vol. 111, pp. 91–112.

- Webb, Thomas J., and others (2010). Biodiversity's big wet secret: the global distribution of marine biological records reveals chronic under-exploration of the deep pelagic ocean. *PLoS One*, vol. 5, No. 8, e10223.
- Wei, Chih-Lin, and others (2010). Global patterns and predictions of seafloor biomass using random forests. *PloS One*, vol. 5, No. 12, e15323.
- Wiklund, Helena, and others (2017). Abyssal fauna of the UK-1 polymetallic nodule exploration area, Clarion-Clipperton Zone, central Pacific Ocean: Mollusca. *ZooKeys*, vol. 707, pp. 1–46. <https://doi.org/10.3897/zookeys.707.13042>.
- Wiklund, Helena, and others (2019). Abyssal fauna of polymetallic nodule exploration areas, eastern Clarion-Clipperton Zone, central Pacific Ocean: Annelida: Capitellidae, Opheliidae, Scalibregmatidae, and Traviidae. *ZooKeys*, vol. 883, pp. 1–82. <https://doi.org/10.3897/zookeys.883.36193>.
- Wlodarska-Kowalczyk, Maria, and Thomas H. Pearson (2004). Soft-bottom macrobenthic faunal associations and factors affecting species distributions in an Arctic glacial fjord (Kongsfjord, Spitsbergen). *Polar Biology*, vol. 27, No. 3, pp. 155–167.
- Woolley, Skipton N.C., and others (2016). Deep-sea diversity patterns are shaped by energy availability. *Nature*, vol. 533, No. 7603, p. 393.
- Yashayaev, Igor, and others (2007). Spreading of the Labrador Sea Water to the Irminger and Iceland basins. *Geophysical Research Letters*, vol. 34, No. 10.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2017). Combining marine macroecology and palaeoecology in understanding biodiversity: microfossils as a model. *Biological Reviews*, vol. 92, No. 1, pp. 199–215.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2018). Marine biodiversity in space and time: what tiny fossils tell. *Mètode Science Studies Journal - Annual Review*. <https://doi.org/10.7203/metode.9.11404>.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2019a). Quaternary deep-sea ostracods from the north-western Pacific Ocean: global biogeography and Drake-Passage, Tethyan, Central American and Arctic pathways. *Journal of Systematic Palaeontology*, vol. 17, No. 2, pp. 91–110. <https://doi.org/10.1080/14772019.2017.1393019>.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2019b). North Atlantic intermediate water variability over the past 20,000 years. *Geology*, vol. 47, No. 7, pp. 659–663. <https://doi.org/10.1130/G46161.1>.
- Yasuhara, Moriaki, and Thomas M. Cronin (2008). Climatic influences on deep-sea ostracode (Crustacea) diversity for the last three million years. *Ecology*, vol. 89, No. sp11, pp. S53–S65.
- Yasuhara, Moriaki, and Roberto Danovaro (2016). Temperature impacts on deep-sea biodiversity. *Biological Reviews*, vol. 91, No. 2, pp. 275–287.
- Yesson, Chris, and others (2011). The global distribution of seamounts based on 30 arc seconds bathymetry data. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 58, No. 4, pp. 442–453.

Глава 7N

Открытый океан

Участники: Питер Крут (координатор), Майкл Веккьоне, Осман Ке Камара, Джозеф Монтойя и Трейси Т. Саттон.

Ключевые тезисы

- Глобальное потепление уже влияет на открытый океан, а эпизоды морской жары станут в будущем, скорее всего, более частыми и интенсивными.
- Перемены в функционировании «биологической помпы» открытого океана, вызываемые изменением климата, будут сказываться на способности океана поглощать антропогенный углерод.
- Дезоксигенация открытого океана уже приводит к сжатию среды обитания для некоторых пелагических видов, что оборачивается последствиями для их вертикального и горизонтального распространения в океане.
- На экосистемы открытого океана влияет усиливающееся привнесение пластикового мусора с суши.
- Существует серьезный пробел в знаниях о глубоководных пелагических (например, мезо- и батипелагических) средах: они слабо охвачены пробоотбором и плохо изучены.

1. Введение

1.1. Тематический охват

Глава 36F первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017a) включала анализ экосистем как открытого океана (пелагическая зона), так и глубоководных экосистем (бентическая зона), расположенных мористее континентального шельфа (глубина 200 м). В настоящей, обновленной «Оценке» бентические экосистемы рассматриваются отдельно, а настоящая глава посвящена исключительно пелагиали по всей протяженности водной толщи.

В первой «Оценке» (United Nations, 2017b) сообщалось, что открытый океан, несмотря на его относительную недоступность, предоставляет существенный набор морских экосистемных товаров и услуг. Там же отмечалось наличие большого потенциала для получения минеральных, энергетических и живых ресурсов из пелагических районов, хотя они плохо изучены как в пространственном, так и временном отношении, причем малоизученность их биоразнообразия и экосистемной функции осложняет решение природоохранных вопросов.

1.2. Пелагиаль

Главными физическими факторами, определяющими структуру пелагических экосистем, являются глубина, а также давление, свет, температура, поступление питательных веществ (например, азота и железа), растворенный кис-

лород и течения. Поверхностную зону открытого океана (эпипелагиаль, до глубины 200 м) характеризует достаточное проникновение солнечного света для поддержания первичной продукции. Ниже этой зоны находится мезопелагиаль, или «сумеречная» зона, обычно простирающаяся от нижнего горизонта эпипелагиали до отметки примерно 1000 м — максимальной глубины проникновения солнечного света и нижнего уровня постоянного термоклина. Мезопелагическая зона важна для активной вертикальной миграции и микробной деградации органического вещества, опускающегося с поверхности, — двух ключевых элементов «биологической помпы» (Robinson and others, 2010). Ежедневную вертикальную миграцию глубоководных организмов из мезопелагиали в эпипелагиаль и обратно всё чаще признают (на основании возросших оценочных значений биомассы мезопелагического нектона) в качестве фактора, влияющего на углеродный поток (Irigoien and others, 2014).

Крупнейшая экосистема планеты состоит из батипелагиали — темной и холодной (0–5 °C) зоны между глубинными отметками 1000 и 4000 м, занимающей почти 75 процентов океанского объема (Costello and others, 2010). Глубоководная часть океанской пелагиали недоохвачена наблюдениями и пробоотбором, что вызвано сочетанием следующих факторов: а) ограниченность доступа к пробоотборочным платформам в открытом океане для получения глубинных

проб; b) большие размеры океанских акваторий, о которых идет речь; c) сильная рассредоточенность популяций. Если ситуация с данными о мезопелагических экосистемах улучшается, то об организмах из более глубоких зон, включая батипелагиаль, абиссопелагиаль (4000–6000 м) и ультраабиссаль (>6000 м), до сих пор известно очень мало. Судя по первоначальным результатам, общее разнообразие видов может оказаться меньше, чем в других экосистемах, хотя новые микробиологические исследования обнаруживают большое разнообразие в океанском глубоководье. Выполненные съемки показывают также, что латеральная соединенность встречается не только в мезопелагическом и поверхностном слоях, но и между глубинными зонами открытого океана (Sutton, 2013).

Ракообразные (веслоногие, бокоплавы, ракушковые) вносят важный вклад в численность и видовое богатство зоопланктона в океанском глубоководье. Важную роль играют и такие студенистые животные, как сальпы, медузы и колонизальные сифонофоры. К числу более крупных из присутствующих организмов относятся многие виды рыб, акул, ракообразных (креветки, криль) и головоногих моллюсков (кальмары). Анализ биомассы, основанный на акустических измерениях, указывает на вероятность серьезной недооценки мезопелагических рыб в прошлом. Их биомасса может составлять примерно 10–15 млрд т, а на продукты их выдыхания может приходиться до 10 процентов первичной продукции (Irigoiien and others, 2014). Судя по всему, подавляющее большинство рыбной биомассы на планете — это биомасса глубоководных пелагических рыб (Sutton, 2013). Такие виды также являются важной добычей для млекопитающих (зубатых китов и тюленей), тунцов, морских птиц и глубоководных демерсальных рыб.

1.3. Нагрузки на пелагиаль

На открытый океан воздействуют многочисленные экологические стрессоры, прежде всего потепление, закисление и дезоксигенация. Эти стрессоры будут, вероятно, способствовать сдвигам в широтном и вертикальном распределении рыбных запасов открытого океана и глубоководья (Brander, 2010). Дезоксигенация может привести к сжатию среды обитания для

аэробных организмов (Stramma and others, 2012), расширяя при этом участки воды, где поддерживаются анаэробные процессы. Изменения в восходящих или нисходящих воздействиях будут, вероятно, косвенно приводить к комплексным последствиям для экосистемных услуг открытого океана, в особенности для биологической углеродной «помпы», однако совокупный эффект не ясен, поскольку о микробиологическом разнообразии, функциях и процессах в океанском глубоководье известно очень мало.

1.4. Пробелы в знаниях, выявленные в первой «Оценке состояния Мирового океана»

В первой «Оценке» констатировалась нехватка ключевой информации о пелагических экосистемах: имевшиеся данные охватывали лишь немногие географических районы и лишь малую долю совокупного биоразнообразия. Там же была подчеркнута недостаточность информации об экосистемной структуре и процессах для того, чтобы судить о потенциальной результативности природоохранных и хозяйственных мер, которые были разработаны для шельфовых и прибрежных морских экосистем.

1.5. Научные достижения за период после первой «Оценки состояния Мирового океана»

Океану, в том числе открытому, был недавно посвящен специальный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019). Ключевым достижением стало признание того, что многочисленность стрессоров, порождаемых для открытого океана изменением климата, будет требовать новых инструментов для анализа влияния каждого стрессора на экосистему и синергетических взаимодействий между стрессорами, поскольку реакция может быть весьма нелинейной (Boyd and others, 2015).

Из космических данных, полученных с помощью установленной на спутниках лидарной аппаратуры, выведены показатели суточной вертикальной миграции (Behrenfeld and others, 2019), что позволило по-новому взглянуть на этот биогеохимически важный процесс. Благодаря международной программе GEOTRACES удалось значи-

тельно продвинуться в выяснении глобального распределения микроэлементов и их изотопов во всех океанских бассейнах (Schlitzer and others, 2018). Более широкое применение буев Argo (Roemmich and others, 2019) и океанских планеров (Rudnick, 2016) позволило добиться как пространственного, так и временного расширения представлений о физике и биогеохимии открытого океана. Наряду с повторными гидрографическими съемками в рамках программы GO-SHIP (Global Ocean Ship-based Hydrographic Investigations Program) (Sloyan and others, 2019) эти данные помогли сделать новые выводы о «биологической помпе», а именно выявить еще один канал ее функционирования, по которому происходит нагнетание частиц (Boyd and others, 2019) и который действует наряду с традиционной, гравитационной «биологической помпой».

За последнее десятилетие в исследованиях открытого океана нашли применение стремительно развивающиеся «омиксные» подходы, что

позволило в натуральных условиях и почти в реальном времени секвенировать морское микробное сообщество (Bennke and others, 2016); использовать экологическую ДНК для обнаружения белых акул в открытом океане (Truelove и другие, 2019); пополнить сведения об экологической ДНК с помощью автономных подводных аппаратов для изучения биоразнообразия (Yamahara and others, 2019). Усиливающееся использование электронных меток и датчиков, закрепляемых на теле животных (Harcourt and others, 2019), пассивных акустических датчиков (Delory and others, 2014) и новых инструментов для визуализации морских частиц (Lombard and others, 2019) становится источником новых данных о биоразнообразии и функции экосистем открытого океана. В частности, понимание мезопелагической зоны настолько эволюционировало, что появилась возможность выделить в ней глобальные биогеографические и биогеохимические провинции (Reygondeau and others, 2018).

2. Экологические изменения в открытом океане с 2010 года

2.1. Изменения в общем состоянии, в том числе физическом или биологическом

2.1.1. Потепление океана, морская жара и ветровая динамика

К настоящему времени налицо доказательства того, что в течение последних десятилетий происходило потепление океана (Cheng and others, 2019) и что, хотя большую часть добавочного тепла поглотил поверхностный слой океана, признаки потепления наблюдаются также в его промежуточном и глубинном слоях (Cheng and others, 2017). Делались прогнозы о том, что поверхностное потепление будет приводить к усилению стратификации приповерхностных вод. Вместе с тем недавние работы показывают, что, хотя в средних широтах температуры морской поверхности повышаются, усиления стратификации не происходит, а глубины залегания перемешанного слоя не уменьшаются (Somavilla and others, 2017). Более того, из-за изменений в экмановской накачке эти глубины зимой увеличиваются (Somavilla and others, 2017).

Поскольку в последние годы глобальные температуры повысились, эпизоды морской жары (Hobday and others, 2016) стали более частыми и продолжительными (Oliver and others, 2018). Моделирующие исследования указывают на большую вероятность того, что в условиях глобального потепления морская жара в будущем усилится (Frölicher and others, 2018). В тропических водах Тихого и Индийского океанов эпизоды такой жары вызываются «Эль-Ниньо – Южным колебанием» и удаленными, но связанными с ним явлениями (Holbrook and others, 2019), тогда как в более высоких широтах они ассоциируются со сдвигами в теплых океанских течениях, в мезомасштабной вихревой активности и в динамике отношений океана с атмосферой (Rodrigues and others, 2019). В последние годы из-за глобального потепления ослабла термохалинная циркуляция, что оборачивается всё более значительными последствиями для температурных и климатических режимов в разных странах мира, граничащих с Атлантикой и экваториальной зоной, а также для экосистемных услуг (Rahmstorf and others, 2015).

За последние три десятилетия произошло также изменение ветровой динамики над открытым океаном, сопровождающееся небольшим увеличением средних значений скорости ветра и высоты волн. При экстремальных условиях, когда эти значения превышают 90-й процентиль, наблюдалось более значительное увеличение (Young and Ribal, 2019). Судя по спутниковым наблюдениям за период с 1995 по 2018 год, скорость ветра и высота волн сильнее всего увеличились в Южном океане.

2.1.2. Закисление океана

Самые последние подсчеты поглощения антропогенного углерода открытым океаном (1994–2007 годы) показывают, что это поглощение усиливается, но со значительными региональными отклонениями: например, в Северной Атлантике оно происходило медленнее, чем ожидалось, а в Южной – быстрее (Gruber and others, 2019). Изучение временных рядов по открытому океану, составленных благодаря внедрению автономных морских датчиков углерода (например, измеряющих pH и парциальное давление CO_2 ($p\text{CO}_2$) в морской воде), которые на некоторых участках применяются уже почти 20 лет, говорит о четко прослеживаемых тенденциях для pH (снижение) и $p\text{CO}_2$ (возрастание) (Sutton and others, 2019).

2.1.3. Дезоксигенация океана

Ожидается, что в условиях потепления на планете сложный комплекс биогеохимических и физических процессов будет приводить к увеличению потери кислорода из открытого океана (Levin, 2018). Ставшие возможными замеры растворенного кислорода на наномолярных уровнях указывают на вероятность того, что аноксичные (бескислородные) области в открытом океане ранее недооценивались (Tiano and others, 2014). На настоящий момент плохо изучено влияние климатических изменений на дыхание, в частности у микробов (Robinson, 2019), сложные ответные реакции которых могут привести к перераспределению видов бактерий и архей в океане (Veman and Carolan, 2013), пока эти организмы не встроятся в конкретные ниши в разных окислительно-восстановительных зонах (Bertagnolli and Stewart, 2018). Несмотря на толерантность к гипоксии, некоторые представители зоопланктона в открытом океане уже приблизи-

лись к физиологическим пределам своего существования, и продолжающаяся дезоксигенация может привести к непредвиденному изменению экосистемной структуры и функции в мезопелагиали (Wishner and others, 2018).

2.1.4. Антропогенное воздействие: районы, остающиеся нетронутыми, и рост пластикового загрязнения

Человеческая деятельность сильно сказалась на океане (Jones and others, 2018), и большинство районов, достоверно остающихся нетронутыми, располагаются вне исключительных экономических зон, т. е. за пределами национальной юрисдикции. Несмотря на то, что открытый океан находится вдали от наземных источников загрязнения пластиком, количество и распространенность пластикового мусора в нем увеличиваются (Van Sebille and others, 2015). Круговые течения открытого океана действуют как зоны скапливания пластикового загрязнения – так называемые «мусорные пятна» (Lebreton and others, 2018). По прогнозам, в будущем приток микропластикового мусора в открытый океан значительно возрастет (Lebreton and Andrady, 2019).

2.2. Факторы, связанные с изменениями

2.2.1. Потепление океана и изменения в океанской углеродной «помпе»

Согласно ретроспективным моделям, из-за потепления открытого океана продукция морского рыболовства сократилась с 1930 по 2010 год на примерно 4,1 процента (Free and others, 2019). Выдвинуто предположение о том, что потепление океана сказывается на глобальных приполярных рыбных запасах сильнее, чем его закисление (Watson and others, 2018). В целом можно говорить о том, что открытый океан отмечается большей уязвимостью к тепловому стрессу, чем суша (Pinsky and others, 2019), а это способно вызвать более высокую чувствительность к потеплению и ускорение колонизации, приводящее к более быстрому круговороту видов. Потепление уже способствовало тому, что в распространении некоторых видов, в том числе промысловых, таких как тунец (Monllor-Hurtado and others, 2017), происходит сдвиг к полюсам (Pinsky and others, 2020). На распространение некоторых морских птиц изменение температуры океана,

по-видимому, не влияет (Keogan and others, 2018), однако у тонкокловых кайр морская жара в северо-восточной части Тихого океана вызывала чрезвычайно высокую смертность (Piatt and others, 2020). В этой связи следует отметить вероятность того, что эпизоды морской жары будут сильно сказываться на биоразнообразии в открытом океане (Smale and others, 2019).

Сохраняется большая неопределенность в отношении того, будет ли потепление океана влиять на первичную продуктивность (Behrenfeld and others, 2016), хотя моделирование позволяет говорить о ее небольшом сокращении в связи с ростом температур в тропических океанских акваториях (Kwiatkowski and others, 2017). Вместе с тем, поскольку скорость метаболизма в верхних слоях океана сильно зависит от температуры, потепление будет, видимо, влиять на биологическую углеродную «помпу», в частности применительно к микроорганизмам (Cavan and others, 2019), и может оказывать обратное воздействие на климат, так как секвестрация углерода океаном будет в нетто-выражении сокращаться (Boscolo-Galazzo and others, 2018).

Глобальное потепление может также влиять на сроки (фенологию) фитопланктонных цветений в открытом океане (Barton and others, 2016), хотя для фитопланктона основным движущим фактором являются изменения в инсоляции (Boyce and others, 2017), которые могут в итоге ограничить миграцию его видов к полюсам (Sundby and others, 2016). Потепление может приводить к сокращению временного промежутка между пиками фитопланктонной и протозойной продукции (Aberle and others, 2012) и численности зоопланктона, что сказывается на более высоких трофических уровнях (Sundby and others, 2016), а также на биологической углеродной «помпе» и привязанных к ней экосистемных услугах (Barange and others, 2017).

Хотя в открытом океане изменения в pH и карбонатной концентрации будут, скорее всего, проявляться не так резко, как в прибрежных водах (Duarte and others, 2013), эти изменения способны негативно отразиться на биоразнообразии там, куда антропогенный CO₂ поступает в наибольших объемах, например в Северной Атлантике (Gehlen and others, 2014). На другие биогеохимические процессы будет влиять сокра-

щение pH (Gehlen and others, 2011), причем уже есть признаки того, что в открытом океане происходит снижение темпов нитрификации (Veman and others, 2011), способное изменить в будущем микробное сообщество и азотный цикл.

2.2.2. Дезоксигенация и сжатие среды обитания

Дезоксигенация океана приводит как к вертикальному, так и горизонтальному расширению зон кислородного минимума (Levin, 2018), которое чревато сжатием среды обитания некоторых пелагических организмов (Stramma and others, 2012) в силу действия метаболических ограничителей (Deutsch and others, 2015). Сжатие среды обитания способно также привести к повышению уловистости некоторых парусниковых рыб в восточной части Тихого океана, что при отсутствии надлежащих хозяйственных мер может повлечь за собой чрезмерную эксплуатацию их запасов (Pohlot and Ehrhardt, 2017).

2.2.3. Прямые антропогенные воздействия

В результате кумулятивного воздействия человеческой активности на открытый океан, которое меняется как во временном отношении, так и пространственном (Halpern and others, 2015), в открытом океане осталось очень мало нетронутых морских районов (Jones and others, 2018). На состоянии открытого океана напрямую сказываются не только антропогенные выбросы углерода, но и иные виды человеческой деятельности.

Рыбопромысловая активность. Морепродукты стали добываться еще дальше от мест их потребления (Watson and others, 2015), что усиливает глобальную заметность промысловой активности в открытом океане (Kroodsmas and others, 2018). Однако производительность морского промысла ведет в конце концов к уменьшению количества наличествующей рыбы (Chassot and others, 2010), и к настоящему времени в глобальном морском промысловом рыболовстве, похоже, достигнуто плато (см. гл. 15).

Проникновение антропогенных загрязнителей в открытый океан. Промышленная деятельность в открытом океане сказывается на биоразнообразии, сопровождаясь как непрерывным выбросом загрязняющих веществ (Tournadre, 2014),

так и разовыми инцидентами. Разливы нефти наподобие того, который произошел в 2010 году при аварии на Deepwater Horizon в Мексиканском заливе, показали, что последствия таких инцидентов в течение многих лет ощущаются на всех трофических уровнях (McClain and others, 2019). Моделирование позволяет предположить, что воздействие на экосистему может длиться десятилетия (Ainsworth and others, 2018). На состоянии открытого океана могут также сказываться глубоководная добыча полезных ископаемых и удаление добычных отходов в море (Vare and others, 2018). До сих пор слабо выяснен вопрос о том, как сброс в глубоководье отходов от горнообогатительных работ (Ramirez-Llodra and others, 2015) отражается на пелагических (мезопелагических) организмах.

2.3. Воздействие изменений на другие компоненты морской системы и взаимодействие с ними

2.3.1. Изменения в экосистемных услугах

В настоящее время недостает информации об экосистемных услугах мезо- и батипелагических

сообществ (Martinetto and others, 2020; St. John and others, 2016). Насчитывается не так много исследований, которые были бы посвящены степени смыкания между бенталью и пелагиалью в океане (Trueman and others, 2014).

2.3.2. Косвенное воздействие климатических изменений на более высокие трофические уровни

Изменения в циркуляции из-за потепления климата в Северной Атлантике привели к смещению на север веслоного ракообразного *Calanus finmarchicus*, которое является главным источником пищи для бискайского кита, находящегося под угрозой исчезновения. Эти изменения заставили китов поменять свой сезонный режим кормления, чтобы следовать за веслоногими. К сожалению, смещение китов в акватории, где еще не действуют меры по их защите от столкновения с судами или от запутывания в рыболовных снастях, оборачивается тем, что восстановление данного вида застопоривается (Record and others, 2019).

3. Последствия изменений для человеческих сообществ, экономик и благополучия

3.1. Ныне наблюдаемые последствия

Когда заходит речь об оценке последствий экосистемных изменений для людей, открытый океан попадает в особую категорию: в настоящее время в нем нет постоянных человеческих поселений — ни на поверхности, ни под водой. Вместе с тем насчитывается множество прибрежных сообществ, которые зависят от ресурсов, добываемых в открытом океане, и эти сообщества будут затрагиваться воздействием климатических изменений на океанские экосистемы. Уже начинают наблюдаться некоторые последствия, например изменения в видовом распространении из-за смещения таксонов к полюсам (Barton and others, 2016) и сжатие среды обитания из-за дезоксигенации (Stramma and others, 2012).

Недавние исследования позволяют говорить о том, что принятие Парижского соглашения¹ благоприятствует рыболовству (Sumaila and others, 2019) и что совершенствование рыбохозяйственного управления способно компенсировать некоторые последствия климатических изменений для рыболовства (Gaines and others, 2018).

3.2. Последствия для достижения целей в области устойчивого развития²

3.2.1. Сокращение загрязнения морской среды (показатель 14.1.1, уточняющий цели в области устойчивого развития)

Лавина пластиковых материалов, попадающих в океан, требует от государств действий по прекра-

¹ См. FCCC/CP/2015/10/Add.1, решение 1/CP.21, приложение.

² См. резолюции 70/1 и 71/313 Генеральной Ассамблеи, приложение.

щению или сокращению использования пластика там, где это возможно. Недавние инициативы, развернутые под давлением общественности Европейским союзом и другими сторонами с целью сократить использование пластика, расширить рециркуляцию и ограничить в итоге попадание пластиковых отходов в окружающую среду, стоит приветствовать, однако все государства должны действовать энергичнее, чтобы добиться значительного сокращения к 2025 году.

3.2.2. Оценка биогеохимических изменений в океане (показатели 14.2.1 и 14.3.1, уточняющие цели в области устойчивого развития)

Моделирующие работы позволили получить представление о сроках, которые требуются для оценки и выявления в открытом океане тенденций, вызываемых изменением климата (Henson and others, 2016), т. е. для обнаружения формирующегося тренда. Чтобы отличить климатогенные изменения от естественной изменчивости, нужны данные в виде непрерывных временных рядов, охватывающих от 14 (для pH) до 32 (для первичной продуктивности) лет. Опыт составления временных рядов по данным о pH и pCO₂ с объектов в открытом океане подсказывает, что на обнаружение формирующегося тренда уходит от 8 до 15 лет (Sutton and others, 2019). Создание новых и расширение действующих объектов в открытом океане, используемых для составления временных рядов, будут требовать инвестиций как в технологии, так и в кадры (Miloslavich and others, 2019).

3.2.3. Морские заповедники (показатели 14.5.1 и 14.c.1, уточняющие цели в области устойчивого развития)

Всё более крупные участки открытого океана объявляются морскими заповедниками или охраняемыми морскими районами, особенно в Тихом океане (например, охраняемый морской район Рапануи в Чили и национальный морской памятник Папаханаумоуакеа в Соединенных Штатах), и управление этими охраняемыми участками пелагиали будет непростой задачей (Norse, 2005). Притом что каждый из охраняемых морских районов будет вкладом в достижение цели 14 в области устойчивого развития, надлежит добиваться большего прогресса (Lubchenco

and Grorud-Colvert, 2015), так как лишь немногие из действующих районов подобного рода расположены за пределами национальной юрисдикции. Итоги межправительственной конференции по международному юридически обязательному документу на базе Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву о сохранении и устойчивом использовании морского биологического разнообразия в районах за пределами действия национальной юрисдикции станут ключевым шагом в деле закладки правового фундамента для охраняемых морских районов в открытом море (см. также гл. 27).

3.2.4. Рыбный промысел (показатель 14.4.1, уточняющий цели в области устойчивого развития)

Даже притом, что в каждом регионе действует по несколько рамок правового регулирования, достигнуть устойчивого развития рыболовства в открытом океане не так просто (см. упомянутые ранее показатели 14.5.1 и 14.c.1, уточняющие цели в области устойчивого развития; здесь же можно упомянуть и задачу 14.6 (субсидии), скорее всего из-за недостаточности знаний об общей структуре и функции экосистем открытого океана. В частности, потенциальное развитие промысла мезопелагических рыб потребует отработки методов для оценки их запасов и внедрения новых технологий и подходов к моделированию (Hidalgo and Browman, 2019). Изменение климата тоже будет сказываться на экосистемах открытого океана и на связанных с ними рыбных промыслах (Varange and others, 2018). Незаконное, несообщаемое и нерегулируемое рыболовство остается глобальной проблемой и одной из крупнейших угроз для устойчивого ведения рыбного хозяйства.

3.2.5. Исследовательские ресурсы для морских технологий (показатель 14.a.1, уточняющий цели в области устойчивого развития)

Требуется больше ресурсов для морских исследований и технологий и для наращивания как технических, так и кадровых возможностей, позволяющих заниматься сбором, дешифрированием и распространением данных об открытом океане. Это включает развитие сотрудничества в масштабах океанских бассейнов, осуществляе-

мого через Глобальную систему наблюдений за океаном и относящиеся к ней организации. Достижению вышеназванного показателя должны в значительной степени способствовать

мероприятия в рамках Десятилетия Организации Объединенных Наций, посвященного науке об океане в интересах устойчивого развития (2021–2030 годы)³.

4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)

4.1. Северный Ледовитый океан

В Арктике продолжается стремительное потепление, влекущее за собой потерю многолетних морских льдов, которая сказывается на арктических экосистемах открытого океана и накладывается на глобальное потепление и закисление океана. Это может привести к серьезным изменениям в первичной продуктивности, биоразнообразии и экосистемной функции. Кроме того, в результате смещения многих североатлантических видов к полюсу (см. ниже) они всё активнее проникают в Арктику.

4.2. Северная часть Атлантического океана и Балтийское, Северное, Средиземное и Черное моря

Потепление океана вызывает смещение многих видов к полюсу, что чревато изменениями в экосистемной функции. Кроме того, если не удастся значительно сократить источники попадания в открытый океан пластиковых микрочастиц, то региональные моря будут, скорее всего, страдать еще и от загрязнения этими материалами.

4.3. Тропическая часть Северной Атлантики и Карибский бассейн

В предстоящие годы Карибский бассейн будет, видимо, и дальше страдать от цветений *Sargassum* (Putman and others, 2018). Это, скорее всего, негативно отразится на туризме, но может обернуться новыми возможностями для других регионов (Milledge and Harvey, 2016). Крупные цветения *Sargassum* образуют обширную физическую структуру на поверхности, затеняя при этом водный слой под ней. Возможно, это не только влияет на продуктивность фитопланктона, но и приводит к скапливанию рыб в тени под плавающими массами *Sargassum*. Из-за кру-

говой структуры североатлантических течений макро- и микропластиковый мусор сбивается в «мусорное пятно» (Poulain, 2019). Как на мезо, так и на макромасштабных процессах перемешивания может сказаться усиление ураганов.

4.4. Южная часть Атлантического океана

Всё более обычным явлением в Южной Атлантике становятся эпизоды морской жары, что чревато серьезными последствиями для сложившегося климатического режима, а значит, и для распространения и обилия рыбных запасов. Еще один негативный феномен — это учащение южноатлантических тропических штормов, вызываемое изменением климата.

4.5. Индийский океан, Аравийское море и Аденский, Бенгальский и Персидский заливы

По мере того как Индийский океан теплеет в порядке реакции на изменение климата, в будущем вероятно учащение эпизодов морской жары, что приведет к изменениям в экосистемной функции и динамике, которые станут сказываться на том населении этого региона, которое зависит от рыболовства.

4.6. Северная часть Тихого океана

Имеющее круговой характер Северо-Тихоокеанское течение станет, скорее всего, сильнее подверженным микропластиковому загрязнению, потенциальные последствия которого для морских экосистем полностью еще не изучены или не уяснены. Потепление, закисление и дезоксигенация океана тоже могут вызвать изменения в морских экосистемах и продуктивности. Учащение случаев морской жары влияет на экосистемы северо-восточной части Тихого океана,

³ См. резолюцию 72/73 Генеральной Ассамблеи, п. 292.

приводя, в частности, к всплескам численности у пиросом и голоданию у рыбадных птиц (Piatt and others, 2020).

4.7. Южная часть Тихого океана

Вероятно, более частой и сильнее выраженной станет в будущем морская жара. Ожидается, что зона кислородного минимума в тропической юго-восточной части Тихого океана будет расширяться как по горизонтали, так и по вертикали, что скажется на распространении пелагических рыбных запасов. Для тихоокеанских островов, зависящих от океана, изменение климата окажет, скорее всего, ощутимое влияние на жизненный уклад населения, его здоровье и культуру.

5. Перспективы

5.1. Открытый океан в ближайшем будущем

В течение следующих десятилетий открытый океан станет из-за последствий изменения климата более теплым, кислым и дезоксигенированным (IPCC, 2019). Множественность стрессоров, приводящих к изменениям в экосистемной функции и структуре, разница в сроках действия этих стрессоров и их влияние друг на друга будут обуславливать различные временные и пространственные масштабы таких изменений. Временные рамки происходящих воздействий будут регионально дифференцированными, причем из-за размеров океанского глубоководья и медленной циркуляции в нем проявление этих воздействий там займет больше времени.

5.2. Экосистемные последствия продолжающихся изменений в открытом океане

Глобальные изменения влияют на экосистемные услуги в открытом океане («голубая экономика»), однако из-за пересекающихся воздействий множества стрессоров предсказать будущие изменения сложно (Boyd and others, 2018). Ожидается, что сжатие среды обитания из-за расширения зон кислородного минимума и продолжающаяся миграция некоторых ключевых таксонов к полюсам вызовут продолжительные изменения в экосистемах открытого океана. Изменения в

4.8. Южный океан

Южный океан продолжает теплеть, причем на него приходится самая большая доля повышения тепла во всем Мировом океане (IPCC, 2019). Вероятным последствием этого становятся дальнейшее сжатие (к югу) крилевых местообитаний в морских льдах и сдвиг в сторону доминирования сальп, что скажется на организмах, которые занимают более высокое место в трофической цепи (тюлени, киты и пингвины) и кормятся в основном добычей криля. Южный океан продолжит удалять CO₂ из атмосферы, что повлечет за собой снижение pH, могущее вызвать дальнейшее снижение темпов кальцификации.

продуктивности и в функционировании «биологической помпы» отразятся на секвестрации углерода в морском глубоководье.

5.3. Социально-экономические последствия изменений, происходящих в открытом океане

Изменения, происходящие в открытом океане, будут со временем иметь широкомасштабные социально-экономические последствия. Одни проявления этих изменений (например, миграция рыбных видов из-за потепления и дезоксигенации или увеличение количества саргассовых водорослей) будут требовать адаптации, а другие (например, микропластиковое загрязнение или морские выбросы) – митигации со стороны тех, кто осуществляет деятельность в открытом океане. В свою очередь, формирование (ради достижения целей в области устойчивого развития) крупномасштабных морских заповедников и охраняемых районов в открытом океане потребует новых международных соглашений, касающихся их создания и мониторинга. Усилившаяся востребованность глобальных наблюдений за открытым океаном (Levin and others, 2019; Miloslavich and others, 2019) будет требовать увеличения инвестиций как в технический, так и кадровый потенциал для дешифрирования данных и вынесения квалифицированных оценок, содержащих ориентиры для правильной политики и помогающих ее реализовывать.

6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях

До сих пор очень мало известно об экосистемах открытого океана и о воздействии физических побудителей на встречающееся там биоразнообразие. Серьезным недостатком является исключительно слабая исследованность и плохое понимание мезопелагических и более глубоких зон океана, в том числе в таком аспекте, как обмена более глубоких океанских слоев с бо-

лее верхними (главным образом — ежедневная вертикальная миграция организмов). Кроме того, необходимо обеспечивать сбор базовой (например, традиционной таксономической) информации об обитателях таких сред, поскольку «омиксные» данные — всего лишь одна из многих составляющих, из которых складывается представления о биоразнообразии (Voero, 2010).

7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала

Дальнейшее развитие глубоководной системы Argo и родственных ей пробоотборных платформ (подводные видеопрофилографы, устройства для сбора образцов экологической ДНК, биогеохимические датчики и др.), рассчитанных на мезопелагические (Martin and others, 2020) и более глубокие воды, имеет критическую значимость для более полного понимания этих обширных океанских пространств. Недавние мероприятия, например Конференция OceanObs'19, посвященная наблюдению за океаном, помогли выявить

такие пробелы в потенциале, которые ощущаются в масштабах океанского бассейна. В связи с этим следует приложить усилия к настраиванию государств на то, чтобы совместно добиваться адекватного охвата океанографических наблюдений в таких масштабах. Обучение и подготовка следующего поколения исследователей по всем мореведческим дисциплинам являются залогом развития у человечества способности максимально использовать новые технологии для этой цели (Levin and others, 2019).

Справочная литература

- Aberle, Nicole, and others (2012). Warming induces shifts in microzooplankton phenology and reduces time-lags between phytoplankton and protozoan production. *Marine Biology*, vol. 159, No. 11, pp. 2441–2453.
- Ainsworth, Cameron H., and others (2018). Impacts of the Deepwater Horizon oil spill evaluated using an end-to-end ecosystem model. *PLoS One*, vol. 13, No. 1, e0190840.
- Barange, Manuel, and others (2017). The cost of reducing the North Atlantic Ocean biological carbon pump. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 290.
- Barange, Manuel, and others, eds. (2018). Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 627. Rome: FAO.
- Barton, A.D., and others (2016). Anthropogenic climate change drives shift and shuffle in North Atlantic phytoplankton communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, pp. 2964–2969.
- Behrenfeld, Michael J., and others (2016). Revaluating ocean warming impacts on global phytoplankton. *Nature Climate Change*, vol. 6, No. 3, p. 323.
- Behrenfeld, Michael J., and others (2019). Global satellite-observed daily vertical migrations of ocean animals. *Nature*, vol. 576, No. 7786, pp. 257–61. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1796-9>.

- Beman, J. Michael, and others (2011). Global declines in oceanic nitrification rates as a consequence of ocean acidification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 108, No. 1, pp. 208–213.
- Beman, J. Michael, and Molly T. Carolan (2013). Deoxygenation alters bacterial diversity and community composition in the ocean's largest oxygen minimum zone. *Nature Communications*, vol. 4, art. 2705.
- Benneke, Christin M., and others (2016). Modification of a high-throughput automatic microbial cell enumeration system for shipboard analyses. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 82, No. 11, pp. 3289–3296.
- Bertagnolli, Anthony D., and Frank J. Stewart (2018). Microbial niches in marine oxygen minimum zones. *Nature Reviews. Microbiology*, vol. 16, No. 12, pp. 723–729.
- Boero, Ferdinando (2010). The Study of Species in the Era of Biodiversity: A Tale of Stupidity. *Diversity*, vol. 2. <https://doi.org/10.3390/d2010115>.
- Boscolo-Galazzo, Flavia, and others (2018). Temperature dependency of metabolic rates in the upper ocean: A positive feedback to global climate change? *Global and Planetary Change*, vol. 170, pp. 201–212.
- Boyce, Daniel G., and others (2017). Environmental structuring of marine plankton phenology. *Nature Ecology & Evolution*, vol. 1, No. 10, p. 1484.
- Boyd, Philip W., and others (2015). Biological ramifications of climate-change-mediated oceanic multi-stressors. *Nature Climate Change*, vol. 5, No. 1, p. 71.
- Boyd, Philip W., and others (2018). Experimental strategies to assess the biological ramifications of multiple drivers of global ocean change—a review. *Global Change Biology*, vol. 24, No. 6, pp. 2239–2261.
- Boyd, Philip W., and others (2019). Multi-faceted particle pumps drive carbon sequestration in the ocean. *Nature*, vol. 568, No. 7752, pp. 327–335.
- Brander, Keith (2010). Impacts of climate change on fisheries. *Journal of Marine Systems*, vol. 79, Nos. 3–4, pp. 389–402.
- Cavan, Emma Louise, and others (2019). The sensitivity of subsurface microbes to ocean warming accentuates future declines in particulate carbon export. *Frontiers in Ecology and Evolution*, vol. 6, pp. 1–10.
- Chassot, Emmanuel, and others (2010). Global marine primary production constrains fisheries catches. *Ecology Letters*, vol. 13, No. 4, pp. 495–505.
- Cheng, Lijing, and others (2017). Improved estimates of ocean heat content from 1960 to 2015. *Science Advances*, vol. 3, No. 3, e1601545.
- Cheng, Lijing, and others (2019). How fast are the oceans warming? *Science*, vol. 363, No. 6423, pp. 128–129.
- Costello, Mark John, and others (2010). Surface area and the seabed area, volume, depth, slope, and topographic variation for the world's seas, oceans, and countries. *Environmental Science & Technology*, vol. 44, No. 23, pp. 8821–8828.
- Delory, Eric, and others (2014). Developing a new generation of passive acoustics sensors for ocean observing systems. In *2014 IEEE Sensor Systems for a Changing Ocean (SSCO)*, pp. 1–6. IEEE.
- Deutsch, Curtis, and others (2015). Climate change tightens a metabolic constraint on marine habitats. *Science*, vol. 348, No. 6239, pp. 1132–1135.
- Duarte, Carlos M., and others (2013). Is ocean acidification an open-ocean syndrome? Understanding anthropogenic impacts on seawater pH. *Estuaries and Coasts*, vol. 36, No. 2, pp. 221–236.
- Free, Christopher M., and others (2019). Impacts of historical warming on marine fisheries production. *Science*, vol. 363, No. 6430, pp. 979–983.

- Frölicher, Thomas L., and others (2018). Marine heatwaves under global warming. *Nature*, vol. 560, No. 7718, p. 360.
- Gaines, Steven D., and others (2018). Improved fisheries management could offset many negative effects of climate change. *Science Advances*, vol. 4, No. 8, eaao1378.
- Gehlen, Marion, and others (2011). Biogeochemical consequences of ocean acidification and feedbacks to the Earth system. *Ocean Acidification*, vol. 1, pp. 230–248.
- Gehlen, Marion, and others (2014). Projected pH reductions by 2100 might put deep North Atlantic biodiversity at risk.
- Gruber, Nicolas, and others (2019). The oceanic sink for anthropogenic CO₂ from 1994 to 2007. *Science*, vol. 363, No. 6432, pp. 1193–1199.
- Halpern, Benjamin S., and others (2015). Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nature Communications*, vol. 6, art. 7615.
- Harcourt, Rob, and others (2019). Animal-borne telemetry: an integral component of the ocean observing toolkit. *Frontiers in Marine Science*.
- Henson, Stephanie A., and others (2016). Observing climate change trends in ocean biogeochemistry: when and where. *Global Change Biology*, vol. 22, No. 4, pp. 1561–1571.
- Hidalgo, Manuel, and Howard I. Browman (2019). *Developing the Knowledge Base Needed to Sustainably Manage Mesopelagic Resources*. Oxford University Press.
- Hobday, Alistair J., and others (2016). A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Progress in Oceanography*, vol. 141, pp. 227–238.
- Holbrook, Neil J., and others (2019). A global assessment of marine heatwaves and their drivers. *Nature Communications*, vol. 10, No. 1, art. 2624.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2019). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, H-O. Pörtner and others, eds.
- Irigoien, Xabier, and others (2014). Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean. *Nature Communications*, vol. 5, art. 3271.
- Jones, Kendall R., and others (2018). The location and protection status of Earth's diminishing marine wilderness. *Current Biology*, vol. 28, No.15, pp. 2506–2512.
- Keogan, Katharine and others (2018). Global phenological insensitivity to shifting ocean temperatures among seabirds. *Nature Climate Change*, vol. 8, No. 4, pp. 313–18. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0115-z>.
- Kroodsmas, David A., and others (2018). Tracking the global footprint of fisheries. *Science*, vol. 359, No. 6378, pp. 904–908.
- Kwiatkowski, Lester, and others (2017). Emergent constraints on projections of declining primary production in the tropical oceans. *Nature Climate Change*, vol. 7, No. 5, p. 355.
- Lebreton, Laurent, and others (2018). Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 4666.
- Lebreton, Laurent, and Anthony Andrady (2019). Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Communications*, vol. 5, No. 1, art. 6.
- Levin, Lisa A. (2018). Manifestation, drivers, and emergence of open ocean deoxygenation. *Annual Review of Marine Science*, vol. 10, pp. 229–260.
- Levin, Lisa A., and others (2019). Global observing needs in the deep ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 241.
- Lombard, Fabien, and others (2019). Globally consistent quantitative observations of planktonic ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 196.

- Lubchenco, Jane, and Kirsten Grorud-Colvert (2015). Making waves: the science and politics of ocean protection. *Science*, vol. 350, No. 6259, pp. 382–383.
- Martin, Adrian, and others (2020). The oceans' twilight zone must be studied now, before it is too late. *Nature*, vol. 580, pp. 26–28.
- Martinetto, Paulina, and others (2020). Linking the scientific knowledge on marine frontal systems with ecosystem services. *Ambio*, vol. 49, No. 2, pp. 541–556. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01222-w>.
- McClain, Craig R., and others (2019). Persistent and substantial impacts of the Deepwater Horizon oil spill on deep-sea megafauna. *Royal Society Open Science*, vol. 6, No. 8, 191164.
- Milledge, John J., and Patricia J. Harvey (2016). Golden tides: problem or golden opportunity? The valorisation of *Sargassum* from beach inundations. *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 4, No. 3, art. 60.
- Miloslavich, Patricia, and others (2019). Challenges for global ocean observation: the need for increased human capacity. *Journal of Operational Oceanography*, vol. 12, No. sup2, pp. S137–S156.
- Monllor-Hurtado, Alberto, and others (2017). Shift in tuna catches due to ocean warming. *PLoS One*, vol. 12, No. 6, e0178196.
- Norse, Elliott (2005). Pelagic protected areas: the greatest parks challenge of the 21st century. *Parks*, vol. 15, pp. 32–39.
- Oliver, Eric C.J., and others (2018). Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. *Nature Communications*, vol. 9, No. 1, art. 1324.
- Piatt, John F., and others (2020). Extreme mortality and reproductive failure of common murrelets resulting from the northeast Pacific marine heatwave of 2014–2016. *PLoS One*, vol. 15, No. 1, pp. 1–32. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226087>.
- Pinsky, Malin L., and others (2019). Greater vulnerability to warming of marine versus terrestrial ectotherms. *Nature*, vol. 569, No. 7754, p. 108.
- Pinsky, Malin L., and others (2020). Climate-driven shifts in marine species ranges: scaling from organisms to communities. *Annual Review of Marine Science*, vol. 12, No. 1, pp. 153–79. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010419-010916>.
- Pohlot, Bruce G., and Nelson Ehrhardt (2017). An analysis of sailfin mackerel daily activity in the Eastern Pacific Ocean using satellite tagging and recreational fisheries data. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 75, No. 2, pp. 871–879.
- Poulain, Marie, and others (2019). Small microplastics as a main contributor to plastic mass balance in the North Atlantic subtropical gyre. *Environmental Science & Technology*, vol. 53, pp. 1157–1164.
- Putman, Nathan F., and others (2018). Simulating transport pathways of pelagic *Sargassum* from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea. *Progress in Oceanography*, vol. 165, pp. 205–214.
- Rahmstorf, S., and others (2015). Exceptional twentieth-century slowdown in Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature Climate Change*, vol. 5, No. 5, pp. 475–480.
- Ramirez-Llodra, Eva, and others (2015). Submarine and deep-sea mine tailing placements: a review of current practices, environmental issues, natural analogs and knowledge gaps in Norway and internationally. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 97, Nos. 1–2, pp. 13–35.
- Record, Nicholas, and others (2019). Rapid climate-driven circulation changes threaten conservation of endangered North Atlantic right whales. *Oceanography*, vol. 32, No. 2.
- Reygondeau, Gabriel, and others (2018). Global biogeochemical provinces of the mesopelagic zone. *Journal of Biogeography*, vol. 45, No. 2, pp. 500–514.
- Robinson, Carol (2019). Microbial respiration, the engine of ocean deoxygenation. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 533.

- Robinson, Carol, and others (2010). Mesopelagic zone ecology and biogeochemistry – a synthesis. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 57, No. 16, pp. 1504–1518.
- Rodrigues, Regina, and others (2019). Common cause for severe droughts in South America and marine heatwaves in the South Atlantic. *Nature Geoscience*, vol. 12. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0393-8>.
- Roemmich, Dean, and others (2019). On the future of Argo: a global, full-depth, multi-disciplinary array. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6.
- Rudnick, Daniel L. (2016). Ocean research enabled by underwater gliders. *Annual Review of Marine Science*, vol. 8, pp. 519–541.
- Schlitzer, Reiner and others (2018). The GEOTRACES Intermediate Data Product 2017. *Chemical Geology*, vol. 493, pp. 210–223. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.05.040>.
- Sloyan, B.M., and others (2019). The Global Ocean Ship-Based Hydrographic Investigations Program (GO-SHIP): a platform for integrated multidisciplinary ocean science. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 445. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00445>.
- Smale, Dan A., and others (2019). Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change*, vol. 9, No. 4, p. 306.
- Somavilla, R., and others (2017). The warmer the ocean surface, the shallower the mixed layer. How much of this is true? *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 122, No. 9, pp. 7698–7716.
- St. John, Michael A., and others (2016). A dark hole in our understanding of marine ecosystems and their services: perspectives from the mesopelagic community. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 31.
- Stramma, Lothar, and others (2012). Expansion of oxygen minimum zones may reduce available habitat for tropical pelagic fishes. *Nature Climate Change*, vol. 2, No. 1, p. 33.
- Sumaila, U. Rashid, and others (2019). Benefits of the Paris Agreement to ocean life, economies, and people. *Science Advances*, vol. 5, No. 2, eaau3855.
- Sundby, Svein, and others (2016). The North Atlantic spring-bloom system – where the changing climate meets the winter dark. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 28.
- Sutton, Adrienne J., and others (2019). Autonomous seawater pCO₂ and pH time series from 40 surface buoys and the emergence of anthropogenic trends. *Earth System Science Data*, p. 421.
- Sutton, T.T. (2013). Vertical ecology of the pelagic ocean: classical patterns and new perspectives. *Journal of Fish Biology*, vol. 83, No. 6, pp. 1508–1527.
- Tiano, Laura, and others (2014). Oxygen distribution and aerobic respiration in the north and south eastern tropical Pacific oxygen minimum zones. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 94, pp. 173–183.
- Tournadre, Jean (2014). Anthropogenic pressure on the open ocean: The growth of ship traffic revealed by altimeter data analysis. *Geophysical Research Letters*, vol. 41, No. 22, pp. 7924–7932.
- Truelove, Nathan K., and others (2019). A rapid environmental DNA method for detecting white sharks in the open ocean. *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 10, No. 8, pp. 1128–1135. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13201>.
- Trueman, Clive N., and others (2014). Trophic interactions of fish communities at midwater depths enhance long-term carbon storage and benthic production on continental slopes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 281.
- United Nations (2017a). Chapter 36F: Open ocean deep sea. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.

- _____ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van Sebille, Erik, and others (2015). A global inventory of small floating plastic debris. *Environmental Research Letters*, vol. 10, No. 12, 124006.
- Vare, Lindsay L., and others (2018). Scientific considerations for the assessment and management of mine tailings disposal in the deep sea. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 17.
- Watson, Reg A., and others (2015). Marine foods sourced from farther as their use of global ocean primary production increases. *Nature Communications*, vol. 6, art. 7365.
- Watson, Sue-Ann, and others (2018). Ocean warming has a greater effect than acidification on the early life history development and swimming performance of a large circumglobal pelagic fish. *Global Change Biology*, vol. 24, No. 9, pp. 4368–4385.
- Wishner, Karen F., and others (2018). Ocean deoxygenation and zooplankton: very small oxygen differences matter. *Science Advances*, vol. 4, No. 12, eaau5180.
- Yamahara, Kevan M., and others (2019). In situ autonomous acquisition and preservation of marine environmental DNA Using an autonomous underwater vehicle. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 373. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00373>.
- Young, Ian R., and Agustinus Ribal (2019). Multiplatform evaluation of global trends in wind speed and wave height. *Science*, vol. 364, No. 6440, pp. 548–552.

Глава 70

Хребты, плато и желоба

Участники: Ана Коласу (координатор), Ангелика Брандт, Хироми Ватанабэ, Майкл Веккьоне, Ана Иларью, Нуну Лоренсу, Бхавани Э. Нараянасвами, Имантс Джордж Приеде и Джошуа Т. Тухумвире (ведущий участник, ответственный за подглаву).

Ключевые тезисы

- В самых последних исследованиях, посвященных биологии хребтов, разбирается вопрос о хемосинтетических средах (см. гл. 7Р).
- Модели изменения климата показывают, что батинальные среды пострадают от снижения рН, которое будет влиять на бентические сообщества.
- Хребты, поднятия, плато и банки испытывают антропогенную нагрузку в виде ведущейся и потенциальной эксплуатации ресурсов. Рас-тут доказательства загрязнения в желобах.
- Уязвимость этих экосистем к антропогенным нагрузкам вызвала как повышение общественного внимания к данной проблеме, так и появление новых правил.

1. Введение и резюме первой «Оценки состояния Мирового океана»

Глава 51 первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017a) была посвящена компонентам глубоководья, которые были сочтены потенциально угрожаемыми из-за их антропогенного возмущения. Эти компоненты включали подводные горы, хребты и плато, подводные каньоны и ультраабиссальные желоба, и все они характеризуются сложностью рельефа и гидрографического режима. Фигурирующие в этом перечне подводные горы и каньоны рассматриваются в настоящей «Оценке» отдельно (гл. 7L и, соответственно, 7J). Так же, как и в первой «Оценке» (United Nations, 2017b), отдельно разбираются гидротермальные источники, равно как и другие хемосинтетические экосистемы (гл. 7Р). В главе 51 каждому из рассматривавшихся там компонентов было дано подробное описание, включая особенности геологии и физической океанографии, масштабность (количественная встречаемость каждого из компонентов и его доля в общей площади океана) и экологические характеристики, как то биоразнообразие и биогеография. Там же описывались антропогенные воздействия на эти компоненты, причем особое внимание было уделено последствиям рыболовства (включая изъятие видов и биомассы, а также физическое влияние промысловой деятельности на структурообразующие бентические сообщества), изменению климата (включая закисление и дезоксигенацию, а также повышение температур), загрязнению, сбросу отходов и добыче полезных ископаемых. Настоящая глава развивает этот исходный материал, фокусируясь на изменениях и новых знаниях, относящихся к

хребтам, плато и ультраабиссальным желобам, за период с 2010 года.

1.1. Хребты

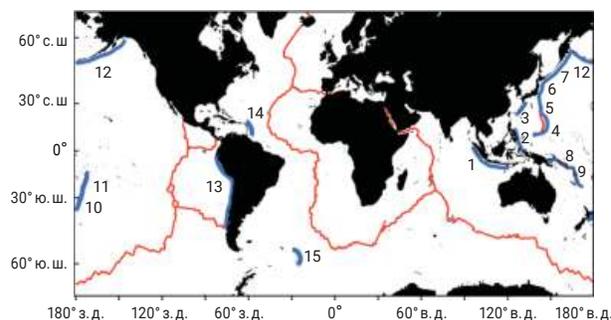
Основные океанические бассейны изрезаны срединно-океаническими хребтами (рисунок I), однако глубоководные и абиссальные организмы (см. гл. 7М) имеют возможность перемещаться между бассейновыми участками, расположенными по разные стороны хребтов, благодаря встречающимся через определенные интервалы разломам. В главе 7Р разбираются активные гидротермальные источники, которые часто приурочены к срединно-океаническим срединговым хребтам (Beaulieu and others, 2013), а в главе 7L — связанные с хребтами подводные горы. В биогеографическом отношении фауна хребтов выглядит обычно родственной фауне прилегающих котловин или континентальных склонов (Alt and others, 2019; Watling and others, 2013). На хребтах могут обитать структурообразующие бентические беспозвоночные, например холодноводные кораллы (гл. 7Е) и губки, некоторые из которых считаются видами, указывающими на наличие уязвимых морских экосистем в том виде, в каком они определяются Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО) (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009). Островные склоны и вершины подводных гор (гл. 7L), приуроченных к океанским хребтам, — важные районы рыбопромысловой деятельности. Большинство хребтов находятся за пределами исключительных экономических зон (Harris and Whiteway, 2009).

1.2. Ультраабиссальные желоба

Ультраабиссальная среда является относительно неизведанной из-за сложности доступа к экстремальным глубинам. Вместе с тем все желоба (в силу их расположения на субдукционных краях тектонических плит) находятся рядом с континентальными массивами или островами и полностью или частично попадают в пределы исключительных экономических зон. Например, Марианский желоб, соседствующий с территорией, на которую претендуют Соединенные Штаты, располагается почти целиком в исключительной экономической зоне этого государства, а желоб Кермадек-Тонга пролегает через исключительные экономические зоны Новой Зеландии и Тонги (Flanders Marine Institute, 2018). Таким образом, даже если окажется, что все желоба находятся в пределах национальной юрисдикции, некоторые из них будут относиться сразу к нескольким государствам, а разные государства сильно различаются по своей технической способности отслеживать и преодолевать угрозы для ультраабиссальной среды. На ультраабиссаль (глубины более 6000 м) приходится 45 процентов Мирового океана по его вертикальной протяженности, но всего лишь 0,404 процента по его площади. Эта зона насчитывает 95 самостоятельных котловин или желобов с максимальной глубиной 7000 м и более, а доминирующее положение занимают 15 признанных желобов (Priedit, 2017; рисунок I). Для биологических целей Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО) понизила верхнюю границу ультраабиссали до отметки 6500 м, чтобы отразить рубеж, отделяющий широко встречающуюся абиссальную фауну от специализированной ультраабиссальной фауны (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2009). Если не считать более высокого давления, условия в ультраабиссальных желобах типичны для большей части морского глубоководья: медленные (1–8 см в секунду) течения с температурой воды примерно 2 °С, переносящие достаточно кислорода (3,43 мл/л), чтобы поддерживать аэробную жизнь, и медленный «дождь» из органических частиц с поверхности, снабжающий пищей (Jamieson and others, 2010).

Рисунок I

Карта мира с указанием ультраабиссальных желобов и системы срединно-океанических хребтов



Источник: Bird, 2003 (адаптировано).

Примечания. Синим цветом изображены ультраабиссальные желоба (глубины более 6000 м под уровнем моря): 1 – Зондский; 2 – Филиппинский; 3 – Рюкю; 4 – Марианский; 5 – Идзу-Бонинский; 6 – Японский; 7 – Курило-Камчатский; 8 – Новобританский; 9 – Южно-Соломонов; 10 – Кермадек; 11 – Тонга; 12 – Алеутский; 13 – от Экваторского до Чилийского; 14 – Пуэрто-Рико; 15 – Южно-Сандвичев. Красным цветом изображена система хребтов Мирового океана.

1.3. Плато, поднятия и банки

Плато, поднятия и банки — это крупные и относительно плоские формы рельефа, идентифицируемые как континентальные фрагменты или микроконтиненты и зачастую отделенные от основных континентов глубоководными каналами. В настоящее время нанесено на карту 184 плато (Harris and others, 2014), покрывающих примерно 5 процентов Мирового океана. Хотя плато встречаются во всех океанских акваториях, наиболее распространены они в Индийском океане (например, плато Кергелен и Маскаренское) и в южной части Тихого океана (плато Челленджер и Кэмпбелл), что отражает их признанное недавнее происхождение от тектонического распада суперконтинента Гондвана (Mortimer and others, 2017). По своему разнообразию и составу их фауна может сильно напоминать фауну близлежащих континентальных шельфов, склонов и банок (Narayanaswamy and others, 2013). Вместе с тем на состав и разнообразие сообществ могут оказывать большое влияние такие факторы, как рельефные и океанографические особенности и доступность пищи (Compton and others, 2013; Knox and others, 2012). Исследуя сообщества бо-

коплавов вокруг Новой Зеландии, Комптон и др. (Compton and others, 2013), заметили их бóльшую численность и разнообразие на более сложном поднятии Чатем, чем на западной оконечности плато Челленджер, где снабжение пищей сравнительно хуже. С другой стороны, Ледюк и др. (Leduc and others, 2012) отметили наличие пищи как фактор, серьезно влияющий на состав нематодных сообществ.

Склоны плато, поднятий и банок становятся объектом глубоководного рыбного промысла (например, Johnson and others, 2019). Угрозу для этих сред создают и формирующиеся виды деятельности, например организация там добычи полезных ископаемых (например, Leduc and others, 2015).

2. Описание экологических изменений с 2010 по 2020 год

2.1. Новые знания, приобретенные с 2010 года, и способы их использования для оценки изменений

Замечены изменения, вызываемые антропогенными нагрузками, и в порядке реакции на них применяются определенные меры по защите хребтов, желобов и плато как донных местообитаний¹ (см. таблицу ниже). В 2010 году завершилась программа «Перепись морской жизни», позволившая колоссально обогатить имеющиеся знания, причем публикации по ее результатам продолжались еще долгое время и в нынешнем десятилетии. Многие из этих публикаций (2010–2014 годы) были изучены для первой «Оценки». Ниже резюмируются другие достижения.

2.1.1. Хребты: биоразнообразие и экосистемная функция

За последнее десятилетие зафиксирован существенный прогресс в изучении хребтов. Присутствие срединно-океанических хребтов усиливает экологическую неоднородность и влияет на биологические сообщества (Alt and others, 2019). Было проведено первое детальное исследование мегафауновых скоплений на хребтах Индийского океана (Sautya and others, 2017), которое показало, что численность популяций больше в верхней батииали и меньше в более глубоких зонах — по стенам и на дне рифтовых долин. Недавнее картирование морского дна в южной части Индийского океана позволило получить более подробное изображение крупномасштабных объектов и выявило неизвестные ранее неоднородность и сложность донной морфологии,

которые, скорее всего, найдут отражение в биоразнообразии бентических сообществ (Picard and others, 2018).

Продолжение картирования, в частности в рамках глобальных инициатив (таких, как проект ГЕБКО и Фонда «Ниппон» под названием «Морское дно — 2030»), позволит обнаружить и дальнейшие проявления сложности глубоководных районов морского дна.

Значительные участки системы срединно-океанических хребтов соответствуют критериям ФАО для определения уязвимых морских экосистем (Morato and others, 2018). Существуют и другие участки, которые считаются приоритетными местообитаниями, нуждающимися в защите по линии региональных конвенций, например Конвенции о защите морской среды Северо-Восточной Атлантики². Недавние исследования хребтов показали значимость видов, служащих индикатором уязвимости морской экосистемы. Сообщества как холодноводных кораллов, так и губок важны для глобальных биогеохимических циклов и для действующей в океане зоны смыкания между бенталью и пелагиалью, где происходит почти 30 процентов переноса органики, производимой на океанской поверхности и на морском дне (Cathalot and others, 2015).

Вдоль северной части Срединно-Атлантического хребта присутствуют разнообразные бентические сообщества, образующие сложную трехмерную структурную среду обитания, которая служит рефугиумом, предоставляет пищу и предлагает места нереста и нагула для широкого на-

¹ См. www.mpatlas.org/map/high-seas/.

² United Nations, *Treaty Series*, vol. 2354, No. 42279.

бора ассоциированных сидячих и подвижных видов, включая коммерчески важные виды рыб, моллюсков и ракообразных (Beazley and others, 2013; Pham and others, 2015; Gomes-Pereira and others, 2017). Обнаружено, например, что глубоководные акулы откладывают яйца среди холодноводных кораллов (Henry and others, 2013). Кроме того, присутствие на Срединно-Атлантическом хребте крупных колоний черных кораллов, отличающихся долгожительством (несколько тысячелетий), свидетельствует о хорошей сохранности среды.

Крупные разломные зоны не только допускают общение водных масс между бассейнами, разделенными Срединно-Атлантическим хребтом, но и могут служить каналом для расселения личинок. Обнаружено, что вдоль разломной зоны Вима численность макрофауны в целом выше на восточной стороне, чем на западной (Brandt and others, 2018). Из-за интереса к обнаружению (на предмет добычи) полиметаллических сульфидов и кобальтоносных марганцевых корок, богатых ценными металлами, за последние 10 лет получено много новых знаний о хребтах. Однако большая часть полученных данных относится к гидротермальным источникам, по причине чего в настоящей подглаве они не рассматриваются (см. гл. 7Р). Еще одним крупным источником новой информации о хребтах являются геологические, геохимические и геофизические исследования, выполняемые для подачи представлений в Комиссию по границам континентального шельфа. Хотя сбор этих данных не призван напрямую содействовать экологическому пониманию, в будущем они могут охватить и эту задачу. Такие данные могут использоваться, например, для моделирования распространения пригодных для фауны местообитаний, что может стать ценным вкладом в организацию хозяйствования (Lecours, 2017). Некоторые работы по моделированию пригодности местообитаний уже показывают, что не только на континентальных окраинах, но и на срединно-океанических хребтах присутствуют важные местообитания, пригодные для семи подотрядов *Octocorallia* (Yesson and others, 2012) и для склерактиниевых кораллов (Davies and Guinotte, 2011), причем особенно значимой для этих таксонов является северная часть Срединно-Атлантического хребта.

2.1.2. Глубоководный рыбный промысел на срединно-океанических хребтах

Если глубоководное траление оказывает прямое воздействие на глубоководные бентические сообщества (орудие лова приходит в соприкосновение с морским дном), то воздействие от донных ярусов является гораздо меньшим, но и они сказываются на некоторых из старейших организмов, издавна живущих на северной части Срединно-Атлантического хребта (Pham and others, 2014).

2.1.3. Климат

Прогнозы воздействия климатических изменений на морское глубоководье указывают на существенные последствия для батимальных местообитаний (глубины 200–3000 м), включая хребты, и для населяющих их сообществ (Levin and others, 2019a). Последние модельные прогнозы Суитмена и др. (Sweetman and others, 2017) показывают, что к 2100 году на батимальных глубинах всех океанов произойдет значительное повсеместное снижение pH (от 0,29 до 0,37 единиц), а в батиили северо-восточной части Тихого океана и в Южном океане концентрация кислорода снизится на целых 3,7 процента. В большинстве океанских акваторий, особенно в батиили Индийского океана, значительно сократится приток органических частиц («морской снег») на морское дно: прогнозируется, что к концу столетия это сокращение составит 40–55 процентов. Модели также предсказывают снижение показателей насыщения карбонатом кальция во всех акваториях Мирового океана (Zheng and Cao, 2014). Морские кальцифицирующие организмы, населяющие холодные воды и глубинные участки, могут быть особенно чувствительны к прогнозируемым изменениям в карбонатной химии (Levin and others, 2019a). Там, где хребты располагаются на батимальных глубинах, хребтовая фауна будет, вероятно, испытывать все из вышеупомянутых климатогенных эффектов (Levin and others, 2019a).

2.1.4. Ультраабиссальные желоба

За последнее десятилетие наблюдался значительный рост пробоотборочных и исследовательских работ на ультраабиссальных глубинах, что обусловлено возрождением интереса к ним

и появлением новых технологий (Jamieson, 2015; Jamieson and others, 2018). Так, появились новые недорогие спускаемые аппараты, которые могут быть спущены с небольших судов без лебедок, рассчитанных на всю глубину океана (Jamieson and others, 2019). Важным начинанием стала международная экспедиция KuramBio II в Курило-Камчатский желоб (Brandt and others, 2016, 2018). Параллельно с этим развивались исследования и экспедиции, спонсируемые частными лицами, примером чего служит спуск аппарата Deepsea Challenger на дно Марианского желоба в 2015 году или экспедиция Five Deeps (Five Deeps Expedition, 2019; Stewart and Jamieson, 2019).

Эти мероприятия позволили по-новому взглянуть на обстановку и жизнь в ультраабиссальных желобах. Полученные данные включают доказательства того, что на глубинах более 8400 м не способна выжить никакая рыба (Yancey and others, 2014) и что поэтому в самых глубоких желобах ареалы эндемичных для них рыб ограничиваются желобовыми краями. На глубинах более 6800 м рыбы представлены исключительно семейством липаровых (Liparidae). В желобах Марианский (Gerringer and others, 2017) и Атакама (он же Перуанско-Чилийский) (Priede, 2017) обнаружены новые виды из разных таксонов, и многие виды еще ожидают своего описания.

Как правило, с увеличением глубины желобов биоразнообразие в них уменьшается (Jamieson, 2015). Для беспозвоночных какой-то максимальной глубины не зафиксировано. На дне даже самых глубоких желобов обитают и нематоды, и полихеты, и моллюски, и ракообразные, и иглокожие. Эффект воронки вызывает концентрирование органического вещества вдоль оси желоба (Ichino and others, 2015; Luo and others, 2017), а это способно приводить к тому, что наибольшие численность и биомасса будут наблюдаться на максимальной глубине. Ледюк и др. (Leduc and others, 2016) сообщают, что на дне желоба Тонга (глубина 10 800 м) насчитывается в шесть раз больше инфауновых нематод, чем на его краю. Джеймисон и др. (Jamieson and others, 2009) обнаружили, что такие подвижные падальщики, как веслоногие из семейства Lysianassoidea, наиболее многочисленны на самых больших глубинах. В Курило-Камчатском желобе на ультраабиссальных глубинах обнаружено преобладание дву-

створчатых моллюсков и голотурий (Brandt and others, 2018).

Если ультраабиссальные липаровые отличаются эндемичностью, то одни и те же виды беспозвоночных обычно встречаются в разных желобах (Ritchie and others, 2017). Вместе с тем появляются новые сведения, указывающие на генетическую дифференциацию видов в некоторых желобах (Zhang and others, 2019), и происходит открытие новых видов (Eustace and others, 2016).

Ультраабиссальные желоба могут выступать в качестве фауновых барьеров между различными частями морского глубоководья. Ультраабиссальная фауна в Курило-Камчатском желобе отличается от абиссальной фауны северо-западной части Тихого океана и ее окраинных морей (Brandt and others, 2016). Этот желоб изолирует виды, обитающие в окраинных морях, от северо-западной части Тихого океана. Он также препятствует расселению такой фауны, как определенные виды равноногих ракообразных из семейств Desmosomatidae, Nannoniscidae и Ischnomesidae (Bober and others, 2018; Jennings and others, 2020). Вместе с тем для некоторых видов не обнаружено каких-либо доказательств, которые указывали бы на строгий биогеографический барьер между Охотским морем и открытыми водами северо-западной части Тихого океана. Джеймисон и др. (Jamieson and others, 2011) признали наличие переходной зоны между абиссальной и ультраабиссальной фауной в желобе Кермадек. Имеются также доказательства того, что в желобах присутствуют структурированные сообщества (Jamieson and others, 2013; Fujii and others, 2013; Gallo and others, 2015; Lacey and others, 2016; Leduc and Rowden, 2018).

Желоба располагаются в сейсмически активных зонах. Происшедшее в 2011 году Великое восточнояпонское землетрясение (оно же «землетрясение в Тохоку») привело к тому, что в Японский желоб почти мгновенно провалилось 0,2 км³ отложений, в которых содержалось более 1 тераграмма органического углерода (Kioka and others, 2019; Oguri and others, 2013). Привнесение туда этого углерода изменило состав и распределение мейофауны на том склоне желоба, который обращен к суше (Kitahashi and others, 2014), а также гидрогеологическую структуру отложений и подводного дна (Kawagucci and others, 2012).

Кроме того, радиоактивные изотопы, попавшие в воду из-за аварии на атомной электростанции «Фукусима-1», примерно через месяц после землетрясения оказались на глубине 4800 м (Honda and others, 2013), а в течение четырех месяцев осели на морском дне глубиной более 7000 м (Oguri and others, 2013).

Близость к суше и человеческим поселениям усиливает уязвимость ультраабиссальных желобов к антропогенным нагрузкам, и эта ситуация усугубляется эффектом воронки, который концентрирует седиментацию по оси желоба. В желобах юго-западной части Тихого океана встречается в значительных количествах пыльца наземных деревьев, становящаяся потенциальным источником пищи для ультраабиссальных организмов (Leduc and Rowden, 2018). Джеймисон и др. (Jamieson and others, 2017) обнаружили в организме бокоплавов на самых больших глубинах в желобах Марианский и Кермадек чрезвычайно высокое содержание полихлорированных бифенилов и полибромированных дифениловых эфиров. Их концентрации были намного выше наблюдаемых в сильно индустриализованных районах, что говорит о долгосрочной биоаккумуляции на этих глубинах. Кроме того, в Марианском желобе, до самого его дна, замечено присутствие пластикового мусора (Chiba and others, 2018), а в шести тихоокеанских желобах на глубинах от 7000 до 10 890 м обнаружено присутствие пластиковых микрочастиц в задней части брюшка у бокоплавов (Jamieson and others, 2019).

2.1.5. Плато, поднятия и банки

До 2010 года осуществлялся проект CenSeam («Глобальная перепись жизни на подводных горах»), специально посвященный изучению подводных гор, однако им было охвачено очень мало банок и плато. Одним государством была

проведена национальная стратегическая экологическая оценка региона Северо-Восточной Атлантики, охватившая банки Джордж-Блай, Хаттон и Роколл. Выяснилось, что состав сообщества на банке Джордж-Блай напоминает наблюдаемый на твердых субстратах в других точках Северо-Восточной Атлантики (Narayanawamy and others, 2013). Недавние исследования плато Кергелен указывают на потенциально контрастирующие сдвиги в распределении бентической фауны (сдвиг к полюсу, широтное сокращение и локальное вымирание), например у морских ежей *Abatus cordatus*, *Brisaster antarcticus*, *Stenocidaris nutrix* и *Sterechinus diadema*, в ответ на экологические изменения (Guillaumot and others, 2018). Однако интерпретация и предсказание будущих реакций на изменение климата требует тщательного обдумывания. Прогнозы, касающиеся изменений в водной температуре и солености, обычно рассчитаны на большие пространственные масштабы и могут не отражать локальных особенностей, например на плато Кергелен, где различия в расположении фронтов и тепловых потоков (Vivier and others, 2015) могут в будущем привести к изменениям в распределении местных видов (Guillaumot and others, 2018).

Изучая более мелкую макрофауну вдоль поднятия Чатем в юго-западной части Тихого океана, Ледюк и др. (Leduc and others, 2015) установили сильнейшую связь структуры сообщества с плотностью фосфоритных конкреций, сопровождающаяся иногда формированием сообщества, специфического для конкреций. При этом в будущем станет, видимо, происходить добыча конкреций (Leduc and others, 2015). При изъятии конкреций начнет развиваться альтернативное сообщество в том месте, где велась добыча, будет утрачено (Bluhm, 2001).

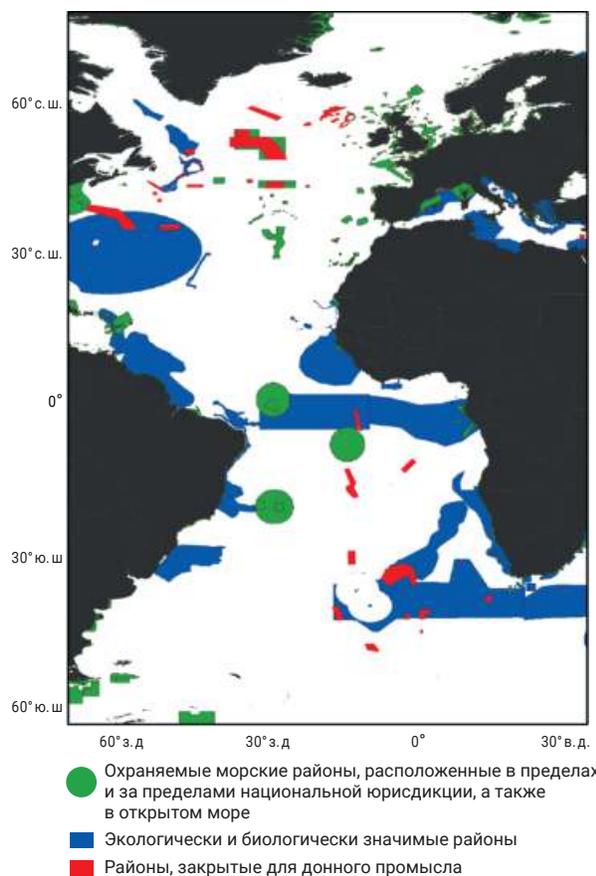
3. Описание экономических и социальных изменений с 2010 по 2020 год

За последнее десятилетие из-за растущей экономической ценности океанских ресурсов возросла уязвимость глубоководных экосистем к антропогенным нагрузкам и порождаемым ими

воздействиям. Осознание таких нагрузок вызвало как повышение общественного внимания к данной проблеме, так и появление новых правил (см. рисунок II). Правила посвящены таким

Рисунок II.A

Атлантика крупным планом. Указаны атлантические акватории, признанные экологически и биологически значимыми районами, и акватории, где действуют меры по защите донных участков. (United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre and International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 2019)

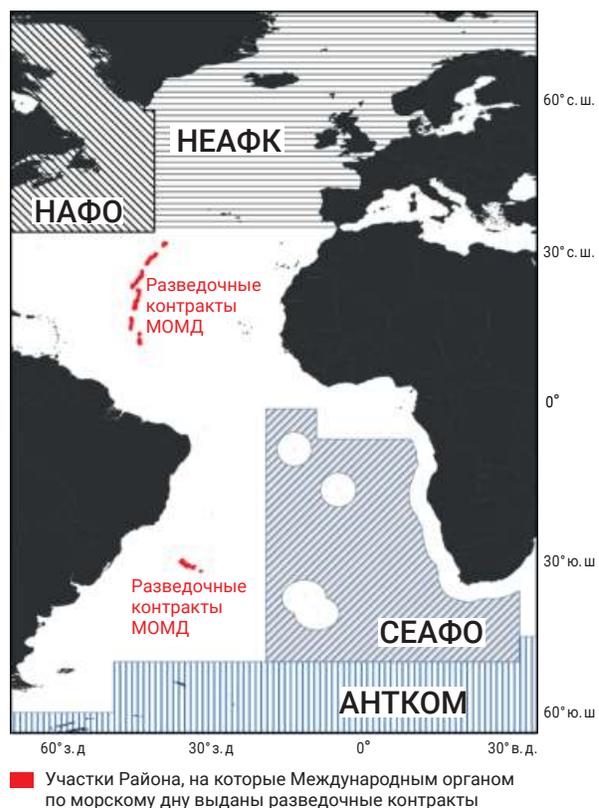


вопросам, как незаконный, несообщаемый и нерегулируемый рыбный промысел, разведка глубоководных полезных ископаемых на предмет их добычи, биопоиск и эксплуатация генетических ресурсов, оформление охраняемых районов моря, а также распределение и защита уязвимых морских экосистем либо иных экологически и биологически значимых районов.

³ См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

Рисунок II.B

Зона действия Конвенции о сохранении морских живых ресурсов Антарктики, входящей в систему Договора об Антарктике, и зоны, подведомственные региональным рыбохозяйственным организациям



Сокращения: АНТКОМ — Конвенция о сохранении морских живых ресурсов Антарктики; МОМД — Международный орган по морскому дну; НАФО — Организация по рыболовству в северо-западной части Атлантического океана; НЕАФК — Комиссия по рыболовству в северо-восточной части Атлантического океана; СЕАФО — Организация по рыболовству в Юго-Восточной Атлантике.

Новые правила вносят вклад в достижение цели 14 в области устойчивого развития³, которая сформулирована как «сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития», и в выполнение сопровождающих эту цель задач, например предусматривающих: а) предотвращение и существенное сокращение любого

загрязнения морской среды применительно к ультраабиссальным желобам; *b*) рациональное использование и защиту морских и прибрежных экосистем с целью предотвратить значительное отрицательное воздействие; *c*) минимизацию и ликвидацию последствий закисления океана, в том числе благодаря развитию научного сотрудничества на всех уровнях; *d*) эффективное регулирование добычи и прекращение перелова, незаконного, несообщаемого и нерегулируемого рыбного промысла и губительной рыбопромысловой практики, а также выполнение научно обоснованных планов хозяйственной деятельности; *e*) охват природоохранными мерами по крайней мере 10 процентов прибрежных и морских районов в соответствии с национальным законодательством и международным правом и на основе наилучшей имеющейся научной информации; *f*) увеличение объема научных знаний, расширение научных исследований и передачу морских технологий; *g*) улучшение работы по сохранению и рациональному использованию океанов и их ресурсов путем соблюдения норм международного права, закрепленных в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву⁴, для всех других сред, рассматриваемых в данной подглаве.

За последние 10 лет эти инициативы привели, в частности, к созданию охраняемых морских районов, куда конкретно включены обсуждаемые в настоящей главе компоненты (см. приводимую ниже таблицу). В исключительных экономических зонах стран и в районах за пределами национальной юрисдикции необходимо будет наладить правильное международное морское пространственное планирование, позволяющее

преодолевать потенциальные коллизии между разведкой и разработкой ресурсов (например, массивных сульфидов), с одной стороны, и защитой и сохранением морской среды (например, в виде объявления экологически и биологически значимых районов и охраняемых морских районов на Срединно-Атлантическом хребте), с другой (см. рисунок II).

В ультраабиссальных желобах нет ресурсов, которые рассматривались бы в настоящее время как объект для прямой эксплуатации человеком. Биомасса присутствующих там рыбных популяций слишком мала и удалена от поверхности, чтобы поддерживать хоть какой-то промысел, а на покрытых отложениями стенах отсутствуют какие-либо известные минеральные ресурсы. Возможен биопоиск микробов, которые приспособлены к жизни при высоком давлении (пьезофилы) и могут найти специальное промышленное применение. Пиплз и др. (Peoples and others, 2019) описывают большое разнообразие бактерий и архей в отложениях из желобов Марианский и Кермадек, но лишь немногие из них удалось изолировать и культивировать. Важные различия между микробными сообществами первого и второго желобов могут быть связаны с различиями в поступлении органического материала с поверхности: желоб Кермадек, где содержание такого материала высоко, поддерживает больше таксонов, которые питаются разлагающейся органикой. Вместе с тем собранные таксоны оказались не специфическими для этих желобов, а полученные изоляты были родственны пьезофилам из других сред, уже идентифицированным ранее.

⁴ United Nations, *Treaty Series*, vol. 1834, No. 31363.

4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)

Регион	Наблюдаемые климатогенные изменения	Антропогенные нагрузки	Районы, признанные экологически и биологически значимыми, и районы, где действуют меры по защите донных участков (хребты, желоба и плато) ^а
Северный Ледовитый океан	Снижение оксигенации, закисление и потепление глубинных вод; изменения в оттоке органического углерода (Sweetman and others, 2017)	Хребты и поднятия, плато и банки: разведка минеральных ресурсов (гл. 18); расширение рыбного промысла (гл. 15)	
Северная часть Атлантического океана и Балтийское, Северное, Средиземное и Черное моря	Снижение оксигенации, закисление и потепление глубинных вод; изменения в оттоке органического углерода (Sweetman and others, 2017); потенциальное воздействие на расселение личинок в водной толще, сказывающееся на популяционной соединенности (Levin and others, 2019a); потепление, дезоксигенация промежуточного и глубинного водного слоя в Средиземном море (Stendardo and others, 2015), сокращение вентиляции абиссальных вод Средиземноморья, сказывающееся на таксонах, приуроченных к гидротермальным источникам и холодным просачиваниям, и на экосистемных функциях этих образований	Хребты и поднятия, плато и банки: разведка минеральных ресурсов (гл. 18); морские углеводороды (гл. 19); расширение рыбного промысла (гл. 15) Желоба: загрязнение	ЭБЗР: гидротермальные поля в Северо-Западной Атлантике; экваториальная разломная зона и высокопродуктивная система в Атлантике ОМР: Азорский морской парк ОСПАР: ОМР «Открытое море к северу от разлома Чарли-Гиббс»; ОМР «Открытое море к югу от разлома Чарли-Гиббс»; ОМР «Срединно-Атлантический хребет к северу от открытых вод Азорских островов» Закрытие районов для донного промысла: согласно решениям Комиссии по рыболовству в северо-восточной части Атлантического океана
Южная часть Атлантического океана и Большой Карибский район	Недостаточно сведений, чтобы заметить изменения	Хребты и поднятия, плато и банки: разведка минеральных ресурсов (гл. 18); морские углеводороды (гл. 19); расширение рыбного промысла (гл. 15) Желоба: загрязнение	ЭБЗР: субтропическая зона конвергенции Закрытие районов для донного промысла: согласно решениям Организации по рыболовству в Юго-Восточной Атлантике
Индийский океан, Аравийское и Красное моря, а также Аденский, Бенгальский и Персидский заливы	Недостаточно сведений, чтобы заметить изменения	Хребты и поднятия, плато и банки: разведка минеральных ресурсов (гл. 18); морские углеводороды (гл. 19); расширение рыбного промысла (гл. 15) Желоба: загрязнение	ЭБЗР: гайот к востоку от хребта Брокен
Северная часть Тихого океана	Тенденция к потеплению в северо-восточной части Тихого океана	Хребты и поднятия, плато и банки: разведка минеральных ресурсов (гл. 18); расширение рыбного промысла (гл. 15) Желоба: загрязнение	ЭБЗР: хребет Кюсю-Палау; желоба Западно-Курильский, Японский и Идзу-Огасавара и район к северу от Марианского желоба; район желоба Рюкю
Южная часть Тихого океана	Недостаточно сведений, чтобы заметить изменения	Хребты и поднятия, плато и банки: разведка минеральных ресурсов (гл. 18); расширение рыбного промысла (гл. 15) Желоба: загрязнение	ЭБЗР: хребты Салас-и-Гомес и Наска, пересечение желобов Кермадек и Тонга с хребтом Луисвилл
Южный океан	Потепление, изменения в циркуляции и потоках нерастворенного органического углерода (хребет Ист-Скоша), сдвиги в видовом распространении	Хребты и поднятия, плато и банки: расширение рыбного промысла (гл. 15) Желоба: загрязнение	Комиссия по сохранению морских живых ресурсов Антарктики: мера по сохранению 22-06 (2019) «Донный промысел в зоне действия Конвенции»

Сокращения: ОМР — охраняемый морской район; ОСПАР — Конвенция о защите морской среды Северо-Восточной Атлантики; ЭБЗР — экологически и биологически значимые районы.

^а См. www.mpatlas.org/map/high-seas/.

5. Перспективы

В отношении глубоководных сред и экосистем остается много неизвестного, но за последнее десятилетие были проведены значительные исследования, число которых в следующем десятилетии ожидаемо пополнится. Организация Объединенных Наций провозгласила Десятилетие, посвященное науке об океане в интересах устойчивого развития (2021–2030 годы)⁵, чтобы поддержать усилия по преодолению хронического ухудшения здоровья океана и снабдить всех, кого в мире заботит судьба океана, общими рамочными ориентирами, позволяющими обеспечить, чтобы наука об океане могла всесторонне помогать странам улучшать условия для устойчивого освоения океана. Данное начинание будет координироваться Межправительственной океанографической комиссией. Европейская комиссия наладила пять европейских исследовательско-инновационных миссий, одна из которых посвящена океанам и морям.

В последнее время благодаря сильному медиарезонансу некоторых частных инициатив выросло внимание к исследованию хребтов и желобов, что способно повысить интерес к этим экосистемам со стороны широкой аудитории.

Хребты и плато поддерживают множество уязвимых морских экосистем (им свойственны бентические сообщества с преобладанием кораллов и губок и наличие гидротермальных источников), которые пользуются защитой, предусмотренной правилами ФАО. Между тем возникающая перспектива глубоководной разработки хребтов и поднятий с целью добычи полиметаллических сульфидов и кобальтоносных марганцевых корок создает новые угрозы для этих экосистем. В настоящее время Международный орган по морскому дну составляет добычные правила, где предусматриваются оценки воздействия и защитные меры. Окончательные рекомендации ожидаются к 2020 году (гл. 18).

В рамках Конвенции о биологическом разнообразии⁶ проведена работа над достижением между-

народного согласия относительно оформления репрезентативных сетей охраняемых морских районов и других эффективных природоохранных мер на порайонной основе: поставлена задача добиться того, чтобы к 2020 году подобной охраной было охвачено 10 процентов всей площади морских акваторий (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2010). Кроме того, инициирована программа по определению экологически и биологически значимых районов (ibid, 2009).

Морские генетические ресурсы в районах за пределами национальной юрисдикции, в открытом море и в Районе (дно морей и океанов и его недра за пределами национальной юрисдикции) не регулируются, что является особенно значительной проблемой, поскольку: а) неизвестен их экономический потенциал в таких областях, как фармацевтика, биоремедиация, косметика, нутрицевтики или биомедицинские инновации; б) возможности для использования морских генетических ресурсов распределены в мире неравномерно. Доступ к морским генетическим ресурсам начинается прежде всего с морских научных исследований, которые, представляя собой обусловленную свободу открытого моря, регулируются соответствующими положениями части XIII Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву (например, взаимный обмен информацией и знаниями), так что частично уже имеется основа, с опорой на которую можно выработать новые правовые режимы для распоряжения морскими генетическими ресурсами в районах за пределами национальной юрисдикции (Broggiato and others, 2014).

В настоящее время ведутся переговоры о заключении международного юридически обязательного документа на базе Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву о сохранении и устойчивом использовании морского биологического разнообразия в районах за пределами действия национальной юрисдикции⁷, причем в фокусе внимания оказался пакет таких аспектов, как зонально привязанные ин-

⁵ См. резолюцию 72/73 Генеральной Ассамблеи.

⁶ United Nations, *Treaty Series*, vol. 1760, No. 30619.

⁷ См. резолюцию 72/249 Генеральной Ассамблеи.

струменты хозяйствования (включая охраняемые морские районы), оценки экологического воздействия, наращивание потенциала и передача морских технологий, а также морские генетические ресурсы, включая вопросы совместного использования выгод (Rabone and others, 2019). К этому можно прибавить планируемые сокращения в количестве одноразовых пластиковых изделий и удаляемых в море отходов, но

даже с учетом всего этого морское глубоководье так или иначе становится свалкой. Дампинг и загрязнение вызывают применительно к ультраабиссальным желобам особую озабоченность, поскольку попадающие туда отходы имеют тенденцию концентрироваться вдоль желобовой оси, влияя на живущие там организмы (Jamieson and others, 2017).

6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях

В последнее десятилетие большинство исследований по хребтам было связано с изучением гидротермальных источников и индивидуальных подводных гор (гл. 7P и 7L), которые занимают небольшую часть глобальной хребтовой системы. Хребты, плато и желоба продолжают отмечаться серьезными пробелами в том, что касается научного понимания закономерностей и пространственных масштабов биоразнообразия, а также видового состава и численности.

Особенно ограниченными (как и вообще для большей части глубинных участков океана) являются знания о пелагиали, включая базовые аспекты биоразнообразия, например видовой состав и численность, а также пространственные и временные вариации. Вместе с тем всё еще плохо изучены и некоторые аспекты бентических экосистем. Такие экологические и природоведческие данные, как типология жизненного цикла, субстратный рельеф и мезомасштабная океанская динамика, необходимы для выстраивания моделей, которые позволяют судить о потоке частиц, пищевой сети и пригодности местообитаний и учитывать экосистемную реакцию на возмущения. Нехватка знаний означает, что морское глубоководье море остается в глобальном имитационном моделировании «черным ящиком».

Кроме того, наука едва начала выяснять, как антропогенные воздействия будут сказываться на функции глубоководных экосистем и, соответственно, на услугах, которые эти экосистемы предоставляют обществу (Thurber and others, 2014). Такие знания критически значимы для эффективного распоряжения океаном. В последнее время сообществом, занимающимся глубоководной биологией, было развернуто несколько инициатив (например, Deep-Ocean Stewardship Initiative, Deep Ocean Observing Strategy), позволивших сформулировать четыре ключевых вопроса, на которые необходимо ответить, чтобы добиться устойчивого управления глубоководными районами (Deep-Ocean Stewardship Initiative, 2019): а) каково разнообразие жизни в океанских глубинах; б) насколько соединены популяции и местообитания; в) какова роль живых организмов в обеспечении экосистемной функции и в предоставлении экосистемных услуг; г) как виды, сообщества и экосистемы реагируют на возмущения? Будучи сформулированы как общие вопросы о морском глубоководье, они тем не менее вполне относимы к специфическому контексту хребтов, плато и желобов, и их следует рассматривать как приоритетные в будущих исследованиях.

7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала

Доступ к океанским глубинам ограничивается небольшим кругом развитых стран, хотя значительная часть таких глубин находится в исклю-

чительных экономических зонах развивающихся государств и в открытом море. Фактором, сдерживающим разведку сильнее всего, явля-

ется наличие технологий, например глубоководных аппаратов. По финансовым и техническим причинам этот пробел, вероятно, труднее всего преодолим, и в качестве действенного способа оптимизировать время, затрачиваемое на морские экспедиции, предложено налаживать коллаборативные и междисциплинарные исследовательские сети (Levin and others, 2019b). Междисциплинарный подход необходим также для того, чтобы развивать новые способы легкого подключения к средствам моделирования с целью прогнозировать изменения и уязвимость для более точных экологических оценок.

Еще один крупный пробел касается экспертного потенциала, особенно в развивающихся странах. Новому поколению ученых требуется профессиональная подготовка, в том числе обучение передовым наработкам, таксономическая квалификация, знакомство с экосистемным подходом, а

также овладение навыками изучения морского глубоководья, управления им и его сохранению с помощью новейших инструментов.

Совместные международные начинания по линии существующих программ (например, программы «Международный обмен океанографическими данными и информацией», действующей у Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО, или Программы по образованию и подготовке кадров, действующей у Всемирной метеорологической организации) или недавно оформившиеся инициативы, посвященные глубоководным исследованиям, могут способствовать облегчению доступа к технологиям и учебным материалам, включая специализированные курсы, участие в исследовательских рейсах, учебные стажировки в рамках натуральных исследований, разработку приборов и анализ данных.

Справочная литература

- Alt, Claudia H.S., and others (2019). Bathyal benthic megafauna from the Mid-Atlantic Ridge in the region of the Charlie-Gibbs fracture zone based on remotely operated vehicle observations. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 145, pp. 1–12.
- Beaulieu, Stace E., and others (2013). An Authoritative Global Database for Active Submarine Hydrothermal Vent Fields. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 14, No. 11, pp. 4892–4905.
- Beazley, Lindsay I., and others (2013). Deep-Sea Sponge Grounds Enhance Diversity and Abundance of Epibenthic Megafauna in the Northwest Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 70, No. 7, pp. 1471–1490.
- Bird, Peter (2003). An updated digital model of plate boundaries. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 4, No. 3, pp. 1–52.
- Bluhm, H. (2001). Re-establishment of an abyssal megabenthic community after experimental physical disturbance of the seafloor. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 48, pp. 3841–3868.
- Bober, Simon, and others (2018). Does the Mid-Atlantic Ridge affect the distribution of abyssal benthic crustaceans across the Atlantic Ocean? *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 148, pp. 91–104.
- Brandt, A., and others (2018). First insights into macrofaunal composition from the SokhoBio expedition (Sea of Okhotsk, Bussol Strait and northern slope of the Kuril-Kamchatka Trench). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 154, pp. 106–120.
- Brandt, A., and others (2016). *RV Sonne SO-250 Cruise Report / Fahrtbericht: Tomakomai-Yokohama (Japan) 16.08.-26.09.2016 – SO-250 KuramBio II*. Kuril Kamchatka Biodiversity Studies.
- Broggiato, A., and others (2014) Fair and equitable sharing of benefits from the utilization of marine genetic resources in areas beyond national jurisdiction: bridging the gaps between science and policy. *Marine Policy*, vol. 49, pp. 176–185.

- Cathalot, Cécile, and others (2015). Cold-water coral reefs and adjacent sponge grounds: hotspots of benthic respiration and organic carbon cycling in the deep sea. *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, art. 37.
- Chiba, Sanae, and others (2018). Human footprint in the abyss: 30 year records of deep-sea plastic debris. *Marine Policy*, vol. 96, pp. 204–212.
- Compton, Tanya J., and others (2013). Biophysical Patterns in Benthic Assemblage Composition across Contrasting Continental Margins off New Zealand. *Journal of Biogeography*, vol. 40, No. 1, pp. 75–89.
- Davies, Andrew J., and John M. Guinotte (2011). Global habitat suitability for framework-forming cold-water corals. *PloS One*, vol. 6, No. 4.
- Deep-Ocean Stewardship Initiative (DOSI) (2019). Deep-sea research in the Decade of Ocean Science: Mapping the role of the deep ocean in human society. www.dosi-project.org/wp-content/uploads/2019/07/DOSI_Decade_Position_Final-1.pdf.
- Eustace, Ryan M., and others (2016). Morphological and ontogenetic stratification of abyssal and hadal *Eurythenes gryllus* sensu lato (Amphipoda: Lysianassoidea) from the Peru–Chile Trench. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 109, pp. 91–98.
- Five Deeps Expedition (2019). Accessed 12 September 2019. <https://fivedeeps.com>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009) = Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (2011). *Международные руководящие принципы регулирования глубоководного промысла в открытом море*. Рим. 27 сс.
- Fujii, Toyonobu, and others (2013). Deep-sea amphipod community structure across abyssal to hadal depths in the Peru-Chile and Kermadec trenches. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 492, pp. 125–138.
- Gallo, Natalya D., and others (2015). Submersible- and lander-observed community patterns in the Mariana and New Britain trenches: influence of productivity and depth on epibenthic and scavenging communities. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 99, pp. 119–133.
- Gerringer, Mackenzie E., and others (2017). *Pseudoliparis swirei* sp. nov.: a newly-discovered hadal snailfish (Scorpaeniformes: Liparidae) from the Mariana Trench. *Zootaxa*, vol. 4358, No. 1, pp. 161–177.
- Gomes-Pereira, José Nuno, and others (2017). Cold-water corals and large hydrozoans provide essential fish habitat for *Lappanella fasciata* and *Benthocometes robustus*. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 145, pp. 33–48.
- Guillaumot, Charlène, and others (2018). Benthic species of the Kerguelen Plateau show contrasting distribution shifts in response to environmental changes. *Ecology and Evolution*, vol. 8, No. 12, pp. 6210–6225.
- Harris, Peter T., and others (2014). *Geomorphology of the Oceans*. *Marine Geology*, vol. 352, pp. 4–24.
- Harris, Peter T., and Tanya Whiteway (2009). High seas marine protected areas: benthic environmental conservation priorities from a GIS analysis of global ocean biophysical data. *Ocean & Coastal Management*, vol. 52, No. 1, pp. 22–38.
- Henry, Lea-Anne, and others (2013). Cold-water coral reef habitats benefit recreationally valuable sharks. *Biological Conservation*, vol. 161, pp. 67–70.
- Honda, M.C., and others (2013). Concentration and vertical flux of Fukushima-derived radiocesium in sinking particles from two sites in the Northwestern Pacific Ocean. *Biogeosciences*, vol. 10, No. 6, pp. 3525–3534.
- Ichino, Matteo C., and others (2015). The distribution of benthic biomass in hadal trenches: a modelling approach to investigate the effect of vertical and lateral organic matter transport to the seafloor. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 100, pp. 21–33.
- Jamieson, A.J. (2015). *The Hadal Zone: Life in the Deepest Oceans*. Cambridge University Press.

- Jamieson, Alan J., and others (2009). HADEEP: Free-falling landers to the deepest places on Earth. *Marine Technology Society Journal*, vol. 43, No. 5, pp. 151–160.
- Jamieson, Alan J., and others (2010). Hadal trenches: the ecology of the deepest places on Earth. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 25, No. 3, pp. 190–197.
- Jamieson, Alan J., and others (2011). Bait-attending fauna of the Kermadec Trench, SW Pacific Ocean: evidence for an ecotone across the abyssal-hadal transition zone. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 58, No. 1, pp. 49–62.
- Jamieson, Alan J., and others (2019). Microplastics and synthetic particles ingested by deep-sea amphipods in six of the deepest marine ecosystems on Earth. *Royal Society Open Science*, vol. 6, No. 2, 180667.
- Jamieson, A.J., and others (2013). The supergiant amphipod *Alicella Gigantea* (Crustacea: Alicellidae) from hadal depths in the Kermadec Trench, SW Pacific Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 92, pp. 107–113.
- Jamieson, A.J., and others (2018). Exploring the hadal zone: recent advances in hadal science and technology. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 155, pp. 1–3.
- Jamieson, A.J., and others (2017). Bioaccumulation of persistent organic pollutants in the deepest ocean fauna. *Nature Ecology & Evolution*, vol. 1, No. 3, pp. 1–4.
- Jennings, R., and others (2020). Integrative species delimitation of desmosomatid and nannoniscid isopods from the Kuril-Kamchatka trench, with description of a hadal species. *Progress in Oceanography*, vol. 182, art. 102236.
- Johnson, David Edwards, and others (2019). Rockall and Hatton: resolving a super wicked marine governance problem in the high seas of the northeast Atlantic Ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 69.
- Kawagucci, Shinsuke, and others (2012). Disturbance of deep-sea environments induced by the M9.0 Tohoku Earthquake. *Scientific Reports*, vol. 2, art. 270.
- Kioka, A., and others (2019). Megathrust earthquake drives drastic organic carbon supply to the hadal trench. *Scientific Reports*, vol. 9, No. 1, pp. 1–10.
- Kitahashi, Tomo, and others (2014). Effect of the 2011 Tohoku Earthquake on deep-sea meiofaunal assemblages inhabiting the landward slope of the Japan Trench. *Marine Geology*, vol. 358, pp. 128–137.
- Knox, Matthew A., and others (2012). Mitochondrial DNA (COI) analyses reveal that amphipod diversity is associated with environmental heterogeneity in deep-sea habitats. *Molecular Ecology*, vol. 21, No. 19, pp. 4885–4897.
- Lacey, Nichola C., and others (2016). Community structure and diversity of scavenging amphipods from bathyal to hadal depths in three South Pacific Trenches. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 111, pp. 121–137.
- Lecours, Vincent (2017). On the use of maps and models in conservation and resource management (warning: results may vary). *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 288.
- Leduc, Daniel, and Ashley A. Rowden (2018). Not to be sneezed at: does pollen from forests of exotic pine affect deep oceanic trench ecosystems? *Ecosystems*, vol. 21, No.2, pp. 237–247.
- Leduc, Daniel, and others (2012). Nematode beta diversity on the continental slope of New Zealand: spatial patterns and environmental drivers. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 454, pp. 37–52.
- Leduc, Daniel, and others (2015). Distribution of macro-infaunal communities in phosphorite nodule deposits on Chatham Rise, Southwest Pacific: implications for management of seabed mining. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 99, pp. 105–118.

- Leduc, Daniel, and others (2016). Comparison between infaunal communities of the deep floor and edge of the Tonga Trench: possible effects of differences in organic matter supply. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 116, pp. 264–275.
- Levin, Lisa A., and others (2019a). Climate change: overview and drivers. Chapter 2 in: *Deep Ocean Climate Change Impacts on Habitat, Fish and Fisheries*, L. Levin and others, eds. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. Rome, FAO, pp. 56–79.
- Levin, Lisa A., and others (2019b). Global Observing Needs in the Deep Ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 241.
- Luo, Min, and others (2017). Provenances, distribution, and accumulation of organic matter in the southern Mariana Trench rim and slope: implication for carbon cycle and burial in hadal trenches. *Marine Geology*, vol. 386, pp. 98–106.
- Morato, Telmo, and others (2018). A Multi Criteria Assessment Method for Identifying Vulnerable Marine Ecosystems in the North-East Atlantic. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 460.
- Mortimer, Nick, and others (2017). Zealandia: Earth's hidden continent. *GSA Today*, vol. 27, No. 3, pp. 27–35.
- Narayanaswamy, Bhavani E., and others (2013). First observations of megafaunal communities inhabiting George Bligh Bank, northeast Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 92, pp. 79–86.
- Oguri, Kazumasa, and others (2013). Hadal disturbance in the Japan Trench induced by the 2011 Tohoku-Oki Earthquake. *Scientific Reports*, vol. 3, art. 1915.
- Peoples, Logan Maxwell, and others (2019). Microbial community diversity within sediments from two geographically separated hadal trenches. *Frontiers in Microbiology*, vol. 10, art. 347.
- Pham, Christopher K., and others (2015). The importance of deep-sea vulnerable marine ecosystems for demersal fish in the Azores. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 96, pp. 80–88.
- Pham, Christopher K., and others (2014). Deep-water longline fishing has reduced impact on Vulnerable Marine Ecosystems. *Scientific Reports*, art. 4837..
- Picard, Kim, and others (2018). Malaysia Airlines flight MH370 search data reveal geomorphology and seafloor processes in the remote southeast Indian Ocean. *Marine Geology*, vol. 395, pp. 301–319.
- Priede, Imants G. (2017). *Deep-Sea Fishes: Biology, Diversity, Ecology and Fisheries*. Cambridge University Press.
- Rabone, Muriel, and others (2019). Access to marine genetic resources (MGR): raising awareness of best-practice through a new agreement for biodiversity beyond national jurisdiction (BBNJ). *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 520.
- Ritchie, H., and others (2017). Population genetic structure of two congeneric deep-sea amphipod species from geographically isolated hadal trenches in the Pacific Ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 119, pp. 50–57.
- Sautya, Sabyasachi, and others (2017). First quantitative exploration of benthic megafaunal assemblages on the mid-oceanic ridge system of the Carlsberg Ridge, Indian Ocean. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol. 97, No. 2, pp. 409–417.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity Secretariat (2009). *Azores Scientific Criteria and Guidance for Identifying Ecologically or Biologically Significant Marine Areas and Designing Representative Networks of Marine Protected Areas in Open Ocean Waters and Deep Sea Habitats*. Montreal: CBD.
- _____ (2010) = Конвенция о биологическом разнообразии (2010). Конференция сторон Конвенции о биологическом разнообразии, десятое совещание, решение X/2 «Стратегический план в области сохранения и устойчивого использования биоразнообразия на

- 2011–2020 годы и целевые задачи по сохранению и устойчивому использованию биоразнообразия, принятые в Айти». www.cbd.int/doc/decisions/cop-10/cop-10-dec-02-ru.pdf.
- Stendardo, Ilaria, and others (2015). Interannual to decadal oxygen variability in the mid-depth water masses of the eastern North Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 95, pp. 85–98.
- Stewart, Heather A., and Alan J. Jamieson (2019). The five deeps: the location and depth of the deepest place in each of the world's oceans. *Earth-Science Reviews*, vol. 197, 102896.
- Sweetman, Andrew K., and others (2017). Major impacts of climate change on deep-sea benthic ecosystems. *Elementa: Science of the Anthropocene*, vol. 5, pp. 1–23.
- Thurber, Andrew R., and others (2014). Ecosystem function and services provided by the deep sea. *Biogeosciences*, vol. 11, No. 14, pp. 3941–3963.
- United Nations (2017a). Chapter 51: Biological communities on seamounts and other submarine features potentially threatened by disturbance. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) (2009). *Global Open Oceans and Deep Seabed (GOODS) Bioregional Classification*. UNESCO-IOC, Technical Series 84. Paris: UNESCO.
- United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre and International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (2019). *Protected Planet: The World Database on Protected Areas*. Cambridge, United Kingdom: UNEP-WCMC and IUCN. www.protectedplanet.net.
- Vivier, Frédéric, and others (2015). Variability of the Antarctic Circumpolar Current transport through the Fawn Trough, Kerguelen plateau. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 114, pp. 12–26.
- Watling, Les, and others (2013). A proposed biogeography of the deep ocean floor. *Progress in Oceanography*, vol. 111, pp. 91–112.
- Yancey, Paul H., and others (2014). Marine fish may be biochemically constrained from inhabiting the deepest ocean depths. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, No. 12, pp. 4461–4465.
- Yesson, Chris, and others (2012). Global habitat suitability of cold-water octocorals. *Journal of Biogeography*, vol. 39, No. 7, pp. 1278–1292.
- Zhang, Weipeng, and others (2019). Gut microbial divergence between two populations of the hadal amphipod *Hirondellea gigas*. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 85, No. 1, e02032–18.
- Zheng, Mei-Di, and Long Cao (2014). Simulation of global ocean acidification and chemical habitats of shallow-and cold-water coral reefs. *Advances in Climate Change Research*, vol. 5, No. 4, pp. 189–196.

Глава 7Р

Гидротермальные

источники

и холодные

просачивания

Участники: Надин Ле Бри (координатор), Хироми Ватанабэ, Ильконида Калумпонг (ведущий участник), Ана Коласу, Анна Метаксас, Параскеви Номику, Джулия Сигурт, Верина Танниклифф, Санаэ Тиба (ведущий участник, ответственный за подглаву) и Эльва Эскобар.

Ключевые тезисы

- Гидротермальные источники и холодные просачивания отмечаются невероятной комплексностью местообитаний и сообществ, разнообразием эндемичных видов, высокой биомассой и продуктивностью, опирающейся на хемосинтез.
- Такие экосистемы являются источниками биотехнологических и биомедицинских инноваций.
- Они играют значительную роль в глобальных океанских процессах, секвестрируя CO₂ и метан и внося вклад в продуктивность поверхностного океанского слоя в виде привнесения железа.
- За последние пять лет благодаря исследованиям с использованием новых инструментов, позволяющих обнаруживать сигналы в водной толще, выявлены тысячи новых гидротермальных полей и холодных просачиваний.
- Исследовательская активность подстегивается в последнее время разведкой ресурсов (полиметаллические сульфиды и метаногидраты) и необходимостью картировать и защищать уязвимые местообитания и виды.
- С 2011 года Международный орган по морскому дну выдал семь контрактов на разведку полиметаллических сульфидов на таких участках срединно-океанических хребтов в Индийском и Атлантическом океанах, где имеются гидротермальные поля.
- Некоторые источники и просачивания оказываются защищенными благодаря тому, что находятся в уязвимых морских экосистемах и охраняемых морских районах, располагающихся в исключительных экономических зонах и в районах за пределами национальной юрисдикции.
- Среди рассматриваемых ареалов насчитывается восемь участков, которые, будучи расположены в исключительных экономических зонах, пользуются охраняемым статусом на основании национального законодательства.
- К пробелам в знаниях относятся такие аспекты, как пространственные и временные закономерности, воздействие прямых возмущений, изменения в глубоководной циркуляции, дезоксигенация, потепление и закисление.
- Потепление океана, вызывающее диссоциацию газогидратов, является крупным стресс-фактором для функционирования холодных просачиваний и связанных с ними экосистем.
- Приоритетной задачей, особенно в островных государствах, является формирование потенциала.

1. Введение

1.1. Охват темы и сжатое изложение исходных параметров, описанных в первой «Оценке состояния Мирового океана»

Гидротермальные источники возникают там, где из недр морского дна выходят в результате разогрева водные растворы. Под холодными просачиваниями имеются в виду насыщенные углеводородами флюиды, выделяющиеся из погребенных на дне органических веществ, из залежей ископаемого топлива или из метаногидратов. Обеим этим средам свойственно большое разнообразие как по составу флюидов, так и по типам местообитаний (Cordes and others, 2009;

Watanabe and others, 2010; Levin and Sibuet, 2012; Le Bris and others, 2019).

Основное внимание в настоящей главе уделяется формам морской жизни и донным местообитаниям, подвергающимся воздействию флюидных выбросов, включая неглубоко залегающие просачивания и источники, которые важны для локального биоразнообразия и биогеографии и вносят значимый вклад в поступление парниковых газов в атмосферу, последствия чего отдаленно ощущаются как на морском дне, так и в водной толще. В главе 45 первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017a) отмечался ускоряющийся темп исследований, посвященных гидротермальным источ-

никам, в частности в связи с разведкой минеральных ресурсов, и рассказывалось о сдвигах в статусе сохранности гидротермальных источников или холодных просачиваний как внутри исключительных экономических зон, так и за пределами национальной юрисдикции.

1.2. Влияние рассматриваемых объектов на другие морские компоненты и наоборот

Потоками метана, сероводорода, водорода или восстановленного железа и марганца поддерживается высокая локальная биомасса первичных продуцентов (хемосинтезирующие микробы) и ассоциированной с ними фауны. Имеется много специализированных таксонов, выступающих в качестве хозяев бактериальных симбионтов (Dubilier and others, 2008) и в качестве видов, образующих экосистемный фундамент (Govenar, 2010). Сообщества в разных районах мира обладают сходством на уровне семейств, и по признаку эндемичности видов насчитывается 11 биогеографических регионов (Rogers and others, 2012; Moalic and others, 2012). Хемосинтетические ресурсы благотворно действуют на периферийные местообитания (Levin and others, 2016). Взвесью, выходящей из гидротермальных источников, переносятся металлы и органические материалы и вносится вклад в региональный и глобальный баланс железа (Resing and others, 2015; German and others, 2016; Tagliabue and Resing, 2016).

1.3. Актуальность темы для человеческих сообществ и благополучия

1.3.1. Рыбные промыслы

Твердые субстраты, формирующиеся в рассматриваемых ареалах, благоприятствуют сидячим организмам, в том числе образующим местообитания (губки, мягкие и жесткие кораллы), что способствует появлению весьма значимых ареалов для донных рыб (United States Pacific Fishery Management Council, 2019). Хемосинтетическая первичная продукция может способствовать продуктивности коммерчески значимых рыбных запасов, например крабов, вылавливаемых у побережья Британской Колумбии (Канада), которые усваивают углерод из хемосинтетиков

(Seabrook and others, 2019). В морских акваториях Калифорнии (Соединенные Штаты) наблюдается увеличение популяционной плотности у промысловых видов, приуроченных к холодным просачиваниям (Grupe and others, 2015).

1.3.2. Регулирование потока парниковых газов

Гидротермальные постройки являются естественными источниками CO_2 и метана, высвобождающихся при дегазации магмы, серпентинизации мантии и диагенетической деградации органического вещества в погребенных отложениях. Хемоавтотрофия и метанотрофия способствуют улавливанию выбросов на морском дне (Orcutt and others, 2011; Wankel and others, 2011; Römer and others, 2014a; Ruppel and Kessler, 2017). Одним из ключевых каналов секвестрации метана является его анаэробное окисление археями (Boetius and Wenzhöffer, 2013). Железо из гидротерм может в локальном масштабе служить удобрением поверхностных вод (Guieu and others, 2018; Ardyna and others, 2019), а в глобальном масштабе оно способствует поглощению CO_2 океанским фитопланктоном.

1.3.3. Экологические модели адаптации и выносливости

Гидротермальные источники и холодные просачивания служат моделями для изучения реакций животных на стрессы в условиях высокого CO_2 /низкого pH, экстремальных температур, гипоксии и воздействия сульфидов, токсичных металлов и металлоидов, а также помогают лучше понять способы их биохимической, физиологической и поведенческой адаптации (например, Hall-Spencer and others, 2008; Tunnicliffe and others, 2009; Childress and Girguis, 2011; Di Carlo and others, 2017; Rossi and Tunnicliffe, 2017). Изучение колонизационного поведения дает представление о способности личинок к расселению, о видовых зависимостях и о выносливости к возмущениям (Gollner and others, 2017; Mullineaux and others, 2018). Подходы, настроенные на выяснение функциональных признаков, позволяют учесть вклад как распространенных, так и редких видов (Charman and others, 2018).

1.3.4. Биотехнологические и биомедицинские инновации

Благодаря изучению уникальных взаимодействий между микробами и животными и местобитаний с экстремальной обстановкой сделаны биотехнические открытия, включая следующие: присутствие антибиотических молекул в организме гидротермальных червей (Tasiemski and others, 2014; Papot and others, 2017), наличие генов сопротивляемости металлам у населяющих гидротермальные источники микробов, которое указывает на способы ферментативной детоксикации в загрязненных средах (Vetriani and others, 2005; Colaço and others, 2006), и существование хемоавтотрофных путей углеродной фиксации, значимых для секвестрации выбросов CO₂ (Scott and others, 2018; Rubin-Blum and others, 2019).

1.3.5. Привитие людям интереса к океанским проблемам

Открытие и визуализация таких впечатляющих экосистем доносятся до широкой, всемирной аудитории, в том числе посредством видеоэкспедиций, книг, фильмов, театральных постановок, игр и игрушек, вдохновляя на реализацию гражданско-научных проектов. Рассматриваемые экосистемы демонстрируют разнообразие адаптаций у таксонов океанского глубоководья, роль микробов и происхождение жизни на Земле.

1.4. Совершенствование знаний и потенциала

1.4.1. Исследование и картирование

Благодаря систематическому картированию с помощью автономных подводных аппаратов, отслеживающих аномалии (температура, окислительно-восстановительный потенциал, присутствие метана, газовых пузырей или частиц и т. д.) в водной толще, повысилась способность обнаруживать холодные просачивания или гидротермальные источники (Baker and others, 2016; James and others, 2016; Andreassen and others, 2017; Baumberger and others, 2018).

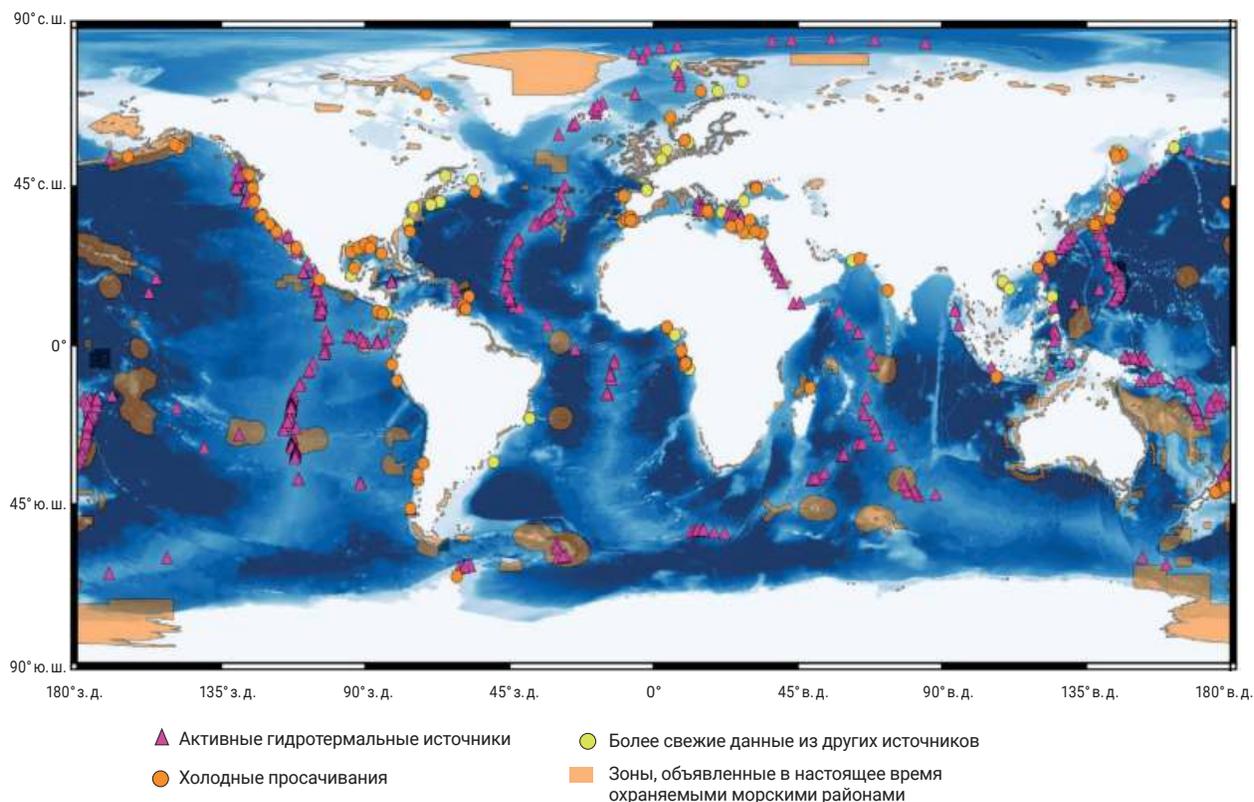
Расширилось исследование систем, образуемых такими источниками и просачиваниями, в субдукционных зонах северо-западной части Тихого

океана (например, Baker and others, 2017) и на арктических хребтах (Marques and others, 2020), в Южном океане (Linse and others, 2019), а также на Центральноиндийском, Западно-Индийском и Восточно-Индийском хребтах (Copley and others, 2016; Zhou and others, 2018; Gerdes and others, 2019; см. рисунок I). За время после появления первой «Оценки» (United Nations, 2017b) увеличилось количество выявленных участков просачивания метана вдоль побережья Соединенных Штатов (Quattrini and others, 2015; Baumberger and others, 2018), в Южно-Китайском море (Feng and others, 2018), в бразильских водах Юго-Западной Атлантики (Ketzer and others, 2019), в Карибском бассейне (Digby and others, 2016) и в индийских водах Бенгальского залива (Mazumdar and others, 2019). Повышение детализации при картировании морского дна позволило получить подробные исходные данные о распространении фауновых сообществ, которые можно использовать для оценки реакции этих сообществ на человеческую деятельность (Thornton and others, 2016; Gerdes and others, 2019).

1.4.2. Пространственно-временная изменчивость

Повторно проводимые съемки показывают, что сообщества на хребтах с медленным спредингом (Cuvelier and others, 2011) и в некоторых задуговых бассейнах (Du Preez and Fisher, 2018) могут оставаться стабильными на протяжении десятилетий. Это идет вразрез с парадигмой, которая выведена для хребтов с быстрым спредингом и согласно которой сообщества, приуроченные к гидротермальным постройкам, динамичны и выносливы к возмущениям. Источники геотермальной и геохимической энергии, питающие обе эти экосистемы, являются неоднородными и включают гибридные системы, которые встречаются на покрытых слоем отложений континентальных окраинах (Goffredi and others, 2017). Генетические и гидродинамические модели обнаруживают закономерности, которые определяют соединенность популяций и имеют критическую значимость в контексте управления освоением ресурсов морского дна (Mullineaux and others, 2018; Suzuki and others, 2018).

Рисунок I
Активные гидротермальные источники, холодные просачивания и зоны, объявленные в настоящее время охраняемыми морскими районами



Источники: Активные гидротермальные постройки указаны по InterRidge Vent Database (Beaulieu and Szafranski, 2020). Холодные просачивания указаны по данным из Biogeography of Deep-Water Chemosynthetic Ecosystems (ChEssBase, 2019) или по более свежим данным из других источников (Olu and others, 2010; Quattrini and others, 2015; Baumberger and others, 2018; Feng and others, 2018; Etiope and others, 2019; MacDonald and others, 2020). Охраняемые морские районы указаны по данным Всемирного центра мониторинга природоохраны Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП) и Международного союза охраны природы (МСОП) (United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre and International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 2019). Батиметрия взята с сайта www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/.

Примечание. Карта построена с помощью Q-GIS, version 2.18.20 (QGIS Development Team, 2018).

2. Экологические изменения за период после первой «Оценки состояния Мирового океана»

2.1. Изменения в общем состоянии

2.1.1. Побудители и нагрузки

Побудители изменений, затрагивающих гидротермальные источники и холодные просачивания, включают растущий экономический спрос на энергию, стратегические металлы и продовольствие (см. рисунок II). Спрос на ископаемое

топливо побуждает к разработке морских месторождений нефти и газа на глубинах более 1500 м (Cordes and others, 2016; см. приводимую ниже таблицу). На подводных горах, островных склонах, срединно-океанических хребтах и континентальных окраинах, где встречаются экосистемы, приуроченные к рассматриваемым источникам и просачиваниям, расширяется глубоководный

рыбный промысел. Экосистемы просачиваний на континентальных окраинах испытывают глубокое потепление, которому сопутствуют усиление диссоциации метаногидратов (James and others, 2016; Ruppel and Kessler, 2017), распространение гипоксии (Breitburg and others, 2018) и закисление океана (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019; см. приводимую ниже таблицу). К числу уязвимых организмов относятся хемосинтетические виды голобионтов, требующие особенно много кислорода (Childress and Girguis, 2011), и фауна, зависящая от карбонатных субстратов (Ramirez-Llodra and others, 2011; Levin and Le Bris, 2015; Sweetman and others, 2017; см. также рисунок II и приводимую ниже таблицу).

Развиваются разведка массивных сульфидов морского дна (Petersen and others, 2016) и испытание добычных технологий (Okamoto and others, 2019) (см. приводимую ниже таблицу). К 2018 году Международный орган по морскому дну выдал семь контрактов на разведку полиметаллических сульфидов в районах, расположенных за пределами национальной юрисдикции на определенных участках срединно-океанических хребтов в Атлантическом и Индийском океане, где есть активные и неактивные гидротермальные источники (гл. 18). Поступили также сообщения о присутствии гидротермальных экосистем в исключительных экономических зонах, охваченных лицензиями на разведку массивных сульфидов морского

Рисунок II

Обобщенное изображение подхода «побудители – нагрузки – состояние – воздействие – реакция» применительно к гидротермальным источникам и холодным просачиваниям

Ныне значимая (в глобальном масштабе):

- Потепление, диссоциация гидратов
- Дезоксигенация и закисление
- Траловый промысел
- Изменения в циркуляции океана

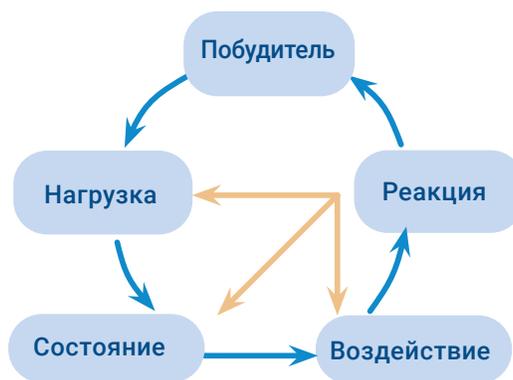
Небольшая/растущая:

- Поисковая деятельность и изучение воздействия
- Загрязнение (разливы нефти)
- Сброс отходов (от горных работ)

Потенциальные угрозы (будущие):

- Добыча полезных ископаемых
- Добыча биоресурсов
- Секвестрация CO₂ под морским дном

- Развитие промыслово-добывающих отраслей (горное дело, рыболовство, энергетика)
- Выбросы CO₂ и изменение климата
- Геотермальная энергия
- Климатическая геоинженерия (потенциально)



- Снижение выбросов CO₂
- Объявление охраняемых морских районов и управление ими
- Картирование морского дна и морское пространственное планирование
- Расширение знаний и ведение мониторинга
- Формирование потенциала и вовлечение общественности

- Утрата и дробление местообитаний
- Сокращение видовых популяций и способности к расселению
- Абиотические стрессоры, влияющие на экосистемную стабильность и функцию (закисление, дезоксигенация, потепление, мутность, гидродинамика)

- Утрата генетического разнообразия
- Утрата культурного наследия
- Утрата способности секвестрировать парниковые газы
- Утрата ареалов, в которых происходит нагул молоди облавливаемых видов
- Накапливание токсинов в организме коммерчески значимых видов
- Влияние на туризм

Примечание. Обобщение информации, представленной в разделах 2 и 3.

дна. Притом что объектом эксплуатации ресурсов могут становиться неактивные массивные сульфиды морского дна (гл. 18), определение понятия «неактивный» пока не устоялось, а биологические и экологические характеристики таких зон остаются недоизученными (Van Dover and others, 2019), в частности на участках, где из жерл гидротермальных источников выходят только рассеянные флюиды, что делает их незаметными в водной толще.

2.1.2. Статус изменений, связанных с нагрузками и потенциальными воздействиями

Поступали сообщения об изменениях в стратегии, о гидротермальных выбросах и о попол-

нении фауновых популяций вблизи буровых скважин (Nakajima and others, 2015), причем эти сообщения контрастируют с другим исследованием, посвященным экологическому воздействию (Copley and others, 1999). Предсказано разрушение объектов при тралении (Bowden and others, 2013); задокументировано воздействие сброса отходов от переработки руды на холодные просачивания (Samadi and others, 2015). Зафиксировано увеличение объемов пластикового мусора на участках таких просачиваний (Chiba and others, 2018); документально подтверждено распространение гипоксии, закисление и потепление в регионах, где есть просачивания и гидротермальные источники (IPCC, 2019).

3. Экономические и социальные последствия

3.1. Зонально привязанные инструменты хозяйствования

В исключительных экономических зонах Канады, Мексики, Португалии, Соединенных Штатов и Франции имеется восемь участков с гидротермальными источниками или холодными просачиваниями, которые охраняются национальным законодательством (см. приводимую ниже таблицу). Что касается районов за пределами национальной юрисдикции, то Комиссия OSPAR, учрежденная Конвенцией о защите морской среды Северо-Восточной Атлантики¹, квалифицировала «океанские хребты с гидротермальными источниками/полями» как угрожаемые и/или исчезающие местообитания, которые относятся к ее сети охраняемых морских районов в регионе V морской акватории, подведомственной Комиссии (Арктика и Северная Атлантика) (OSPAR Commission for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (OSPAR), 2014, 2018; см. таблицу в разделе 4).

Несколько гидротермальных полей назывались в качестве экологически и биологически значимых районов в рамках процесса, налаженного по линии Конвенции о биологическом разнообразии

(Dunn and others, 2014; Vax and others, 2016; см. приводимую ниже таблицу). Объявление района «экологически и биологически значимым» не является зонально привязанным инструментом хозяйствования, но предполагает поступление информации, которая может сыграть роль при принятии решений. Озвучивались рекомендации об объявлении холодных просачиваний экологически и биологически значимыми районами, но конкретно такой статус получили лишь немногие из них (см. таблицу ниже).

Местообитания, в которых располагаются хемосинтетические экосистемы, объявлялись особо охраняемыми районами по линии Конвенции 1995 года о защите морской среды и прибрежного региона Средиземноморья² (United Nations Environment Programme, Mediterranean Action Plan, 2017; см. таблицу ниже). Еще одним подходом к сохранению биоразнообразия является оценка, которая производится МСОП перед включением в Красный список и объектом которой стали гидротермальные источники в Индийском океане (Sigwart and others, 2019).

¹ United Nations, *Treaty Series*, vol. 2354, No. 42279.

² *Ibid.*, vol. 1102, No. 16908

В своей резолюции 71/123 от 7 декабря 2016 года об обеспечении устойчивого рыболовства Генеральная Ассамблея приветствовала действия государств, направленные на отказ от истощительной практики рыболовства, а также увеличение количества охраняемых гидротермальных источников (Menini and Van Dover, 2019; рисунок I; см. таблицу ниже). Следуя Международным руководящим принципам регулирования глубоководного промысла в открытом море (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2009), региональные рыбохозяйственные организации признают гидротермальные источники уязвимыми морскими экосистемами (FAO, 2016). Составление региональных планов экологического обустройства, осуществляемое Международным органом по морскому дну, может обеспечить защиту активных источников как районов, представляющих особый экологический интерес, однако задача осложняется скудостью данных (Dunn and others, 2018; гл. 27 настоящей «Оценки»).

3.2. Последствия для достижения целей в области устойчивого развития

Цель 14 в области устойчивого развития³ настаивает на сохранение и рациональное использование океанов и их ресурсов путем соблюдения норм международного права, закрепленных в Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву⁴. Достижение этой цели требует оценки кумулятивных нагрузок, создаваемых изменением климата и человеческой деятельностью для гидротермальных источников и холодных просачиваний (Levin and Le Bris, 2015). Это сопряжено с существенными инвестициями в наращивание потенциала, передачу технологий и осуществление разработок для глубоководных исследований (цель 4 вкрупне с задачей 4.b, касающейся передачи знаний и технологий развивающимся странам).

Общества «океанской грамотности» поощряют сохранение и рациональное использование океана, поддерживая партнерства с участием многих заинтересованных сторон и разъясняя населению значимость экосистем, приуроченных к гидротермальным источникам и холодным просачиваниям (задачи 17.16 и 17.17 целей в области устойчивого развития), посредством исследовательских экспедиций с видеоучастием, гражданско-научных инициатив, аналитических обзоров (например, по линии Deep-Ocean Stewardship Initiative) и просвещения.

Хемосинтетические экосистемы предоставляют «регулирующие экосистемные услуги» по смягчению последствий изменения климата, действуя как фильтры по отношению к выбросам природного метана и CO₂ (Thurber and others, 2014; James and others, 2016; цель 7 в области устойчивого развития). Развитие возобновляемой энергетики, которое способствует прогнозируемому дефициту надежных запасов определенных металлов, послужило стимулом к разведке глубоководных минеральных ресурсов. Если на гидротермальных источниках начнется добыча массивных сульфидов морского дна, возникнут коллизии с целью 14, так как станут происходить такие несовместимые с устойчивой рыболовной деятельностью процессы, как привнесение загрязнителей в трофическую цепь и деградация насущно необходимых местообитаний. Могут возникнуть издержки для биоразнообразия, биотехнологических инноваций и культурных ценностей (см. гл. 18; см. также разд. 2.1.1).

³ См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

⁴ United Nations, *Treaty Series*, vol. 1834, No. 31363.

4. Основные изменения и последствия (в региональной разбивке)

Возникающие угрозы и риски, а также природоохранные оценки и усилия, касающиеся гидротермальных источников и холодных просачиваний, за период с 2014 года

Бассейн	Разведка и разработка ресурсов	Риск усиления кумулятивных нагрузок (включая изменение климата)	Природоохранные оценки и усилия
Северный Ледовитый океан	<p>Разведка минеральных ресурсов на арктических хребтах</p> <p>Расширение разведки газовых месторождений</p> <p>Расширение рыбного промысла</p>	<p>Повышение темпов добычи в условиях отступления морских льдов, сочетающегося с потеплением (Sweetman and others, 2017), будет приводить к дестабилизации метаногидратов (James and others, 2016)</p>	<p>Исландия: компоненты гидротермальных источников 1 и 2 в Эйя-фьорде названы кандидатами на включение в сеть ОМР ОСПАР (OSPAR, 2018)</p>
Северная часть Атлантического океана	<p>Международный орган по морскому дну подписал три контракта (с Российской Федерацией в 2012 году, с Францией в 2014 году и с Польшей в 2018 году) на разведку в районе, где есть активные гидротермальные источники</p>	<p>Потепление и закисление абиссального/промежуточного водного слоя в Северной Атлантике (Gehlen and others, 2014)</p> <p>Последствия разнесения личинок в водной толще для соединенности популяций (FAO, 2018)</p>	<p>ИЭЗ Португалии: гидротермальные поля Менеш-Гуэн, Лаки-Страйк и Рейнбоу объявлены охраняемыми; имеются участки, входящие в сеть Natura 2000; действует Азорский морской парк</p> <p>ОМР «Срединно-Атлантический хребет к северу от открытых вод Азорских островов»: водная толща охраняется ОСПАР, морское дно и его недра охраняются Португалией (OSPAR, 2018)</p> <p>Испания: грязевые вулканы в Кадисском заливе объявлены в 2014 году «важным для Сообщества объектом» на основании Директивы Совета Европейского союза о сохранении природных местообитаний и дикой фауны и флоры</p> <p>ЮНЕП/Конвенция о биологическом разнообразии: гидротермальные поля Лост-Сити, Брокен-Спур и ТАГ объявлены ЭБЗР</p>
Средиземное море	<p>Расширение добычи природного газа на востоке и юго-западе Средиземного моря</p>	<p>Потепление промежуточного/глубинного водного слоя, дезоксигенация, снижение вентиляции абиссальных вод (Adloff and others, 2015)</p>	<p>Уязвимая морская экосистема, приуроченная к холодным углеводородным просачиваниям в дельте Нила, закрыта для рыболовного промысла (General Fisheries Commission for the Mediterranean of the Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018)</p>
Черное море		<p>Перемены в солёности усиливают дестабилизацию метаногидратов (Riboulot and others, 2018)</p> <p>Распространение анокии; угрозы для экосистем, приуроченных к холодным просачиваниям</p>	

Бассейн	Разведка и разработка ресурсов	Риск усиления кумулятивных нагрузок (включая изменение климата)	Природоохранные оценки и усилия
Южная часть Атлантического океана	Разведка и становление разработки глубоководных месторождений нефти и газа у побережья Бразилии (Almada and Bernardino, 2017)	Масштабная добыча нефти на континентальной окраине у побережья Бразилии, ограниченная изученность холодных просачиваний (Bernardino and Sumida, 2017)	
Мексиканский залив, Карибское море	Разведка и разработка глубоководных месторождений нефти и газа в Мексиканском заливе и у побережья Гайаны	Изменение климата и расширение «мертвых зон» из-за эвтрофикации сказываются на холодных просачиваниях, расположенных на промежуточных глубинах (Johnson and Purkey, 2009; Breitbart and others, 2018) Добыча нефти на юго-западе Карибского моря при ограниченной изученности тамошних просачиваний (Digby and others, 2016)	
Индийский океан	Международный орган по морскому дну выдал четыре контракта на разведку в районах на юге Западно-Индийского хребта (Китаю в 2011 году) и на Центральноиндийском хребте (Республике Корея в 2014 году, Германии в 2015 году и Индии в 2016 году), где есть активные гидротермальные источники	Чувствительность экосистем холодных просачиваний к региональному кислородному истощению на континентальной окраине Пакистана (Fischer and others, 2012)	Ведущийся МСОП Красный список видов, находящихся под угрозой исчезновения: вид <i>Chrysomallon squamiferum</i> признан исчезающим; подготовлены проекты оценок по видам, эндемичным для гидротермальных источников Индоокеанского региона (Sigwart and others, 2019)
Северная часть Тихого океана	Японская национальная корпорация по нефти, газу и металлам (JOGMEC) ведет пробную добычу МСМД на тропе Окинава (Okamoto and others, 2019) Южно-Китайское море: добычные испытания на газогидратах, приуроченных к холодным просачиваниям (Li and others, 2018)	Усиление нагрузок от траления, сочетающееся с тенденцией к океанскому потеплению, на северо-востоке Тихого океана Усиление риска диссоциации метаногидратов (Ruppel and Kessler, 2017; Hautala and others, 2014)	ИЭЗ Канады в Тихом океане: прибрежные гидротермальные поля объявлены «районом, представляющим интерес», а холодные просачивания – ЭБЗР (Fisheries and Oceans Canada, 2018) ИЭЗ Мексики: заповедник «Котловина Гуаймас и Восточно-Тихоокеанское поднятие» (в 2009 году объявлен ОМР, в 2014 году обнародован план обустройства), заповедник «Гидротермальные поля в котловине Гуаймас» (объявлен ЭБЗР в 2016 году), резерват «Мексиканская глубоководная тихоокеанская биосфера» (создан в 2018 году) Тихоокеанский рыбохозяйственный совет Соединенных Штатов объявил холодные просачивания насущно необходимым местообитанием для рыб (United States Pacific Fishery Management Council, 2019) Холодные просачивания на юго-западе Тайваньской котловины объявлены ЭБЗР

Бассейн	Разведка и разработка ресурсов	Риск усиления кумулятивных нагрузок (включая изменение климата)	Природоохранные оценки и усилия
Южная часть Тихого океана	Выданы лицензии на разведку МСМД в ИЭЗ стран, расположенных на юго-западе Тихого океана	На гидротермальные источники и холодные просачивания воздействуют отходы от горно-обогатительных работ на суше (Samadi and others, 2015)	ИЭЗ Новой Зеландии: 88 процентов активных гидротермальных источников являются ОМР Франция — ИЭЗ Новой Каледонии: в 2014 году создан ОМР «Коралловоморский природный парк», где имеются неглубоко залегающие источники и просачивания У нескольких островных государств действуют правила, регулирующие добычу полезных ископаемых, и природоохранная политика
Южный океан		Гидротермальные источники на хребте Ист-Скоша и холодные просачивания в Антарктике испытывают влияние потепления и изменений в циркуляции и углеродном потоке (Römer and others, 2014b)	Биологические виды, приуроченные к гидротермальным источникам и холодным просачиваниям, попали в руководство по классификации таксонов уязвимых морских экосистем, составленное в 2009 году Комиссией по сохранению морских живых ресурсов Антарктики

5. Перспективы

Условия и биота местообитаний, приуроченных к гидротермальным источникам и холодным просачиваниям, включая гидротермальные участки, где ведется разведка полезных ископаемых (например, в Индийском океане), остаются плохо задокументированными. Не описана биогеография просачиваний (Olu and others, 2010). Не выяснено влияние добычи массивных сульфидов морского дна на активные гидротермальные экосистемы и их периферию. К числу ожидаемых воздействий относятся появление шлейфов из взмученных отложений, высвобождение токсичных соединений, утрата местообитаний и нарушение соединенности метапопуляций (Dunn and others, 2018). Началась разработка моделей расселения личинок, и последние результаты указывают на ограниченность межрегиональной соединенности в таких областях, как западная часть Тихого океана (Mitarai and others, 2016). Кроме того, большая (до 200 лет) продолжительность жизни организмов, которые образуют фундамент экосистем, приуроченных к просачиваниям, позволяет предположить медленные темпы восстановления после возмущений (Fisher and others, 2016). Долгосрочными последствиями

могут оборачиваться также траловый промысел (см. разд. 2.1.2) и добыча ископаемого топлива (Amon and others, 2017). Отсутствие исходных данных по просачиваниям по-прежнему ограничивает способность прогнозировать выносимость у сообществ (Cordes and others, 2016).

Климатические возмущения сказываются на крупных регионах, где располагаются экосистемы гидротермальных источников и холодных просачиваний, не только в виде закисления океана, но и в виде кислородного истощения, а также изменений в потоке метана и гидродинамических условиях. Эти факторы, вероятно, взаимодействуют с ключевыми биологическими процессами, хотя о конкретных воздействиях пока не сообщалось. Ожидается, что проявлением прямого воздействия потепления на холодные просачивания будет диссоциация метаногидратов (Ruppel and Kessler, 2017). Изменения в верхних слоях водной толщи могут также повлиять на расселение пропагул, приуроченных к рассматриваемым источникам и просачиваниям (Yahagi and others, 2017; Mullineaux and others, 2018).

6. Основные сохраняющиеся пробелы в знаниях

Частота обнаружения новых биологических видов на гидротермальных участках остается высокой, что свидетельствует о недостаточной охваченности видового богатства пробоотбором (Thaler and Amon, 2019). Базы данных по хемосинтезирующей фауне (ChEssBase, 2019; Chapman and others, 2019) позволят проводить анализ в глобальном масштабе и использовать новые методы, такие как высокопроизводительное секвенирование экологической ДНК, а моделирование метасообществ поможет типизировать их соединенность (Chen and others, 2015; Breusing and others, 2016; Mullineaux and others, 2018).

Для выяснения того, как сообщества, приуроченные к гидротермальным источникам и холодным просачиваниям, реагируют на стрессоры, вызываемые изменением климата, совершенно необходимы долгосрочные экосистемные исследования (IPCC, 2019). Чтобы оценивать уязвимость к изменению климата, требуются натурные измерения физиологических реакций

и перемен в экосистемной функции. Пороги толерантности к климатическим стрессорам в основном не выяснены, особенно для видов, которые спокойно себя чувствуют на гипоксических участках периферии (Fischer and others, 2012).

Недостает количественных оценок, позволяющих говорить об объеме углерода, хранящемся в гидротермальных источниках и холодных просачиваниях, включая диапазоны и регуляторы их продуктивности (Marlow and others, 2014; Le Bris and others, 2019), равно как и о посреднической роли вирусов в экологии прокариот (Corinaldesi and others, 2012; Ortmann and Suttle, 2005). Требуются комплексные оценки участия гидротермальных излияний в биогеохимических циклах океана, чтобы проанализировать воздействие «закачки» железа на продуктивность поверхностных вод (Guieu and others, 2018; Ardyna and others, 2019).

7. Основные сохраняющиеся пробелы в формировании потенциала

Пробелы в потенциале сильнее проявляются у менее развитых стран, в частности малых островных развивающихся государств, у которых имеются ресурсы, извлекаемые из мест расположения гидротермальных источников и холодных просачиваний. В программах Межправительственной океанографической комиссии признается такая задача, как обучение новых исследователей глубоководной морской среды природоведческим дисциплинам (UNESCO-IOC, 2016). Проведение экологических оценок требует знакомства с фауной, а применение молекулярных инструментов — натурной вывер-

ки результатов. Моделирование экосистемных функций опирается на океанографические данные и на видовую инвентаризацию, которые помогают прогнозировать уязвимость и восстановление. Передача знаний включает формирование таксономического потенциала и разработку недорогих технологий для исследования и мониторинга морского глубоководья (Levin and others, 2019), а также для его картирования. Проработка и составление мониторинговых стратегий предполагает обучение ученых, молодых студентов и особенно женщин.

Справочная литература

- Adloff, Fanny, and others (2015). Mediterranean Sea response to climate change in an ensemble of twenty first century scenarios. *Climate Dynamics*, vol. 45, pp. 2775–2802.
- Almada, Gustavo Vaz de Mello Baez, and Angelo Fraga Bernardino (2017). Conservation of deep-sea ecosystems within offshore oil fields on the Brazilian margin, SW Atlantic. *Biological Conservation*, vol. 206, pp. 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.12.026>.

- Amon, Diva J., and others (2017). Characterization of methane-seep communities in a deep-sea area designated for oil and natural gas exploitation off Trinidad and Tobago. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 342.
- Andreassen, Karin, and others (2017). Massive blow-out craters formed by hydrate-controlled methane expulsion from the Arctic seafloor. *Science*, vol. 356, No. 6341, pp. 948–953.
- Ardyna, Mathieu, and others (2019). Hydrothermal vents trigger massive phytoplankton blooms in the Southern Ocean. *Nature Communications*, vol. 10, No. 1, pp. 1–8.
- Baker, Edward T., and others (2016). How many vent fields? New estimates of vent field populations on ocean ridges from precise mapping of hydrothermal discharge locations. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 449, pp. 186–196.
- Baker, Edward T., and others (2017). The effect of arc proximity on hydrothermal activity along spreading centers: new evidence from the Mariana Back Arc (12.7°N–18.3°N). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 18, No. 11, pp. 4211–4228.
- Beaulieu, Stace E., and Kamil M. Szafranski (2020). InterRidge Global Database of Active Submarine Hydrothermal Vent Fields Version 3.4. PANGAEA. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.917894>.
- Baumberger, Tamara, and others (2018). Mantle-derived helium and multiple methane sources in gas bubbles of cold seeps along the Cascadia Continental Margin. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 19, No. 11, pp. 4476–4486.
- Bax, Nicholas J., and others (2016). Results of efforts by the Convention on Biological Diversity to describe ecologically or biologically significant marine areas. *Conservation Biology*, vol. 30, No. 3, pp. 571–581.
- Bernardino, Angelo F., and Paulo Y.G. Sumida (2017). Deep risks from offshore development. *Science*, vol. 358, No. 6361, pp. 312–312.
- Boetius, Antje, and Frank Wenzhöfer (2013). Seafloor oxygen consumption fuelled by methane from cold seeps. *Nature Geoscience*, vol. 6, No. 9, pp. 725–734.
- Bowden, David A., and others (2013). Cold seep epifaunal communities on the Hikurangi Margin, New Zealand: composition, succession, and vulnerability to human activities. *PLoS One*, vol. 8, No. 10, e76869.
- Breitburg, Denise, and others (2018). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, vol. 359, No. 6371, eaam7240.
- Breusing, Corinna, and others (2016). Biophysical and population genetic models predict the presence of “phantom” stepping stones connecting Mid-Atlantic Ridge vent ecosystems. *Current Biology*, vol. 26, No. 17, pp. 2257–2267.
- Chapman, Abbie S.A., and others (2019). sFDvent: A global trait database for deep-sea hydrothermal-vent fauna. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 28, No. 11, pp. 1538–1551.
- Chapman, Abbie S.A., and others (2018). Both rare and common species make unique contributions to functional diversity in an ecosystem unaffected by human activities. *Diversity and Distributions*, vol. 24, No. 5, pp. 568–578.
- Chen, Chong, and others (2015). Low connectivity between “scaly-foot gastropod” (Mollusca: Peltospiridae) populations at hydrothermal vents on the Southwest Indian Ridge and the Central Indian Ridge. *Organisms Diversity & Evolution*, vol. 15, No. 4, pp. 663–670.
- ChEssBase (2019). <http://ipt.vliz.be/eurobis/resource?r=chessbase>.
- Chiba, Sanae, and others (2018). Human footprint in the abyss: 30 year records of deep-sea plastic debris. *Marine Policy*, vol. 96, pp. 204–212.

- Childress, J.J., and Peter R. Girguis (2011). The metabolic demands of endosymbiotic chemoautotrophic metabolism on host physiological capacities. *Journal of Experimental Biology*, vol. 214, No. 2, pp. 312–325.
- Colaço, Ana, and others (2006). Bioaccumulation of Hg, Cu, and Zn in the Azores triple junction hydrothermal vent fields food web. *Chemosphere*, vol. 65, No. 11, pp. 2260–2267.
- Copley, Jonathan T.P., and others (1999). Subannual temporal variation in faunal distributions at the TAG hydrothermal mound (26° N, Mid-Atlantic Ridge). *Marine Ecology*, vol. 20, Nos. 3–4, pp. 291–306.
- Copley, J.T., and others (2016). Ecology and biogeography of megafauna and macrofauna at the first known deep-sea hydrothermal vents on the ultraslow-spreading Southwest Indian Ridge. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 39158.
- Cordes, Erik E., and others (2016). Environmental impacts of the deep-water oil and gas industry: a review to guide management strategies. *Frontiers in Environmental Science*, vol. 4, art. 58.
- Cordes, Erik E., and others (2009). Macro-ecology of Gulf of Mexico cold seeps. *Annual Review of Marine Science*, vol. 1, pp. 143–168.
- Corinaldesi, Cinzia, and others (2012). Viral infections stimulate the metabolism and shape prokaryotic assemblages in submarine mud volcanoes. *The ISME Journal*, vol. 6, No. 6, pp. 1250–1259. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.185>.
- Cuvelier, Daphne, and others (2011). Community dynamics over 14 years at the Eiffel Tower hydrothermal edifice on the Mid-Atlantic Ridge. *Limnology and Oceanography*, vol. 56, No. 5, pp. 1624–1640.
- Di Carlo, Marta, and others (2017). Trace elements and arsenic speciation in tissues of tube dwelling polychaetes from hydrothermal vent ecosystems (East Pacific Rise): an ecological role as anti-predatory strategy? *Marine Environmental Research*, vol. 132, pp. 1–13.
- Digby, Adrian, and others (2016). Cold seeps associated with structured benthic communities: more accurate identification and evaluation using a new multibeam survey methodology in the offshore Southern Colombian Caribbean. *International Journal of Geosciences*, vol. 7, No. 5, pp. 761–774.
- Dubilier, Nicole, and others (2008). Symbiotic diversity in marine animals: the art of harnessing chemosynthesis. *Nature Reviews Microbiology*, vol. 6, No. 10, p. 725.
- Du Preez, Cherisse, and Charles R. Fisher (2018). Long-term stability of back-arc basin hydrothermal vents. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 54.
- Dunn, Daniel C., and others (2014). The Convention on Biological Diversity's ecologically or biologically significant areas: origins, development, and current status. *Marine Policy*, vol. 49, pp. 137–145.
- Dunn, Daniel C., and others (2018). A strategy for the conservation of biodiversity on mid-ocean ridges from deep-sea mining. *Science Advances*, vol. 4, No. 7.
- Etioppe, Giuseppe, and others (2019). Gridded maps of geological methane emissions and their isotopic signature. *Earth System Science Data*, vol. 11, pp. 1–22.
- Fisheries and Oceans Canada (DFO) (2018). *Assessment of Canadian Pacific Cold Seeps against Criteria for Determining Ecologically and Biologically Significant Areas*. DFO Canadian Science Advisory Secretariat. Science Response 2018/002.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009) = Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО) (2011). *Международные руководящие принципы регулирования глубоководного промысла в открытом море*. Рим.
- _____ (2016). *Vulnerable Marine Ecosystems: Processes and Practices in the High Seas*, Anthony Thompson and others, eds. Fisheries and Aquaculture Technical Paper 595. Rome.
- _____ (2018). *Deep-Ocean Climate Change Impacts on Habitat, Fish and Fisheries*, Lisa Levin, Maria Baker and Anthony Thompson, eds. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 638. Rome.

- Feng, Dong, and others (2018). Cold seep systems in the South China Sea: An overview. *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 168, pp. 3–16.
- Fischer, David, and others (2012). Interaction between hydrocarbon seepage, chemosynthetic communities, and bottom water redox at cold seeps of the Makran accretionary prism: insights from habitat-specific pore water sampling and modeling. *Biogeosciences*, vol. 9, No. 6, pp. 2013–2031.
- Fisher, Charles R., and others (2016). How Did the Deepwater Horizon Oil Spill Impact Deep-Sea Ecosystems?, *Oceanography*, vol. 29, No. 3, pp. 182–195.
- Gehlen, Marion, and others (2014). Projected pH reductions by 2100 might put deep North Atlantic biodiversity at risk. *Biogeosciences*, vol. 11, pp. 6955–6967.
- General Fisheries Commission for the Mediterranean of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (GFCM-FAO) (2018). *Forty-Second Session of the Commission. Final Report English (before editing)*. FAO Headquarters, Rome, Italy, 22–26 October 2018.
- Gerdes, Klaas, and others (2019). Detailed mapping of hydrothermal vent fauna: a 3D reconstruction approach based on video imagery. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 96.
- German, Christopher R., and others (2016). Hydrothermal impacts on trace element and isotope ocean biogeochemistry. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 374, No. 2081, 20160035.
- Goffredi, Shana K., and others (2017). Hydrothermal vent fields discovered in the southern Gulf of California clarify role of habitat in augmenting regional diversity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 284, No. 1859, 20170817.
- Gollner, Sabine, and others (2017). Resilience of benthic deep-sea fauna to mining activities. *Marine Environmental Research*, vol. 129, pp. 76–101.
- Govenar, Breea (2010). Shaping vent and seep communities: habitat provision and modification by foundation species. In *The Vent and Seep Biota*, pp. 403–432. Springer.
- Grupe, Benjamin M., and others (2015). Methane seep ecosystem functions and services from a recently discovered southern California seep. *Marine Ecology*, vol. 36, pp. 91–108.
- Guieu, Cécile, and others (2018). Iron from a submarine source impacts the productive layer of the Western Tropical South Pacific (WTSP). *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 9075.
- Hall-Spencer, Jason M., and others (2008). Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature*, vol. 454, No. 7200, pp. 96–99.
- Hautala, Susan L., and others (2014). Dissociation of Cascadia margin gas hydrates in response to contemporary ocean warming. *Geophysical Research Letters*, vol. 41, No. 23, pp. 8486–8494.
- Intergovernmental Oceanographic Commission of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO-IOC) (2016) = Межправительственная океанографическая комиссия Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (МОК ЮНЕСКО, 2016). *Стратегия МОК в области развития потенциала, 2015–2021*. Париж. IOC/INF-1332.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2019) = Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) (2019). *Океан и криосфера в условиях изменяющегося климата: специальный доклад МГЭИК: резюме для политиков*, под ред. Х.-О. Пёртнера и др.
- James, Rachael H., and others (2016). Effects of climate change on methane emissions from seafloor sediments in the Arctic Ocean: a review. *Limnology and Oceanography*, vol. 61, No. S1, pp. S283–S299.
- Johnson, Gregory C., and Sarah G. Purkey (2009). Deep Caribbean Sea warming. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 56, No. 5, pp. 827–834.
- Ketzer, Marcelo, and others (2019). Gas seeps at the edge of the gas hydrate stability zone on Brazil's continental margin. *Geosciences*, vol. 9, No. 5, art. 193.

- Le Bris, Nadine, and others (2019). Hydrothermal energy transfer and organic carbon production at the deep seafloor. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5.
- Levin, Lisa A., and others (2016). Hydrothermal vents and methane seeps: rethinking the sphere of influence. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 72.
- Levin, Lisa A., and others (2019). Global observing needs in the deep ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 241.
- Levin, Lisa A., and Myriam Sibuet (2012). Understanding continental margin biodiversity: a new imperative. *Annual Review of Marine Science*, vol. 4, pp. 79–112.
- Levin, Lisa A., and Nadine Le Bris (2015). The deep ocean under climate change. *Science*, vol. 350, No. 6262, pp. 766–768.
- Li, Jin-fa, and others (2018). The first offshore natural gas hydrate production test in South China Sea. *China Geology*, vol. 1, No. 1, pp. 5–16.
- Linse, Katrin, and others (2019). Fauna of the Kemp Caldera and its upper bathyal hydrothermal vents (South Sandwich Arc, Antarctica). *Royal Society Open Science*, vol. 6, No. 11, 191501.
- MacDonald, Ian R., and others (2020). The Asphalt Ecosystem of the Southern Gulf of Mexico: Abyssal Habitats Across Space and Time. In: *Scenarios and Responses to Future Deep Oil Spills*, pp. 132–146. Springer.
- Marques, Ana F., and others (2020). The Seven Sisters Hydrothermal System: first record of shallow hybrid mineralization hosted in mafic volcanoclasts on the Arctic mid-ocean ridge. *Minerals*, vol. 10, No. 5, art. 439. <https://doi.org/10.3390/min10050439>.
- Marlow, Jeffrey J., and others (2014). Carbonate-hosted methanotrophy represents an unrecognized methane sink in the deep sea. *Nature Communications*, vol. 5, art. 5094.
- Mazumdar, A., and others (2019). The first record of active methane (cold) seep ecosystem associated with shallow methane hydrate from the Indian EEZ. *Journal of Earth System Science*, vol. 128, No. 1, art. 18.
- Menini, Elisabetta, and Cindy Lee Van Dover (2019). An atlas of protected hydrothermal vents. *Marine Policy*, vol. 108, art. 103654.
- Mitarai, Satoshi, and others (2016). Quantifying dispersal from hydrothermal vent fields in the western Pacific Ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, No. 11, pp. 2976–2981.
- Moalic, Yann, and others (2012). Biogeography revisited with network theory: retracing the history of hydrothermal vent communities. *Systematic Biology*, vol. 61, No. 1, p. 127.
- Mullineaux, Lauren S., and others (2018). Exploring the ecology of deep-sea hydrothermal vents in a meta-community framework. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 49.
- Nakajima, Ryota, and others (2015). Post-drilling changes in seabed landscape and megabenthos in a deep-sea hydrothermal system, the Iheya North field, Okinawa Trough. *PLoS One*, vol. 10, No. 4, e0123095.
- Okamoto, Nobuyuki, and others (2019). World's first lifting test for seafloor massive sulphides in the Okinawa Trough in the EEZ of Japan. In *The 29th International Ocean and Polar Engineering Conference*. International Society of Offshore and Polar Engineers.
- Olu, Karine, and others (2010). Biogeography and potential exchanges among the Atlantic equatorial belt cold-seep faunas. *PloS One*, vol. 5, No. 8, e11967.
- Orcutt, Beth N., and others (2011). Microbial ecology of the dark ocean above, at, and below the seafloor. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, vol. 75, No. 2, pp. 361–422.
- Ortmann, Alice C., and Curtis A. Suttle (2005). High abundances of viruses in a deep-sea hydrothermal vent system indicates viral mediated microbial mortality. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 52, No. 8, pp. 1515–27. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2005.04.002>.

- OSPAR Commission for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (OSPAR) (2014). *Recommendation 2014/11 on Furthering the Protection and Conservation of Hydrothermal Vents/Fields Occurring on Oceanic Ridges in Region V of the OSPAR Maritime Area*. OSPAR 14/21/1, Annex 16.
- _____ (2018). *Status Report on the OSPAR Network of Marine Protected Areas*.
- Papot, Claire, and others (2017). Antagonistic evolution of an antibiotic and its molecular chaperone: how to maintain a vital ectosymbiosis in a highly fluctuating habitat. *Scientific Reports*, vol. 7, No. 1, art. 1454.
- Petersen, Sven, and others (2016). News from the seabed – geological characteristics and resource potential of deep-sea mineral resources. *Marine Policy*, vol. 70, pp. 175–187.
- QGIS Development Team (2018). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- Quattrini, Andrea M., and others (2015). Exploration of the canyon-incised continental margin of the northeastern United States reveals dynamic habitats and diverse communities. *PLoS One*, vol. 10, No. 10, e0139904.
- Ramirez-Llodra, Eva, and others (2011). Man and the last great wilderness: human impact on the deep sea. *PLoS One*, vol. 6, No. 8, e22588.
- Resing, Joseph A., and others (2015). Basin-scale transport of hydrothermal dissolved metals across the South Pacific Ocean. *Nature*, vol. 523, No. 7559, pp. 200–203.
- Riboulot, Vincent, and others (2018). Freshwater lake to salt-water sea causing widespread hydrate dissociation in the Black Sea. *Nature Communications*, vol. 9, No. 1, art. 117.
- Rogers, Alex D., and others (2012). The discovery of new deep-sea hydrothermal vent communities in the Southern Ocean and implications for biogeography. *PLoS Biology*, vol. 10, No. 1, e1001234.
- Römer, Miriam, and others (2014a). First evidence of widespread active methane seepage in the Southern Ocean, off the sub-Antarctic island of South Georgia. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 403, pp. 166–177.
- Römer, Miriam, and others (2014b). Methane fluxes and carbonate deposits at a cold seep area of the Central Nile Deep Sea Fan, Eastern Mediterranean Sea. *Marine Geology*, vol. 347, pp. 27–42.
- Rossi, Giulia S., and Verena Tunnicliffe (2017). Trade-offs in a high CO₂ habitat on a subsea volcano: condition and reproductive features of a bathymodioline mussel. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 574, pp. 49–64.
- Rubin-Blum, and others (2019). Genetic Evidence for Two Carbon Fixation Pathways (the Calvin-Benson-Bassham Cycle and the Reverse Tricarboxylic Acid Cycle) in Symbiotic and Free-Living Bacteria. *MSphere*, vol. 4, No. 1, e00394–18.
- Ruppel, Carolyn D., and John D. Kessler (2017). The interaction of climate change and methane hydrates. *Reviews of Geophysics*, vol. 55, No. 1, pp. 126–168.
- Samadi, Sarah, and others (2015). Patchiness of deep-sea communities in Papua New Guinea and potential susceptibility to anthropogenic disturbances illustrated by seep organisms. *Marine Ecology*, vol. 36, pp. 109–132.
- Scott, Kathleen M., and others (2018). Diversity in CO₂-concentrating mechanisms among chemolithoautotrophs from the genera *Hydrogenovibrio*, *Thiomicrohabdus*, and *Thiomicrospira*, ubiquitous in sulfidic habitats worldwide. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 85, No. 3.
- Seabrook, Sarah, and others (2019). Heterogeneity of methane seep biomes in the Northeast Pacific. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 150, pp. 195–209.
- Sigwart, Julia D., and others (2019). Red Listing can protect deep-sea biodiversity. *Nature Ecology & Evolution*, vol. 3, No. 8, p. 1134.

- Suzuki, Kenta, and others (2018). Mapping the resilience of chemosynthetic communities in hydrothermal vent fields. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 9364.
- Sweetman Andrew K., and others (2017). Major impacts of climate change on deep-sea benthic ecosystems. *Elementa Science of the Anthropocene*, vol. 5, No. 4, art. 203.
- Tagliabue, Alessandro, and Joseph Resing (2016). Impact of hydrothermalism on the ocean iron cycle. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 374, 20150291.
- Tasiemski, Aurélie, and others (2014). Characterization and function of the first antibiotic isolated from a vent organism: the extremophile metazoan *Alvinella pompejana*. *PLoS One*, vol. 9, No. 4, e95737.
- Thaler, Andrew D., and Diva Amon (2019). 262 Voyages Beneath the Sea: a global assessment of macro-and megafaunal biodiversity and research effort at deep-sea hydrothermal vents. *PeerJ*, vol. 7, e7397.
- Thornton, Blair, and others (2016). Biometric assessment of deep-sea vent megabenthic communities using multi-resolution 3D image reconstructions. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 116, pp. 200–219.
- Thurber, Andrew R., and others (2014). Ecosystem function and services provided by the deep sea. *Biogeosciences*, vol. 11, No. 14, pp. 3941–3963.
- Tunnicliffe, Verena, and others (2009). Survival of mussels in extremely acidic waters on a submarine volcano. *Nature Geoscience*, vol. 2, No. 5, p. 344.
- United Nations (2017a). Chapter 45: Hydrothermal vents and cold seeps. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- _____ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- United Nations Environment Programme, Mediterranean Action Plan (2017). *Draft Guidelines for Inventing and Monitoring of Dark Habitats*. UNEP(DEPI)/MED WG. 431/Inf.12. Nairobi: UNEP.
- United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre and International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (2019). Protected Planet: The World Database on Protected Areas, Cambridge, United Kingdom. www.protectedplanet.net.
- United States Pacific Fishery Management Council (2019). *Pacific Coast Groundfish Fishery Management Plan For The California, Oregon, And Washington Groundfish Fishery. Appendix B Part 2. Groundfish Essential Fish Habitat And Life History Descriptions, Habitat Use Database Description, and Habitat Suitability Probability Information*. www.pccouncil.org/wp-content/uploads/2019/06/Appendix-B2-FINAL-Am28.pdf.
- Van Dover, Cindy Lee (2019). Inactive sulfide ecosystems in the deep sea: a review. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 461.
- Vetriani, Costantino, and others (2005). Mercury adaptation among bacteria from a deep-sea hydrothermal vent. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 71, No. 1, pp. 220–226.
- Wankel, Scott D., and others (2011). Influence of subsurface biosphere on geochemical fluxes from diffuse hydrothermal fluids. *Nature Geoscience*, vol. 4, No. 7, p. 461.
- Watanabe, Hiromi, and others (2010). Japan: vents and seeps in close proximity. In *The Vent and Seep Biota*, pp. 379–401. Springer.
- Yahagi, Takuya, and others (2017). Do larvae from deep-sea hydrothermal vents disperse in surface waters? *Ecology*, vol. 98, No. 6, pp. 1524–1534.
- Zhou, Yadong, and others (2018). Characterization of vent fauna at three hydrothermal vent fields on the Southwest Indian Ridge: implications for biogeography and interannual dynamics on ultraslow-spreading ridges. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 137, pp. 1–12.

Глава 7Q

Саргассово море

Участники: Хауард С. Дж. Роу (координатор), Лоренс Келл, Брайан Лакхерст, Тэмми Уоррен и Дейвид Фристоун.

Ключевые тезисы

- Саргассово море — это район открытого моря, пользующийся международным признанием в качестве фундаментально важной части Мирового океана за свою роль в регулировании климата и свои уникальные экосистемы.
- В рамках программы BATS продолжается сбор наблюдательных данных, позволяющих делать выводы о воздействии климатических изменений на океан и лучше разбираться в океанских процессах. Продолжение этих фундаментальных долгосрочных исследований имеет существенное значение.
- Отмечаемые с 2011 года эпизоды массового цветения водорослей *Sargassum* и их выбрасывания на берег приходятся на вид *Sargassum natans*, являвшийся ранее редким. Эти эпизоды создают для региона крупные социально-экономические проблемы и могут отрицательно сказаться на уникальных океанских сообществах *Sargassum*.
- Результаты спутникового слежения за взрослыми особями и масштабной съемки личинок подчеркнули важность Саргассова моря как нерестилища для европейского (*Anguilla anguilla*) и американского (*Anguilla rostrata*) угрей. Более глубокое понимание экологии промысловых тунцовых и тунце-подобных видов и того обстоятельства, что данная акватория используется исчезающими и угрожаемыми видами, усиливает необходимость в экосистемно выверенном управлении рыболовством.
- Большинство изменений и угроз, включая изменение климата, перелов угрей, загрязнение пластиком и массовое цветение *Sargassum*, вызваны внешними побудителями. Эти растущие угрозы будут отрицательно сказываться на вкладе Саргассова моря в достижение цели 14 («сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития»), а значит, и других целей в области устойчивого развития¹.
- Возрастающая активность в Саргассовом море демонстрирует важность преодоления кумулятивных воздействий человеческой деятельности в открытом море.

1. Введение

Настоящая глава строится на знаниях о предыдущем базисном состоянии, описывавшемся в главе 50 первой «Оценки состояния Мирового океана» (United Nations, 2017), и о происшедших в этом состоянии сдвигах. Объяснению фундаментальных океанских процессов, включая важность микробов и эффекты климатических изменений, способствуют исследования с опорой на временные ряды океанографических данных, продолжаемые на базе Бермудского института наук об океане. Описывается прогресс в выяснении широко трактуемой экологии Саргассова моря, в частности: изучение водорослей *Sargassum*, их распространения, ассоциированной с ними фауны, а также фактического и потенциального воздействия их недавних цветений на прибрежные сообщества; текущие исследования

жизненного цикла европейского (*Anguilla anguilla*) и американского (*Anguilla rostrata*) угрей; более тесное ознакомление с биологией некоторых промысловых видов рыб и продолжение разработок в области экосистемного моделирования; реагирование на усилившиеся угрозы, вызываемые пластиковым загрязнением. В свете проходящей межправительственной конференции по международному юридически обязательному документу на базе Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву² о сохранении и устойчивом использовании морского биологического разнообразия в районах за пределами действия национальной юрисдикции разбираются текущие и недавние международные события, затрагивающие Саргассово море.

¹ См. резолюцию 70/1 Генеральной Ассамблеи.

² United Nations, *Treaty Series*, vol. 1834, No. 31363.

Исходное досье 2016 года содержало описание фоновой океанографии Саргассова моря, уникальной поверхностной экосистемы и сообществ, опирающихся на плавучие скопления двух видов *Sargassum*, а также их роли в качестве мест, где кормятся и подрастают рыбы, молодые особи черепах и морские птицы. Многие животные мигрируют через Саргассово море, а многие мигрируют в него для размножения. Это единственное известное нерестилище европейского (*Anguilla anguilla*) и американского (*Anguilla rostrata*) угрей. Многие виды, населяющие Саргассово море, являются исчезающими или угрожаемыми и занесены в качестве таковых в Красный список видов, находящихся под угрозой исчезновения, который ведется Международным союзом охраны природы, Конвенцию о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения³, и Протокол об особо охраняемых районах и дикой природе к Конвенции о защите и освоении морской среды Большого Карибского региона⁴ (Laffoley and others, 2011). Сжато излагаются

угрозы, экономическая ценность и меры по сохранению.

Притом что произошли изменения и сдвиги, отражающиеся на исходном досье, Саргассово море остается фундаментально важной частью Мирового океана в силу тесного переплетения таких факторов, как физическая океанография этого моря, его экосистемы и его роль в процессах глобального масштаба, происходящих в океанской и вообще земной системе. Оно вносит значительный вклад в местную и глобальную экономику как напрямую (промысел далеко мигрирующих видов, в том числе европейского и американского угрей, наличие коралловых рифов, туры «посмотреть на китов» и «черепаховый туризм»), так и опосредованно, благодаря своей роли в регулировании климата, сохранении генетического разнообразия и круговороте питательных веществ (Laffoley and others, 2011; Pendleton and others, 2015). С другой стороны, Саргассово море также угрожают изменение климата, загрязнение, усиление рыболовной активности и интенсификация судоходства.

2. Изменения в состоянии

2.1. Временные ряды океанографических данных

Сохраняющаяся важность долгосрочных временных рядов океанографических данных для понимания изменчивости океана и океанских процессов получила подтверждение как на местном уровне в виде результатов, получаемых с объекта Hydrostation S и в рамках программы BATS (Bermuda Atlantic Time-series Study; «Бермудское исследование атлантических временных рядов»), так и на глобальном уровне благодаря многочисленным обзорам (Neuer and others, 2017; O'Brien and others, 2017). Программа BATS располагает одними из немногих временных рядов океанографических данных, которые начали записываться достаточно давно, чтобы антропогенные изменения можно было отличить от естественной изменчивости (Henson and others, 2016). О размахе исследований с исполь-

зованием этих данных сжато рассказывается на веб-сайте BATS⁵.

2.2. *Sargassum*

В исходном досье описывалась роль двух видов, а именно *Sargassum natans* и *Sargassum fluitans*, в первую очередь из-за их важности как обиталища специализированных сообществ животных и как места, где происходит подрастание и кормление особей. Расширение знаний об этих сообществах имеет значение для будущих природоохранных мер. Различия между сообществами имеют как временной, так и пространственный характер. Хаффард и др. (Huffard and others, 2014) обнаружили существенную изменчивость не только за 40-летний период, но и в образцах, взятых с разницей в один год. Причины неизвестны, но фактором сокращения численности обызвествленных эпибионтов, таких как

³ Ibid., vol. 993, No. 14537.

⁴ Ibid., vol. 2180, No.25974.

⁵ URL: <http://bats.bios.edu>.

мшанки, может являться повышение кислотности океана. У широко рассеянных саргассовых креветок *Latreutes fucorum* наблюдается внутривидовая изменчивость на молекулярном уровне, и есть мнение, что меры по сохранению таких видов должны охватывать крупные площади или предусматривать сеть охраняемых районов (Sehein and others, 2014).

После того как в 2011 году произошло массовое выбрасывание тысяч тонн *Sargassum* на пляжи в Карибском бассейне и Мексиканском заливе, а также на побережья Западной Африки и Южной Америки, были предприняты значительные усилия по выявлению цветений, их причин и их перемещений с помощью спутникового отслеживания, моделирования, прямого пробоотбора в море и сочетаний из различных методов (Schell and others, 2015; Franks and others, 2016; Djakouré and others, 2017; Brooks and others, 2018; Putnam and others, 2018). Шелл и др. (Schell and others, 2015) установили, что в цветениях участвует ранее редкая форма *Sargassum*: *S. natans* VIII. Позднее этот вывод был подтвержден генетическими исследованиями (Amaral-Zettler and others, 2017). *S. natans* VIII была описана Парром (Parr, 1939) по образцам из Карибского бассейна, но после этого о данной разновидности в основном забыли. Морфологически она отличается как от *S. fluitans*, так и от *S. natans*, а обитающие в ее зарослях сообщества животных не являются крупными, что, в свою очередь, делает такие заросли менее привлекательными для рыб, черепах и морских птиц, которые осуществляют нагул на матах *Sargassum* или под ними (Martin, 2016). Таким образом, изменения в типе или распространении *Sargassum* могут повлиять на разнообразие и численность других организмов. Распространению различных видов и форм *Sargassum* свойственны как пространственные, так и временные различия. При этом считается, что *S. natans* VIII сдерживается температурным фактором, поскольку эта водоросль наиболее распространена в теплых водах к югу от Саргассова моря и Карибского моря. Дальше к северу она встречается редко, но с 2016 года ее обнаруживают у берегов Бермудских островов (Clover, 2017). Пока что цветения не сказались на Саргассовом море напрямую, но это вполне может произойти из-за сокращения сообществ *Sargassum* и из-за того, что цветения препятствуют успеш-

ному гнездованию черепах на пострадавших пляжах в разных местах Карибского моря.

Цветения начинаются к югу от Саргассова моря, в североэкваториальной рециркуляционной области, и оттуда переносятся в Карибский бассейн (Johnson and others, 2013; Franks and others, 2016; Djakouré and others, 2017; Putnam and others, 2018). С 2011 года, когда такие цветения наблюдались впервые, они стали ежегодными. Сообщается также, что на морском дне под североэкваториальной рециркуляционной областью, в разломной зоне Вима, замечены большие количества мертвых водорослей *Sargassum*, опустившихся туда с поверхности, и что они могут потенциально служить источником пищи для глубоководных бентических экосистем (Baker and others, 2018). Причины цветений, которые являются в настоящее время предметом исследований, могут включать модификации, вызываемые изменением климата, например повышение температуры и перемены в океанских течениях, рост количества питательных веществ, поступающих из рек Конго, Ориноко и особенно Амазонка, экваториальный апвеллинг и занос пыли из Сахары (Djakouré and others, 2017). Вопрос заключается в том, вызван ли режимный сдвиг в тропической и субтропической Атлантике прежде всего человеческой деятельностью. Действует проект *Sargassum Watch System*: различные мониторинговые спутники поставляют информацию, позволяющую оповещать население об очагах цветения и предупреждать его о потенциальных эпизодах выбрасывания водорослей на берег (Hu and others, 2016).

2.3. Рыбы

Повысилась важность Саргассова моря для европейского и американского угрей. Уже было известно, что личинки обоих видов встречаются на юго-западе Саргассова моря вблизи сезонной области субтропической конвергенции (Munk and others, 2010; Miller and others, 2015). С помощью спутникового мечения у европейских угрей была отслежена миграция из европейских рек вплоть до Азорских островов (Righton and others, 2016), а у американских угрей — из Канады в Саргассово море (Béguier-Pons and others, 2015). В более недавний период было зафиксировано, что европейские угри нерестятся в 2000-километровой полосе на юге Саргассова моря, в районе, огра-

ничаваемом температурными фронтами (Miller and others, 2019). Размеры нерестовой зоны могут объясняться разным временем начала миграций, разной плавательной способностью или дрейфом личинок в океанских течениях. Степень пополнения промысловых популяций у обоих видов резко упала, и это падение сопровождается сокращением количества угревых личинок в Саргассовом море (Hanel and others, 2014). Изменение климата, повышение морских температур, перемены в океанских течениях и Североатлантическое колебание – всё это в потенциале отрицательно влияет на морскую стадию жизненного цикла угрей (Miller and others, 2016).

Новая информация о пищевых сетях и нерестилищах тунцовых и тунцепоподобных видов, подведомственных Международной комиссии по сохранению атлантических тунцов, подтвердила важность Саргассова моря в обеспечении мест для обитания, кормления и нереста, а также миграционных коридоров для этих видов (Luckhurst, 2015a; Luckhurst and Arocha, 2016; Anonymous, 2016). Организация по рыболовству в северо-западной части Атлантического океана приняла меры для защиты подводных гор на севере Саргассова моря, закрыв эту акваторию для донного траления до 2020 года (Northwest Atlantic Fisheries Organization (NAFO), 2015).

Несмотря на сокращение общемировых уловов и относительной численности основных промысловых пелагических видов, мощности глобального рыболовного флота продолжали увеличиваться (Rousseau and others, 2019). У Комиссии не удалось получить пространственных оценок промыслового усилия в Саргассовом море. В отсутствие таких данных за индикатор динамики интенсивности промысла там была взята доля в уловах основных рыбных видов, подведомственных Комиссии (в тех границах, которые определены Комиссией для соответствующих рыбных запасов).

На рисунке ниже показаны выкладки Лакхерста (Luckhurst, 2015b; в этой работе проанализированы уловы основных подведомственных Комиссии видов с 1992 по 2011 год), обновленные с учетом самых последних данных об уловах, сообщенных Комиссией⁶. Эти данные охва-

тывают период по 2017 год включительно; более свежих данных не имеется из-за задержек с подачей отчетов в Комиссию и их обработкой ею. В рассматриваемом регионе вылавливается до 12 процентов североатлантического длинноперого тунца и до 10 процентов западноатлантического синего тунца. Уловы тропических тунцов (большеглазый, желтоперый и полосатый тунцы), меч-рыбы и парусниковых (парусник, голубой марлин и белый копыносец) – меньше, но всё же значительны. Видно, что доля уловов, происходящих из Саргассова моря, со временем существенно изменяется. Возможно, это вызвано сменой объекта промысла у судов, ведущих ярусный промысел, но данные о промысловом усилии, которые позволили бы оценить это заключение, у Комиссии получить не удалось. Ярусный промысел был выбран по причине экологической важности видов, попадающих в прилов: парусниковых, акул, морских птиц и морских черепах. Чтобы осуществить переход к экосистемно выверенному управлению рыболовством в Саргассовом море, важно будет выяснить, как промысловое усилие пространственно соотносится с поведением непромысловых видов в таких его проявлениях, как миграционные маршруты, стайность и использование местообитаний всеми видами, имеющими к ним доступ (Kell and Luckhurst, 2018; Boerder and others, 2019).

2.4. Пластиковое загрязнение

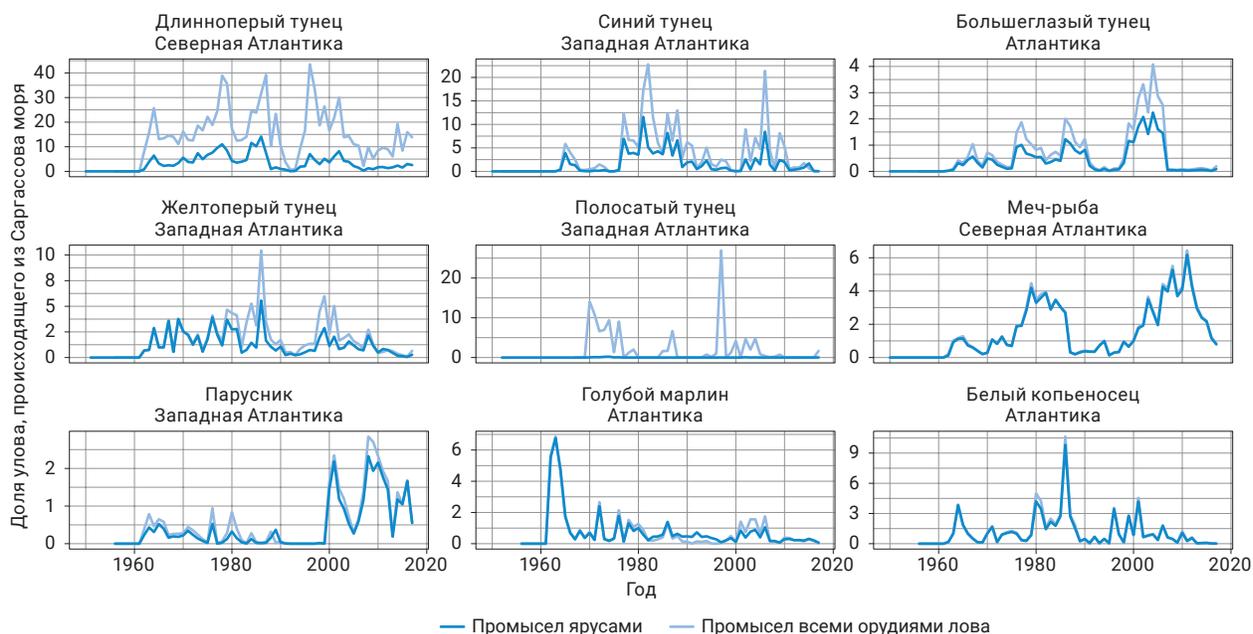
Пластиковое загрязнение в Саргассовом море было впервые замечено в 1972 году (Carpenter and Smith, 1972). Обнаружилось, что концентрации микропластика на поверхности Саргассова моря на несколько порядков выше фиксированных ранее и что наибольшая концентрация приходится на зону субтропической конвергенции (Law and others, 2010). Накопление поверхностных частиц в этой зоне было предсказано моделями, которые применялись с целью сорентировать пробоотбор в ходе экспедиции «7-й континент» в 2014 году. Было подсчитано, что в Северо-Атлантическом субтропическом круговом течении, т. е. в Саргассовом море, насчитывалось в 2014 году около 56 000 т плавающего пластика (Eriksen and others, 2014). Сегодня эта цифра, по-видимому, выше. Проведены обшир-

⁶ См. www.iccat.int/en/accesingdb.html.

ные обзоры пластикового загрязнения и его последствий для Мирового океана и круговых океанских течений (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, 2014, 2016; Law, 2017; Eriksen and others, 2016). Не так давно в лабораторных экспериментах было обнаружено неблагоприятное воздействие веществ, выщелачиваемых из пластика, на фотосинтезирующую бактерию *Prochlorococcus* (Tetu and others, 2019). *Prochlorococcus* производит до 20 процентов атмосферного кислорода.

Если результаты подтвердятся в натуральных условиях, это будет означать, что пластиковое загрязнение представляет угрозу для глобального производства кислорода морскими бактериями. О неблагоприятных воздействиях, описанных в различных обзорах, справедливо будет говорить и применительно к Саргассову морю, причем, поскольку концентрирующие эффекты от кругового океанского течения и субтропической конвергенции загоняют пластик внутрь матов *Sargassum*, это море является особенно уязвимым.

Временные ряды, показывающие долю уловов вообще и уловов от ярусного промысла, происходящих из Саргассовоморского региона



Источник: Данные взяты из базы данных Международной комиссии по сохранению атлантических тунцов, посвященной размерному составу уловов (CATDIS).

3. Институциональные механизмы

Один из основных вызовов, стоящих перед Саргассовым морем, — юридический. Саргассово море расположено в открытых водах, т. е. на тех 50 процентах территории планеты, которые находятся за пределами национальной юрисдикции (Freestone, 2015). Ответом на этот вызов стало принятое пятью странами в 2014 году решение подписать Гамильтонскую декларацию о сотрудничестве в целях сохранения Саргассова моря и создать Саргассовоморскую комиссию, которая станет действовать в качестве «блю-

стителя» этой экстраординарной акватории (Freestone and Morrison, 2014). С тех пор к ним присоединились еще пять стран, и за ними могут последовать другие (Sargasso Sea Commission, 2018).

Саргассовоморская комиссия основана на новой парадигме: добиваться сохранения районов за пределами национальной юрисдикции, вовлекая заинтересованные круги из разных стран и организаций в работу над вопросами, выходящими за рамки национальных повесток

дня. Стороны Конвенции о биологическом разнообразии⁷ договорились включить Саргассово море в список экологически или биологически значимых районов (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2012). Исходя из этого, Организация по рыболовству в северо-западной части Атлантического океана согласовала в 2015 году природоохранные меры, объявив мораторий на донное траление на подводных горах Саргассова моря в районе, подведомственном Организации, и введя ограничения на орудия лова, предназначенные для траления в средних слоях воды (NAFO, 2015; Diz, 2016).

Комиссия работает над защитой Саргассова моря вместе с рядом стран и партнеров. В сотрудничестве с секретариатом и государствами ареала, участвующими в Конвенции по сохра-

нению мигрирующих видов диких животных⁸, Комиссия занимается защитой миграционного пути европейского угря через Саргассово море. Кроме того, она изучает способы регулирования воздействий, возникающих из-за функционирования судов, и сотрудничества с Международной комиссией по сохранению атлантических тунцов в том, чтобы использовать Саргассово море как площадку для пилотного проекта, посвященного экосистемному подходу к управлению рыболовством (Kell and Luckhurst, 2018), а также работает с Национальным управлением Соединенных Штатов по авионавигации и исследованию космического пространства, которое занимается комплексным охватом Саргассовоморского региона спутниковой съемкой.

4. Последствия изменений

Описанные выше изменения вызваны в основном внешними побудителями. В глобальном масштабе изменение климата влияет на температуру, кислотность и циркуляцию океана, что вызывает экосистемные изменения как у водорослей *Sargassum* и зависимых от них сообществ, так и у пелагических и бентических сообществ, живущих на больших глубинах. Эти эффекты способны отрицательно сказаться на нересте, на нагуле личинок и на миграциях угрей и других рыб. Одновременно с общим потеплением Мирового океана происходит учащение глобальных эпизодов морской жары, которые негативно отражаются на биоразнообразии и угрожают нарушить экосистемные услуги в некоторых океанских районах (Smale and others, 2019). Южная часть Саргассова моря признана существенно затронутой зоной. Большая часть загрязнения, в том числе загрязнения пластиком, происходит с суши и заносится в Саргассово море океанскими течениями. Популяции угрей страдают от перелова в исключительных экономических зонах и национальных водах. При этом на пресноводной стадии своей жизни они тоже подвергаются различным угрозам, включая загрязнители и препятствия, создаваемые плотинами и гидроэлектростанциями (Hanel and others, 2019).

В одном из докладов программы Nereus, налаженной Фондом «Ниппон» (Nippon Foundation-Nereus Programme, 2015), резюмируются воздействия глобальных экологических изменений на океаны, прогнозы будущего состояния промыслов и управленческие вопросы, а в еще одном ее докладе (Nippon Foundation-Nereus Programme, 2017) — относящиеся к океану темы, связанные с целями устойчивого развития. Мониторинг изменений в температуре и химии океана и понимание воздействия этих изменений на экосистемы напрямую связаны с целью 13 в области устойчивого развития («борьба с изменением климата») и с целью 14. Ныне действующие в акватории Бермудских островов станции, занимающиеся формированием временных рядов, играют центральную роль в этом глобальном мониторинге (Neuer and others, 2017). Массовые выбрасывания *Sargassum* на пляжи вызывают широкомасштабные социально-экономические проблемы для местных сообществ, отрицательно сказываясь на туризме, рыболовстве и здоровье и убивая биоту, включая черепах и рыб. Затраты на очистку пляжей исчисляются миллионами долларов, и затронутые страны разрабатывают хозяйственные планы и технологии для минимизации воздействий и отыскания потенциаль-

⁷ United Nations, *Treaty Series*, vol. 1760, No. 30619.

⁸ *Ibid.*, vol. 2061, No. 28395.

ных способов утилизации *Sargassum* (Milledge and Harvey, 2016; Wabnitz and others, 2019). Цветения водорослей непосредственно влияют на достижение всех целей в области устойчивого развития, поскольку масштабно сказываются как на людях, так и на местной и океанской экологии. Американский и европейский угри являются ценным объектом промысла во многих странах по обе стороны Атлантики, равно как и прибыльным объектом аквакультуры в Азии, но в последние годы популяции обоих видов резко сократились (Hanel and others, 2019; Atlantic States Marine Fisheries Commission, 2018). Причин много и они разные, но вызываемые этим экологические и социально-экономические изменения тоже будут влиять на достижение всех целей в области устойчивого развития.

Изменения в трофических сетях, вызванные потеплением океана и повышенной кислотностью, могут существенно повлиять на популяции высших хищников, таких как далеко мигрирующие

тунцы и меч-рыбы (Fernandes and others, 2013). Изменения, вызванные ослаблением опрокидывающей циркуляции в Атлантическом океане, способны привести к сдвигам в распространении видов (Caesar and others, 2018). Потепление, закисление и дезоксигенация океана могут, сочетаясь с другими стрессами, изменить первичную продуктивность, рост и распределение рыбных популяций (Barange and others, 2018). Это будет, в свою очередь, приводить к изменениям в потенциальном вылове эксплуатируемых морских видов и в соответствующих экономических и социальных благах, которые они предоставляют (Gattuso and others, 2015). Далее, эти воздействия скажутся на достижении всех целей в области устойчивого развития. Наконец, вполне задокументированы фактические и потенциальные воздействия, которые вызываются увеличением количества пластика в океане (например, Beaumont and others, 2019), и они тоже будут влиять на достижение всех этих целей.

5. Перспективы

Как кратко-, так и долгосрочные перспективы Саргассова моря зависят от международных решений, приоритетов и сотрудничества. Важность Саргассова моря признана на международном уровне, и, поскольку оно является частью открытого моря, его защита относится к компетенции ряда организаций. В силу своей удаленности и размера Саргассово море остается по меркам открытого океана относительно нетронутым, несмотря на концентрирующее действие его круговых течений. Однако его целостности угрожают как описанные выше, так и другие изменения, в том числе возрастание за последние три года

промысловой активности примерно 28 стран, которая была оценена с использованием данных автоматической системы опознавания судов (Sargasso Sea Commission, 2019), и интенсификация судового движения через Саргассово-морский регион. Становление деятельности по глубоководной добыче полезных ископаемых на участках, примыкающих к Саргассову морю, порождает новые угрозы (Dunn and others, 2018). Саргассово море демонстрирует проблемы, с которыми существующие секторальные органы сталкиваются в деле целостного управления экосистемой открытого моря.

Справочная литература

- Amaral-Zettler, Linda A., and others (2017). Comparative mitochondrial and chloroplast genomics of a genetically distinct form of *Sargassum* contributing to recent “Golden Tides” in the Western Atlantic. *Ecology and Evolution*, vol. 7, No. 2, pp. 516–525.
- Anonymous (2016). An assessment of the ecological importance of the Sargasso Sea to tuna and tuna-like species and ecologically associated species. *ICCAT Collective Volume of Scientific Papers*, vol. 72, No. 28, pp. 2007–2015.
- Atlantic States Marine Fisheries Commission (2018). American Eel. www.asmfc.org/species/american-eel.

- Baker, Philip, and others (2018). Potential contribution of surface-dwelling *Sargassum* algae to deep-sea ecosystems in the southern North Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 148, pp. 21–34.
- Barange, Manuel, and others (2018). Impacts of climate change on fisheries and aquaculture. *Synthesis of Current Knowledge, Adaptation and Mitigation Options*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Beaumont, Nicola J., and others (2019). Global ecological, social and economic impacts of marine plastic. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 142, pp. 189–195.
- Béguier-Pon, Mélanie, and others (2015). Direct observations of American eels migrating across the continental shelf to the Sargasso Sea. *Nature Communications*, vol. 6, art. 8705.
- Bermuda Atlantic Time-series Study (BATS) (n.d.). Accessed 8 November 2019. <http://bats.bios.edu>.
- Boerder, Kristina, and others (2019). Not all who wander are lost: improving spatial protection for large pelagic fishes. *Marine Policy*, vol. 105, pp. 80–90.
- Brooks, Maureen T., and others (2018). Factors controlling the seasonal distribution of pelagic *Sargassum*. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 599, pp. 1–18.
- Caesar, Levke, and others (2018). Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature*, vol. 556, No. 7700, p. 191.
- Carpenter, Edward J., and K.L. Smith (1972). Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science*, vol. 175, No. 4027, pp. 1240–1241.
- Clover, Charles (2017). *Sargassum* is weird stuff – and it gets weirder. Blue Marine Foundation. 16 May 2017. www.bluemarinefoundation.com/2017/05/16/sargassum-is-weird-stuff-and-it-gets-weirder.
- Diz, Daniela (2016). The Sargasso Sea. *International Journal of Marine and Coastal Law*, vol. 31, No. 2, pp. 359–370.
- Djakouré, Sandrine, and others (2017). On the potential causes of the recent Pelagic *Sargassum* blooms events in the tropical North Atlantic Ocean. *Biogeosciences*.
- Dunn, Daniel C., and others (2018). A strategy for the conservation of biodiversity on mid-ocean ridges from deep-sea mining. *Science Advances*, vol. 4, No. 7, eaar4313.
- Eriksen, Marcus, and others (2014). Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PLoS One*, vol. 9, No.12, e111913.
- Eriksen, Marcus, and others (2016). Nature of plastic marine pollution in the subtropical gyres. In *Hazardous Chemicals Associated with Plastics in the Marine Environment*, pp. 135–162. Springer.
- Fernandes, Jose A., and others (2013). Modelling the effects of climate change on the distribution and production of marine fishes: accounting for trophic interactions in a dynamic bioclimate envelope model. *Global Change Biology*, vol. 19, No. 8, pp. 2596–2607.
- Franks, James S., and others (2016). Pelagic *Sargassum* in the tropical North Atlantic. *Gulf and Caribbean Research*, vol. 27, No. 1, pp. SC6–SC11.
- Freestone, David (2015). Governance of Areas Beyond National Jurisdiction: An Unfinished Agenda of the 1982 Convention. *UNCLOS At 30*.
- Freestone, David, and Kate Killerlain Morrison (2014). The signing of the Hamilton Declaration on Collaboration for the Conservation of the Sargasso Sea: a new paradigm for high seas conservation? *International Journal of Marine and Coastal Law*, vol. 29, pp. 345–362.
- Gattuso, J.-P., and others (2015). Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios. *Science*, vol. 349, No. 6243, aac4722.
- Hanel, Reinhold, and others (2014). Low larval abundance in the Sargasso Sea: new evidence about reduced recruitment of the Atlantic eels. *Naturwissenschaften*, vol. 101, No. 12, pp. 1041–1054.

- Hanel, Reinhold, and others (2019). *Research for PECH Committee – Environmental, Social and Economic Sustainability of European Eel Management*. Brussels: European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies.
- Henson, Stephanie A., and others (2016). Observing climate change trends in ocean biogeochemistry: when and where. *Global Change Biology*, vol. 22, No. 4, pp. 1561–1571.
- Hu, Chuanmin, and others (2016). *Sargassum* watch warns of incoming seaweed. *Eos*, vol. 97, pp. 10–15.
- Huffard, C.L., and others (2014). Pelagic *Sargassum* community change over a 40-year period: temporal and spatial variability. *Marine Biology*, vol. 161, No. 12, pp. 2735–2751.
- International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT). Access to ICCAT Statistical Databases. www.iccat.int/en/accesingdb.htm.
- Johnson, Donald R., and others (2013). The *Sargassum* Invasion of the Eastern Caribbean and Dynamics of the Equatorial North Atlantic; pp. 102–103 in Proceedings of the 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute Conference, 5–9 November 2012. Gulf and Caribbean Fisheries Institute, Santa Marta, Colombia.
- Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP) (2014). *Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment*. GESAMP Reports and Studies 90.
- _____ (2016). *Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment*. GESAMP Reports and Studies 93.
- Kell, L., and B.E. Luckhurst (2018). Extending the indicator-based Ecosystem Report Card to the whole ecosystem; a preliminary example based on the Sargasso Sea. *ICCAT Collective Volume of Scientific Papers*, vol. 75, No. 67, pp. 258–275.
- Laffoley, D.d’A., and others (2011). The Protection and Management of the Sargasso Sea. Sargasso Sea Alliance.
- Law, Kara Lavender, and others (2010). Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre. *Science*, vol. 329, No. 5996, pp. 1185–1188.
- Law, K.L. (2017). Plastics in the Marine Environment. *Annual Review of Marine Science*, vol. 9, No. 1, pp. 205–229. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010816-060409>.
- Luckhurst, B.E., and Freddy Arocha (2016). Evidence of spawning in the southern Sargasso Sea of fish species managed by ICCAT – albacore tuna, swordfish and white marlin. *Collection Volume of Scientific Papers ICCAT*, vol. 72, No. 8, pp. 1949–1969.
- Luckhurst, Brian E. (2015a). A preliminary food web of the pelagic environment of the Sargasso Sea with a focus on the fish species of interest to ICCAT. *Collected Volume of Scientific Papers, International Commission for the Conservation of Atlantic Tuna*, vol. 71, pp. 2913–2932.
- Luckhurst, Brian E. (2015b) Analysis of ICCAT reported catches of tuna and swordfish in the Sargasso Sea (1992–2011). *Collected Volume of Scientific Papers, International Commission for the Conservation of Atlantic Tuna*, vol. 71, pp. 2900–2912.
- Martin, Lindsay Margaret (2016). Pelagic *Sargassum* and Its Associated Mobile Fauna in the Caribbean, Gulf of Mexico, and Sargasso Sea. PhD Thesis. Texas A & M University.
- Milledge, John J., and Patricia J. Harvey (2016). Golden tides: problem or golden opportunity? The valorisation of *Sargassum* from beach inundations. *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 4, No. 3, art. 60.
- Miller, Michael J., and others (2015). A century of research on the larval distributions of the Atlantic eels: a re-examination of the data. *Biological Reviews*, vol. 90, No. 4, pp. 1035–1064.
- Miller, Michael J., and others (2016). Did a “perfect storm” of oceanic changes and continental anthropogenic impacts cause northern hemisphere anguillid recruitment reductions? *ICES Journal of Marine Science*, vol. 73, No. 1, pp. 43–56.

- Miller, Michael J., and others (2019). Spawning by the European eel across 2000 km of the Sargasso Sea. *Biology Letters*, vol. 15, No. 4, 20180835.
- Munk, Peter, and others (2010). Oceanic fronts in the Sargasso Sea control the early life and drift of Atlantic eels. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 277, No. 1700, pp. 3593–3599.
- Neuer, Susanne, and others (2017). Monitoring Ocean Change in the 21st Century. *Eos*, vol. 98. <https://eos.org/features/monitoring-ocean-change-in-the-21st-century>.
- Nippon Foundation-Nereus Programme (2015). *Predicting Future Oceans : Climate Change, Oceans & Fisheries*.
_____ (2017). *Oceans and the Sustainable Development Goals: Co-Benefits, Climate Change & Social Equity*.
- Northwest Atlantic Fisheries Organization (NAFO) (2015). Report of the Fisheries Commission and its Subsidiary Body (STACTIC), 37th Annual Meeting of NAFO, 21–25 September 2015, Halifax, Canada. NAFO/FC Doc. 15/23.
- O'Brien, T.D., and others (2017). *What Are Marine Ecological Time Series Telling Us about the Ocean? A Status Report*. IOC-UNESCO. IOC Technical Series 129.
- Parr, Albert Eide (1939). Quantitative observations on the pelagic *Sargassum* vegetation of the western North Atlantic with preliminary discussion of morphology and relationships. *Bulletin of the Bingham Oceanographic Collection*, vol. 7, pp. 1–94.
- Pendleton, L., and others (2015). *Assessing the economic contribution of marine and coastal ecosystem services in the Sargasso Sea*. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, Report NI R 14-05. Durham, North Carolina, United States: Duke University.
- Putnam, Nathan F., and others (2018). Simulating transport pathways of pelagic *Sargassum* from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea. *Progress in Oceanography*, vol. 165, pp. 205–214.
- Righton, David, and others (2016). Empirical observations of the spawning migration of European eels: the long and dangerous road to the Sargasso Sea. *Science Advances*, vol. 2, No. 10, e1501694.
- Rousseau, Yannick, and others (2019). Evolution of global marine fishing fleets and the response of fished resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, No. 25, pp. 12238–12243.
- Sargasso Sea Commission (2018). www.sargassoseacommission.org/about-the-commission/hamilton-declaration.
- Sargasso Sea Commission (2019). www.sargassoseacommission.org/storage/Strengthening_Stewardship_of_the_Sargasso_Sea.pdf.
- Schell, Jeffrey M., and others (2015). Recent *Sargassum* inundation events in the Caribbean: shipboard observations reveal dominance of a previously rare form. *Oceanography*, vol. 28, No. 3, pp. 8–11.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2012) = Конвенция о биологическом разнообразии (2012). Доклад о работе одиннадцатого совещания Конференции сторон Конвенции о биологическом разнообразии (UNEP/CBD/CoP/11/35).
- Sehein, Taylor, and others (2014). Connectivity in the slender *Sargassum* shrimp (*Latreutes fucorum*): implications for a Sargasso Sea protected area. *Journal of Plankton Research*, vol. 36, No. 6, pp. 1408–1412.
- Smale, Dan A., and others (2019). Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change*, vol. 9, No. 4, p. 306.
- Tetu, Sasha G., and others (2019). Plastic leachates impair growth and oxygen production in *Prochlorococcus*, the ocean's most abundant photosynthetic bacteria. *Communications Biology*, vol. 2, No. 1, art. 184.
- United Nations (2017). Chapter 50: Sargasso Sea. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wabnitz, Colette, and others (2019). The *Sargassum* Mass-Bloom of 2018. *Nereus Program - The Nippon Foundation* (blog). <https://nereusprogram.org/works/the-sargassum-mass-bloom-of-2018>.

