

АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ МИРОВОГО ОКЕАНА В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Э. А. Исмаилова

*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36,
e-mail: ismailova.e.a@campus.mse-msu.ru*

В настоящем исследовании представлен обзор влияния климатических колебаний на потенциальные изменения объемов биологических ресурсов Мирового океана. Описано состояние рыбных биологических ресурсов в основных акваториях рыбодобычи и рассмотрена роль биологических ресурсов в экономике крупных макрорегионов и отдельных стран. Определены социально-экономические риски, которые могут возникнуть вследствие сокращения доступности биологических ресурсов из-за климатических изменений. Показаны климатические тренды и их влияние на состояние биологических ресурсов Мирового океана в долгосрочной перспективе. Отмечены макрорегионы (акватории) Мирового океана с высоким риском сокращения биологических ресурсов. К ним относятся прибрежные воды западной части Южной Америки, моря Юго-Восточной Азии, западное побережье Африки. Среди выгодоприобретателей климатических изменений выделяются Северо-Восток Тихого океана (Охотское и Берингово моря) акватории Северного Ледовитого океана (Баренцево, Карское, Чукотское моря). Сформулированы основные направления политики адаптации хозяйственной деятельности государств с целью смягчения последствий климатических рисков для экономики и биологической системы океана. Для акваторий, приближенных к экватору, целесообразно введение регуляторных норм, направленных на постепенное снижение незаконной рыбодобычи и одновременное наращивание аквакультурного выращивания рыбы.

Ключевые слова: биологические ресурсы, океан, климатические изменения, аквакультура, рыбодобыча, Эль-Ниньо

Введение

Значимой и актуальной проблемой современного состояния биологических ресурсов океанов, их доступности и воспроизводства в целях последующего хозяйственного использования становятся глобальные климатические изменения в мире. Вследствие их воздействия изменяются: температура воды, кислотно-щелочной баланс (pH), соленость воды и ее циркуляция (Clark et al., 2003; Rose, 2005; Cheung et al., 2009; Pinsky et al., 2013). Все эти факторы оказывают существенное влияние на биологические ресурсы океанов. Оценки показывают, что сокращения размеров тела экзотермических видов, вызванные изменением температурного режима воды, были в 10 раз больше в водных экосистемах, чем в наземных экосистемах (Forster et al., 2012). Такая

высокая уязвимость к изменениям окружающей среды приводит к неопределенному будущему для биологического разнообразия, и в первую очередь рыбной популяции, а также для глобального рыболовства (Free et al., 2019; Comte et al., 2017).

Реакция популяции рыб на колебания климата в океане включает биологические последствия в виде изменения роста и фенологии (Murdoch, Power, 2013; Ding et al., 2016; Tao et al., 2018), изменения ареала обитания (Perry et al., 2005; Yan et al., 2011; Vuorinen et al., 2015), или вымирания определенных видов в конкретной географической точке (Xenopoulos et al., 2005; Tedesco et al., 2013). Прямым наблюдаемым следствием изменения температуры воздуха и воды является абсолютный рост рыбы в популяциях (Brander, 1995; Heather et al., 2018; Gamperl et al., 2019). Вторым существенным фактором считаем изменения в жизненном цикле планктона и бентоса, которые являются питательной средой для рыбы, что влияет на скорость и динамику роста рыбных популяций, а также ареал их обитания. Снижение доступности и разнообразия планктона и бентоса в устоявшихся ареалах обитания рыбных ресурсов вынуждает рыбу мигрировать в другие локации в поисках пищи (Thackeray et al., 2013; Tao et al., 2015; Pörtner, Farrell, 2008; Prokešova et al., 2020).

Еще одна значимая проблема влияния глобальных климатических изменений на состояние биоресурсов Мирового океана – это долгосрочные и экстремальные периодические повышения температуры воды. В работе (Gamito et al., 2015) на модельном уровне показано, что в основных «рыбных» регионах мира (биологические ресурсы моря составляют значимую часть хозяйственной деятельности и играют важную роль): западное побережье Африки, восточное и западное побережья США, Юго-Восточная Азия, Восточно-Африканское побережье, побережье Индии, побережье Западной Европы, эти явления в долгосрочной перспективе будут проявляться более часто. Как следствие, наблюдается сокращение планктона и фитопланктона на 25 % – 50 % и снижение потенциала промышленной продуктивности биологических ресурсов на 4 % (Cheung et al., 2021).

Однозначного достоверного прогноза состояния биологических ресурсов и их конфигурации в Мировом океане, вследствие глобальных климатических изменений, пока не существует. Согласно оценкам экспертов МГЭИК, с высокой степенью достоверности установлено негативное влияние повышения температуры воды на биоразнообразие, изменение ареалов обитания рыбных ресурсов, ввиду их миграции на более комфортные территории, и возникающие в результате потенциальные риски для хозяйственной деятельности значительного количества прибрежных государств, отраслевых комплексов, связанных с рыбной ловлей и переработкой, а также населения, которое является потребителем биологических ресурсов (IPCC, 2022). Однозначно установлено постепенное смещение ареалов обитания существующих биологических видов в сторону полярных и приполярных областей из центральных частей Мирового океана. Однако полного понимания такого перераспределения не существует, из-за взаимовлияния климатических и экономических аспектов проблемы¹.

¹ В данном случае подразумевается неясность того, что первично – эксплуатация биологических ресурсов в экономических целях или климатический фактор. И будет ли играть роль, к примеру, полная остановка вылова.

Экспертные оценки не предлагают четких механизмов регулирования изменения океанического биологического потенциала. Большинство предложений, сформулированных в VI оценочном докладе МГЭИК (IPCC, 2022), фокусируются на ограничительном регулировании, квотировании и иных запретительных инструментах, помогающих поддерживать численность биологических ресурсов океана. В этой связи актуальным представляется вопрос рассмотрения потенциальных биоэкономических рисков глобальных климатических изменений для существующих ареалов обитания основных биоресурсов, оценка потенциальных изменений в акваториях добычи биологических ресурсов и перспектив адаптации и смягчения негативных последствий этих явлений для социальной и экономической сферы государств, учитывая уровень возникающих угроз.

Обзор состояния мировых рыбных ресурсов в условиях климатических изменений

Океан всегда являлся одним из важнейших компонентов хозяйственной деятельности человека. Исторически люди располагали свои поселения на побережье морей и океанов, которые представляли им удобные логистические возможности и доступные биологические ресурсы для питания. 37 % населения Мира проживает в прибрежных областях на удалении 100 км от побережья. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной программы ООН в 2021 г. вылов основных биологических ресурсов (рыба, ракообразные, моллюски) в Мировом океане составил 91.2 млн т, увеличившись с 1980 г. на 36 % (FAO, 2024). В непосредственной добыче биологических ресурсов Мирового океана и в рыбной промышленности занято свыше 60 млн человек, а в бедных странах рыбной ловлей занимается около половины женского населения. В целом в индустрии, связанной с освоением биологических ресурсов океана, занято 620–880 млн человек, что примерно составляет около 12 % населения земного шара (Lam et al., 2016). Для 2.9 млрд человек рыба составляет около 20 % белкового рациона, а для прибрежных территорий и островных государств это значение увеличивается в 1.5 раза (FAO, 2020). Биологические ресурсы составляют значительную часть рациона питания жителей прибрежных территорий (сводные данные представлены в таблице 1).

Анализ данных, представленных в таблице 1, показывает, что биологические ресурсы (рыба и различные моллюсковые и иные обитатели вод) составляют значимую часть питания и в целом хозяйственной деятельности в азиатских странах. В среднем жители азиатских стран потребляют биологических ресурсов океана больше, чем в остальных регионах мира. Занятость в сфере рыбодобычи в Азии в абсолютных цифрах занимает первое место в мире. То есть для азиатских стран любые изменения в доступности и возможности получать биологические ресурсы океана имеют важное значение с точки зрения продовольственной (социальной) безопасности и экономики. В других регионах мира эффект для продовольственной (социальной) безопасности проявляется в первую очередь в островных

государствах Тихого океана в силу специфики доступности продовольственных ресурсов в целом (производство продуктов питания на внутреннем рынке ограничено из-за недостатка земли), Исландии, Норвегии и Испании. При этом любые изменения, обусловленные климатическими факторами, менее значимы для европейских государств в силу развитости экономики и экономических возможностей замещения потенциальных потерь. К примеру, Испания импортирует примерно в 1.5 раза больше, чем производит, и отправляет в качестве реэкспорта. В Перу, Чили значения рыбодобычи определяются экономикой. Практически до 90 % вылова рыбы отправляется на экспорт, а основным покупателем являются США, которые импортируют около 30 млн т ежегодно.

Табл. 1 – Экономика биологических ресурсов океана в 2021 г.

Страны	Добыча биологических ресурсов (т)	Потребление в кг на душу населения в год	Занятость в рыбодобыче (чел.)	рыболовецкий Флот (единиц)
Мир	91 190 689	20.5	30 118 051	н/д
Европа, в том числе крупнейшие страны:	13483992	21.7		
Россия	5 160 239	21.7		1 534
Норвегия	2 395 709	50.7	10 852	5 633
Исландия	1 040 020	90	3 478	1 980
Дания	1007107	23.1	3079	2 117
Испания	805 930	40.4	32 106	8 731
Азия, в том числе крупнейшие страны:	46 634 204	24.5		
КНР	13055136	59	1 212 667	520 845
Индия	4991560	8.1	7 913 049	193 587
Индонезия	7149512	45.1	2 925 818	625 708
Япония	3088990	44.7	111 208	200 759
Вьетнам	3540250	40.2	954 293	34 563
Филиппины	1839224	28.9	1 904 638	739 493
Таиланд	1412123	28.8	65 276	72 290
Бангладеш	1982483	26.6	1 746 428	67 908
Африка, в том числе крупнейшие страны:	10 358 357	10		
Ангола	528964	14.2	94 800	12 653
Марокко	1411771	18.7	122 903	20 372
Нигерия	805210	8.8	735 657	286 832
Египет	425769	26.2	96 078	27 191
Гана	392762	24.6	253 826	11 943
Намибия	410849	11.7	19 046	67
Танзания	476419	7.1	224 868	33 755
ЮАР	485002	6.6	17 027	1 780

Продолжение табл. 1

Страны	Добыча биологических ресурсов (т)	Потребление в кг на душу населения в год	Занятость в рыбодобыче (чел.)	рыболовецкий Флот (единиц)
Америка, в том числе страны:	19 199 869	14.8		
Аргентина	852566	6.9	20 186	5 172
Чили	1995212	14.8	32 608	13 294
Эквадор	863619	6.7	7 438	11 778
Перу	6526680	27.2	92 306	1 667
США	4275417	22.5	159 475	75 231
Канада	1620563	20.9	48 583	17 882
Океания, в том числе:	1 477 738	23.2	н/д	н/д
Австралия	168899	24.8	н/д	275
Карибати	191166	77.1	н/д	н/д
Микронезия	166184	48.9	н/д	н/д
Новая Зеландия	342379	25.7	2 600	1 011
Науру	120409	45.5	н/д	н/д

Источник: составлено автором по данным FAO. 2024. Fishery and Aquaculture Statistics – Yearbook 2021. FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc9523en>

Глобальная экономико-климатическая проблема биологических ресурсов Мирового океана в контексте глобальных климатических изменений состоит в том, что по прогнозным оценкам МГЭИК в среднесрочной и долгосрочной перспективах изменение текущих климатических показателей Мирового океана (кислотность, солевой баланс, температура) приведут к постепенному сокращению биологических ресурсов в местах основного вылова и последующей миграции существующих видов в ареалы комфортного обитания (IPCC, 2021). В прогнозе рыбной добычи на период до 2032 г. отчета Продовольственной программы ООН за 2024 г. отмечается, что есть мировой тренд на фактическую стагнацию промышленного вылова биологических ресурсов (FAO, 2024). Согласно представленным данным, совокупный рост промышленного рыболовства в основных регионах мира составит за период 2024–2032 гг. около 3 %, что фактически означает стагнацию добычи. Весь основной прирост рыбных ресурсов в социально-экономических целях (питание) будет достигаться за счет увеличения аквакультуры и промысла. Баланс между двумя видами рыбного производства указан на рисунке 1.

В названном выше отчете прямо указывается, что одной из проблем прогнозируемой стагнации рыбной добычи является следствие недостатка биологических ресурсов, вызванное климатическим факторами (FAO, 2024). В частности, в водах Южной Америки (Перу, Чили, Эквадор) ожидается сокращение вылова, связанного с явлением Эль-Ниньо (аномальное потепление поверхностных вод в Тихом океане), примерно на 2 % ежегодно. Эта атмосферно-климатическая аномалия является относительно регулярным явлением с существенным влиянием на состояние биологических

ресурсов океана. Ретроспективный анализ за период 1950–2024 гг. показывает, что наиболее значительные риски географически локализуются возле западного побережья Южной Америки, на западе Индийского океана и возле Австралии (рисунок 2).



Рис. 1 – Прогноз производства (аквакультура) и добычи биологических ресурсов
Источник: составлено автором по данным FAO. 2024. Fishery and Aquaculture Statistics – Yearbook 2021. FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc9523en>

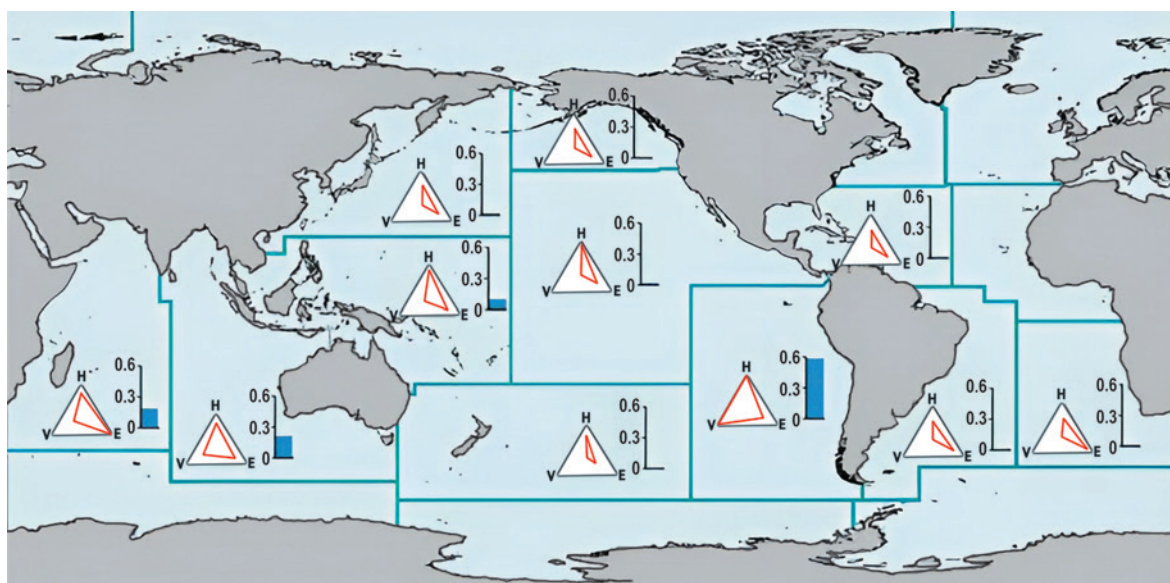


Рис. 2 – Риск и влияние Эль-Ниньо на основные рыбодобывающие акватории мира (диаграммы показывают: Риск (синяя полоса), который является произведением опасности Н (потенциальная возможность Эль-Ниньо вызывать негативные последствия); Е (подверженность – количество негативных последствий явления для рыболовства в конкретной акватории; V – степень воздействия (оценивается среднее сокращение вылова)
Источник: адаптировано автором из FAO. 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>

Небольшой рост добычи будет обусловлен следующими обстоятельствами: качественное институциональное управление биологическими ресурсами (квоты, лицензии); увеличение добычи в регионах с новым рыбным потенциалом (возможный климатический фактор); технологическая модернизация оборудования для промышленного вылова (Баканев, 2017).

Влияние климатических трендов на биологические ресурсы океана

Значительное количество приведенных выше исследований показывает, что климатические изменения существенным образом влияют на биоразнообразие и распространение биологических ресурсов в океане. Изменение температуры воды, кислотный баланс, концентрация соли, углекислого газа и кислорода меняют привычную среду обитания биологических видов. Эти явления происходят повсеместно, однако в каких-то региональных акваториях такие изменения явно выражены в виде сокращения популяций, которое отражает снижение продуктивности океана, в других – наблюдается обратный эффект повышения продуктивности за счет миграции новых видов и расширения ареала обитания. Все зависит от конкретной географической точки. К примеру, минтай и треска мигрируют к северу по мере увеличения температуры океана в ареалах их обитания (Mills et al., 2023). Изменение температуры также влияет на репродуктивность популяций. Полосатый окунь начинают нереститься раньше. Это означает, что пик вылова может наступить раньше, чем обычно (Pershing et al., 2018). Миграция биологических ресурсов вследствие климатических колебаний подразумевает изменение регуляторных правил, а также экономики промышленного вылова. В VI оценочном докладе МГЭИК в общем виде сформулировано постепенное сокращение биологического разнообразия и популяций основных видов водных биологических ресурсов в тропических широтах планеты, при одновременном росте в арктических и приарктических областях (IPCC, 2022).

Прогнозные оценки экономических значений отрасли на период до 2050 г. показывают, что в большинстве акваторий Мирового океана, за исключением приарктической и арктической областей, ожидается снижение добычи биологических ресурсов (Lam et al., 2016) (рисунок 3). Причем вариации по углеродным сценариям RCP 2.5 и RCP 8.5 отличаются всего лишь степенью «глубины» снижения.

Согласно представленным на рисунке 3 данным, к 2050 г. предполагается повсеместное сокращение объемов вылова, за исключением Арктики, а также отдельных точек ближе к антарктическому побережью. Наибольшая угроза как раз наблюдается в Юго-Восточной Азии, побережье Перу, Западной Африки – то есть в тех регионах, где добыча биологических ресурсов является ключевым видом хозяйственной деятельности, напрямую влияющим на потребности людей в пище и работе.

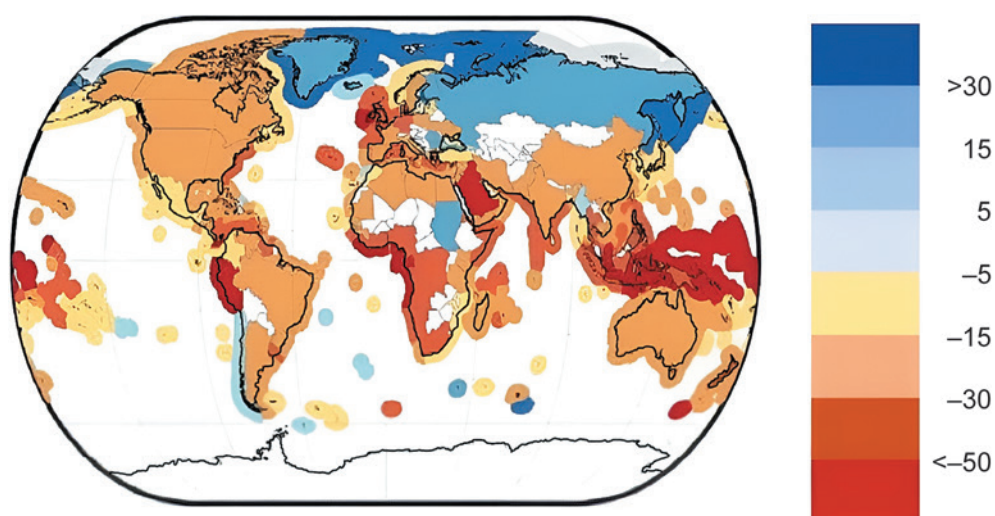


Рис. 3 – Изменение максимального вылова биологических ресурсов к 2050 г. (в %)

Источник: адаптировано автором из Lam, V. W. Y. et al. Projected change in global fisheries revenues under climate change. *Sci. Rep.* 6, 32607; <https://doi.org/10.1038/srep32607> (2016)

Более комплексный прогноз, затрагивающий температурный сдвиг в Мировом океане, изменения биомассы и возможные последствия для вылова биологических ресурсов, представлен в работе (Cheung et al., 2021). В целом результаты моделирования аналогичны предыдущим с единственным отличием в том, что в качестве базы изменений определен % от сокращения биологических ресурсов и изменения потенциала вылова в долгосрочном периоде (подразумеваются исключительно биологические факторы, вне влияния экономических факторов). На рисунке 4 (а, б, в) представлены соответствующие данные.

Согласно прогнозным оценкам, в тех же самых акваториях юго-восточной Азии, западно-африканского и западно-американского побережий, с ростом температуры воды происходит сокращение биомассы до 25 %, а также потенциальное сокращение вылова на 4 %. В целом результаты обоих исследований во многом похожи. Сокращение максимального вылова до 50 % в первом случае почти соответствует сокращению во втором случае, учитывая, что вылов всегда соответствует какой-то доле всей биомассы в океане.

Таким образом, в среднесрочной и долгосрочной перспективах имеются две важные задачи, от решения которых зависит устойчивость как самой биологической системы океана, так и жизни людей. Первая – это сохранение обеспеченности стран биологическими ресурсами на приемлемом уровне, который не отличается от текущих норм потребления. Второй – обеспечение рационального сохранения биологических ресурсов как минимум на текущих уровнях. Эти задачи тесно связаны с приоритетами политики адаптации государств Мира и океанических акваторий возле этих государств к климатическим изменениям.

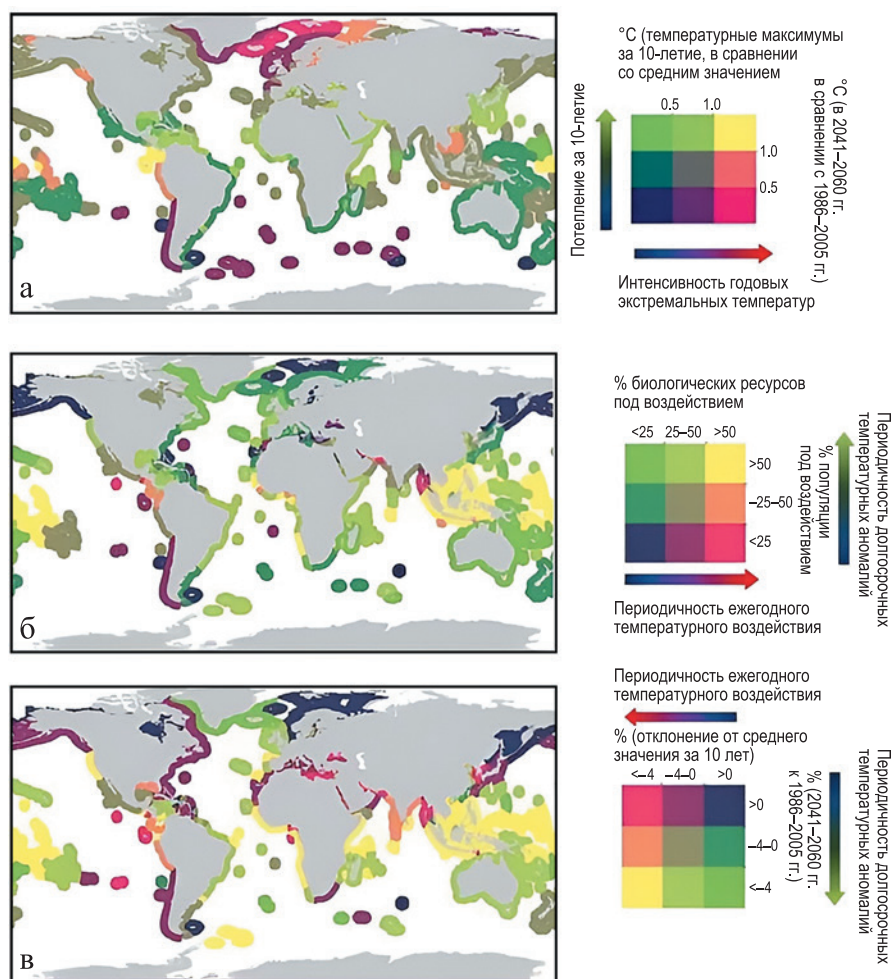


Рис. 4 – Прогнозируемые изменения интенсивности высокой температуры, среднего потепления поверхности моря за десятилетие и их влияния на биологические ресурсы в долгосрочной перспективе (2041–2060 гг. по отношению к 1986–2005 гг.):

а – увеличение температуры; **б** – сокращение объемов биологических ресурсов в %;

в – максимальный потенциал вылова в %

Источник: адаптировано автором из работы W. W. L. Cheung, T. L. Frölicher, V. W. Y. Lam, M. A. Oyinlola, G. Reygondeau, U. R. Sumaila, T. C. Tai, L. C. L. Teh, C. C. C. Wabnitz, Marine high temperature extremes amplify the impacts of climate change on fish and fisheries. Sci. Adv. 7; <https://doi.org/10.1126/sciadv.abh0895> (2021)

Приоритеты адаптации и смягчения последствий климатических изменений на состояние биологических ресурсов Мирового океана

Одной из значимых проблем состояния биологических ресурсов Мирового океана с учетом происходящих климатических изменений является выработка адекватных мер адаптации и смягчения негативных последствий. В настоящем обзоре показано, что имеется ряд негативных тенденций, которые в среднесрочной и долгосрочной перспективах могут привести к сокращению популяции биологических ресурсов в отдельных основных зонах промышленного вылова, что приведет к снижению объемов

вылова и последующему дефициту в этих акваториях. С другой стороны, есть отдельные акватории, где наоборот климатические изменения могут иметь положительный эффект в виде увеличения популяции биологических ресурсов.

Негативный аспект климатических изменений имеет две разнонаправленные тенденции, решение которых будет иметь первостепенное значение для устойчивости биологической системы Мирового океана и хозяйственной деятельности человека. Первая – показывает, что под влиянием негативных климатических факторов (увеличение температуры воды, водно-солевой и кислотный баланс) происходит постепенное сокращение популяции биологических ресурсов в местах их традиционного расселения как из-за неблагоприятных условий обитания, так и из-за снижения запасов пищевых ресурсов (планктона). Это в свою очередь способствует миграции биологических ресурсов в ареалы более комфортного обитания, где климатические характеристики более соответствуют текущим условиям обитания. Вторая тенденция – социально-экономическая, обусловленная общим ростом количества населения и повышением его доходов. С увеличением населения возрастает и общее потребление биологических ресурсов в силу естественной биологической потребности человека в насыщении организма базовыми белками и углеводами. В свою очередь, рост доходов определяет смещение потребительских предпочтений в сторону увеличения потребления более качественных продуктов с более ценными питательными свойствами. Соответственно происходит общий рост потребления биологических ресурсов океана при одновременном сокращении их добычи из природной среды. В этой связи появляется необходимость разработки качественных решений в адаптационной политике государств мира, направленных на поддержание разумного баланса между промышленным выловом биологических ресурсов и их естественным воспроизводством с учетом негативного тренда.

Согласно данным VI оценочного доклада МГЭИК (IPCC), основной проблемой сокращения популяционного потенциала экономически значимых биологических ресурсов с учетом негативных климатических тенденций является так называемый «перевылов» биологических ресурсов, что в отечественном понимании соответствует понятию «хищнический неконтролируемый вылов». В работах (Barange, 2019; Das et al., 2020) отмечается, что предпочтительным решением этой проблемы является создание эффективной системы регулирования объемов промышленного вылова, что будет способствовать снижению антропогенной (хозяйственной) нагрузки на биологический потенциал океана и смягчит негативные последствия сокращения популяции ввиду климатических изменений. При этом в работах (Gaines et al., 2018; Sumaila et al., 2019; Free et al., 2020) отмечается, что эффективное регулирование достигнет значимого эффекта (уменьшение рисков на 63 %) только при условии сокращения антропогенных выбросов (низкоуглеродные сценарии развития мировой экономики), а при сценарии RCP 8.5 значимые эффекты не наблюдаются.

При всей целесообразности проведенного исследования и сформулированных предложений, в докладе возникает некоторое недопонимание и противоречие между желаниями и возможностями. Глобальность проблемы вступает в очевидное

противоречие с региональной спецификой. Основное потребление биологических ресурсов и соответственно основной улов приходится на азиатские страны (около 50 % мирового улова). Есть три макрорегиона, которые в наибольшей степени подвергаются рискам сокращения биологического потенциала океана – Азия, Африка, Южная Америка – и для которых одновременно любое ограничительное регулирование может иметь существенные последствия. И есть напротив три региона мира, где глобальные климатические изменения будут иметь выраженный положительный эффект. Это северо-западная и восточная части Арктики (Баренцево море, Карское море, Берингово море), северо-восточная часть Тихого океана (Охотское море) и антарктическая часть океана. Для каждого из указанных регионов стратегия адаптации различна, исходя из региональной специфики и влияния климатических изменений.

Характерно, что в региональной части VI отчета МГЭИК по климатическим рискам вопрос адаптации биологических ресурсов океана рассмотрен только для стран Африки и все предложения сведены к выстраиванию системы регулирования в целях смягчения климатических рисков. Хотя социально-экономические проблемы, связанные с климатическими рисками, для Азии, Африки, Центральной и Южной Америк различны, решение этих проблем значимо во всех трех случаях.

Для азиатских стран вопрос промышленного вылова – это вопрос продовольственной безопасности, решения и мероприятия в этом сегменте, направленные на сокращение вылова, по сути подразумевают ограничение потребления, при условии отсутствия альтернативных сценариев. Для африканских стран промышленный вылов – это в большей степени вопрос социальной стабильности из-за того, что рыбодобыча во многих небогатых странах является единственным источником пропитания. Для южноамериканских стран западного побережья (Чили, Перу, Эквадор) промышленная рыбодобыча – это вопрос экономики, так как существенная часть вылова идет на экспорт. Соответственно для каждого региона, помимо регуляторных составляющих, необходима разработка специализированных (макрорегиональных/страновых) стратегий адаптации, которые будут соответствовать балансам ограничений и возможностей. При этом такие стратегии должны быть скоординированы с мировыми трендами по регулированию и управлению биологическими ресурсами океана в условиях глобальных климатических изменений.

Представляется, что наиболее оптимальным направлением адаптации в части регулирования объемов вылавливаемых биологических ресурсов является содействие в замещении океанского вылова развитием аквакультуры производства биологических ресурсов. Такая стратегия уже реализуется в КНР и в других странах Юго-Восточной Азии, где доля аквакультуры примерно в 2 раза превышает вылов биологических ресурсов и по состоянию на 2021 г. составляет 82 млн т, при промышленном вылове в 46 млн т. В африканских странах разведение биологических ресурсов составляет около 2 млн т, что в 5 раз ниже вылова в океане (FAO, 2024). В Чили доля аквакультуры сопоставима с объемами промышленного вылова биологических ресурсов и составляет около 1.5 млн т. То есть содействие развитию проектов аквакультуры, при одновременном сокращении вылова океанических биологических ресурсов, позволит

снизить антропогенную нагрузку на популяции в океане и смягчить негативные последствия климатических изменений. Представляется, что принципиальным отличием макрорегиональных стратегий является фокус целей такого развития.

Для азиатских и африканских стран развитие аквакультуры с целью замещения «дикого» вылова в океане является вопросом социальной стабильности и продовольственной безопасности. То есть фактически невнимание к развитию таких проектов при одновременном введении ограничений и регуляторных правил национального и наднационального масштаба, скорее всего, не приведет к ощутимым результатам. Потребности населения в продовольствии будут решаться в любом случае в силу их базовой необходимости для выживания. В южноамериканском секторе, где добыча биологических ресурсов является исключительно экономической категорией, основная часть добываемых ресурсов направляется на экспорт, в первую очередь, в США (импорт составляет около 29 млн т ежегодно). Поэтому в этом случае необходимо рассматривать исключительно коммерческие проекты, целью которых является извлечение прибыли.

Иная ситуация складывается в северных макрорегионах (Северный Ледовитый океан с прилегающими морями, Охотское море, Берингово море, северо-восток Тихого океана, Антарктическая зона). В VI оценочном докладе МГЭИК в этих акваториях с умеренной достоверностью прогнозируется рост биологических ресурсов океана из-за изменения температуры воды (рост) и соответственно миграция более «южных видов» в эти ареалы обитания. В отдельных работах уже сейчас приводятся прогнозные оценки биологического потенциала Баренцева моря, срединной части СЛО, Берингова, Чукотского и Карского морей как мест будущей активной добычи биологических ресурсов. Пока это в большей степени приблизительные оценки, во многом базирующиеся на математических моделях и фрагментарных полевых исследованиях

Основными проблемами этой части мира (за исключением Охотского моря и северной части Тихого океана) являются: наличие все еще крупного ледового покрова, который имеет тенденции к сокращению (но весь вопрос в скорости этого сокращения); наличие развитой инфраструктуры рыбодобычи; системный подход к оценке биологических ресурсов во всех потенциальных акваториях.

Практическими механизмами реализации таких адаптационных мероприятий являются: создание мониторинговых инструментов для всесторонней регулярной оценки биологических ресурсов и их изменения; создание портовой и корабельной инфраструктуры, соответствующей реалиям этого макрорегиона (корабли ледового класса). Кроме этого, перспективным представляется антропогенная имплементация «южных видов» (перенос и разведение) биологических ресурсов в акваториях СЛО и прилегающих морей. К примеру, в работе (Filatova, Zenkevich, 1957), проведенной много лет назад, указывалось, что Карское море имеет нулевой биологический потенциал (нет рыбы и иных ресурсов), а потом в соседнем Баренцевом море начали разводить камчатских крабов, которые уже переместились в Карское море и являются биологическим ресурсом для промышленного рыболовства (Баканев, Павлов, 2020)².

² Российские ученые впервые одобрили добычу снежного краба // <https://lenta.ru/news/2021/10/27/krabb/>

Заключение

Глобальные климатические изменения оказывают существенное разнонаправленное (в основном негативное) влияние на состояние биологических ресурсов океана, что подтверждается значительным количеством исследований по данному вопросу. Возможно, такие события для планеты не являются чем-то уникальным и, вполне вероятно, происходили в разные исторические периоды и природа адаптировалась. Отдельные виды исчезали, иные виды находили другие, более комфортные места обитания, и в целом в конечном итоге возникал новый баланс. Однако на современном этапе в естественный процесс вмешалась антропогенная составляющая в виде промышленного изъятия биологических ресурсов океана для потребления, которое постоянно растет из-за увеличения самого количества потребителей. То есть возникает синергетический эффект негативной нагрузки на биологическую систему океана, который в среднесрочной перспективе может привести к существенному сокращению условно нормальной биологической популяции. А ее восстановление может занять многие десятилетия. К примеру, чрезмерный вылов трески в Северном море привел к тому, что уже 10 лет квоты на вылов рыбы ежегодно сокращаются и пришли к значениям 90-х годов³.

В этой связи наиболее оптимальным является сочетание следующих мер:

1) эффективное регулирование биологических ресурсов, направленное на некоторое снижение вылова и увеличение доли аквакультуры с целью поддержания приемлемого уровня популяции в акваториях, наиболее подверженных климатическим рискам и аномалиям;

2) инвестиции в изучение возможностей использования перспективных, но малоизученных объектов рыболовства, а также поиск потенциальных новых ареалов обитания биологических ресурсов (СЛО, Южный океан);

3) развитие системы антропогенного выращивания биологических ресурсов с целью замещения выпадающих объемов для потребления;

4) более активное развитие аквакультуры с целью достижения уровня продовольственной обеспеченности в условиях возможного сокращения рыбных ресурсов из-за глобальных климатических рисков в местах их наибольшего проявления.

Благодарности. исследование выполнено в рамках Госзадания № FMWE-2025-0002 (исследование состояния рыбных биологических ресурсов в экономике макрорегионов и отдельных стран) и проекта РНФ № 23-77-30001 (анализ влияния климатической изменчивости на биологические ресурсы Мирового океана).

³ <https://fishretail.ru/news/kvoti-na-vilov-treski-v-severnom-more-sokrashcheni-na-20-na-2025-god-469584>

Список литературы

1. Баканев С. В. Перспективы промысла краба-стригуна *chionoecetes opilio* в Баренцевом море // Вопросы рыболовства. 2017. Т. 18. № 3. С. 286–303. EDN: ZFTKMX. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29966032&ysclid=mgscm4buk8164835886>
2. Баканев С. В., Павлов В. А. Перспективы промысла краба-стригуна *chionoecetes opilio* в Карском море // Вопросы рыболовства. 2020. Т. 21. № 4. С. 478–487. EDN: VXTAPF. <https://doi.org/10.36038/0234-2774-2020-21-4-478-487>
3. Квоты на вылов трески в Северном море сокращены на 20 % на 2025 год. [Эл. ресурс] <https://fishretail.ru/news/kvoti-na-vilov-treski-v-severnom-more-sokrashcheni-na-20-na-2025-god-469584>
4. Российские ученые впервые одобрили добычу снежного краба [Эл. ресурс] <https://lenta.ru/news/2021/10/27/krabb>
5. Barange M. Avoiding misinterpretation of climate change projections of fish catches // ICES J. Mar. Sci. 2019. Vol. 76 (6). P. 1390–1392. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz061>
6. Brander K. M. The effect of temperature on growth of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) // ICES J. Mar. Sci. 1995. Vol. 52. Iss. 1. P. 1–10. [https://doi.org/10.1016/1054-3139\(95\)80010-7](https://doi.org/10.1016/1054-3139(95)80010-7)
7. Cheung W., Lam V., Sarmiento J., Kearney K., Watson R., Pauly D. Projecting Global Marine Biodiversity Impacts under Climate Change Scenarios // Fish and Fisheries. 2009. Vol. 10 (3). P. 235–251. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00315.x>
8. Cheung W. W. L., Frölicher T. L., Lam V. W. Y., Oyinlola M. A., Reygondeau G., Sumaila U. R., Tai T. C., Teh L. C. L., Wabnitz C. C. Marine high temperature extremes amplify the impacts of climate change on fish and fisheries // Sci. Adv. 2021. Vol. 7 (40). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abh0895>
9. Clark R. A., Fox C. J., Viner D., Livermore M. North Sea cod and climate change—modelling the effects of temperature on population dynamics // Global Change Biol. 2003. Vol. 9. P. 1669–1680. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00685.x>
10. Comte L., Olden J. D. Climatic vulnerability of the world's freshwater and marine fishes // Nat. Clim. Chang. 2017. Vol. 7. P. 718–722. <https://doi.org/10.1038/nclimate3382>
11. Das I., Lauria V., Kay S., Cazcarro I., Arto I., Fernandes J. A., Hazra S. Effects of climate change and management policies on marine fisheries productivity in the north-east coast of India // Sci. Total. Environ. 2020. Art. 1:724:138082. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138082>
12. Ding C. Z., Jiang X. M., Chen L. Q., Juan T., Chen Z. M. Growth variation of *Schizothorax dulongensis* Huang, 1985 along altitudinal gradients: implications for the Tibetan Plateau fishes under climate change // J. Appl. Ichthyol. 2016. Vol. 32. P. 729–733. <https://doi.org/10.1111/jai.13102>
13. Filatova Z. A., Zenkevich L. A. Quantitative distribution of the bottom fauna of the Kara Sea // Tr. Vses. Hidrobiol. O-va. 1957. Vol. 8. P. 3–67.
14. Forster J., Hirst A. G., Atkinson D. Warming-induced reductions in body size are greater in aquatic than terrestrial species // Proc. Natl. Acad. Sci. 2012. Vol. 109. P. 19310–19314. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210460109>
15. Free C. M., Thorson J. T., Pinsky M. L., Oken K. L., Wiedenmann J., Jensen O. P. Impacts of historical warming on marine fisheries production // Science. 2019. Vol. 363. No. 6430. P. 979–983. <https://doi.org/10.1126/science.aau1758>
16. Free C. M., Mangin T., Molinos J. G., Ojea E., Burden M., Costello C. Realistic fisheries management reforms could mitigate the impacts of climate change in most countries // PLoS ONE. 2020. Vol. 15 (3). e0224347. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224347>

17. FAO. Fisheries and Aquaculture Statistics: Global aquaculture and fisheries production 1950–2018 (FishstatJ). 2020. F. F. a. A. D. (ed.). <https://www.fao.org/fishery/en/statistics/software/fishstatj>
18. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action. Rome. 2024. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
19. Gaines S. D., Costello C., Owashi B., Mangin T., Bone J., Molinos J. G., Burden M., Dennis H., Halpern B. S., Kappel C. V., Kleisner K. M., Ovando D. Improved fisheries management could offset many negative effects of climate change // *Sci. Adv.* 2018. Vol. 4 (8). eaao1378. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aao1378>
20. Gamito R., Costa M. J., Cabral H. N. Fisheries in a warming ocean: trends in fish catches in the large marine ecosystems of the world // *Reg. Environ. Change.* 2015. Vol. 15. P. 57–65. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0615-y>
21. Gamperl A. K., Ajiboye O. O., Zanuzzo F. S., Sandrelli R. M., Ellen de Fatima C. P., Beemelmans A. The impacts of increasing temperature and moderate hypoxia on the production characteristics, cardiac morphology and haematology of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) // *Aquaculture.* 2019. Vol. 519. e734874. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734874>
22. Heather F. J., Childs D. Z., Darnaude A. M., Blanchard J. L. Using an integral projection model to assess the effect of temperature on the growth of gilthead seabream *Sparus aurata* // *PloS One.* 2018. Vol. 13. e0196092. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196092>
23. IPCC Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York NY. USA. 2021. 2391 p. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
24. IPCC Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge University Press. Cambridge. UK and New York. NY. USA. 2022. 3056 p., <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
25. Lam V. W. Y., Cheung W. W. L., Gabriel Reygondeau G., Sumaila U. R. Projected change in global fisheries revenues under climate change // *Sci. Rep.* 2016. Vol. 7. No. 6. 32607. <https://doi.org/10.1038/srep32607>
26. Mills K., Osborne E., Bell R., Colgan C., Cooley S., Goldstein M., G. R., Holsman K. K., Jacox M., Micheli F., Crimmins A., Avery C., Easterling D., Kunkel K., Stewart B., Maycock T. Chapter 10: Ocean Ecosystems and Marine Resources. Fifth National Climate Assessment. https://toolkit.climate.gov/sites/default/files/2025-07/NCA5_Ch10_Oceans.pdf
27. Murdoch A., Power M. The effect of lake morphometry on thermal habitat use and growth in Arctic charr populations: implications for understanding climate change impacts // *Ecol. Freshw. Fish.* 2013. Vol. 22. No. 3. P. 453–466. <https://doi.org/10.1111/eff.12039>
28. Perry A. L., Low P. J., Ellis J. R., Reynolds J. D. Climate change and distribution shifts in marine fishes // *Science.* 2005. Vol. 308. No. 5730. P. 1912–1915. <https://doi.org/10.1126/science.1111322>
29. Pershing A., Griffis R., Jewett E., Bruno J., Busch D., Haynie A., Siedlecki S., Tomassi D. Oceans and Marine Resources. Impacts, risks, and adaptation in the United States: Fourth national climate assessment, Vol. II. U.S. Global Change Research Program. Washington DC. 2018. p. 362.
30. Pinsky M. L., Worm B., Fogarty M. J., Sarmiento J. L., Levin S. A. Marine taxa track local climate velocities // *Science.* 2013. Vol. 341 (6151). P. 1239–1242. <https://doi.org/10.1126/science.1239352>
31. Pörtner H. O., Farrell A. P. Physiology and climate change // *Science.* 2008. Vol. 322. Iss. 5902. P. 690–692. <https://doi.org/10.1126/science.1163156>

32. *Prokešova' M., Gebauer T., Matoušek J., Lundova K., Cejka J., Zuskova E., Stejskal V.* Effect of temperature and oxygen regime on growth and physiology of juvenile *Salvelinus fontinalis* × *Salvelinus alpinus* hybrids // *Aquaculture*. 2020. Vol. 522. e735119. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735119>
33. *Rose G.* On distributional responses of North Atlantic fish to climate change // *ICES J. Mar Sci.* 2005. Vol. 62. P. 1360–1374. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2005.05.007>
34. *Sumaila U. R., Tai T. C., Lam V. W. Y., Cheung W. W. L., Bailey M., Cisneros-Montemayor A. M., Chen O. L., Gulati S. S.* Benefits of the Paris Agreement to ocean life, economies, and people // *Sci. Adv.* 2019. Vol. 5. eaau3855. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aau3855>
35. *Tao J., Che R. X., He D. K., Yan Y. Z., Sui X. Y., Chen Y. F.* Trends and potential cautions in food web research from a bibliometric analysis // *Scientometrics*. 2015. Vol. 105. P. 435–447. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1679-2>
36. *Tao J., He D. K., Kennard M. J., Ding C. Z., Bunn S. E., Liu C. L., Jia Y. T., Che R. X., Chen Y. F.* Strong evidence for changing fish reproductive phenology under climate warming on the Tibetan Plateau // *Glob. Change Biol.* 2018. Vol. 24. Iss. 5. P. 2093–2104. <https://doi.org/10.1111/gcb.14050>
37. *Tedesco P. A., Oberdorff T., Cornu J. F., Beauchard O., Brosse S., Durr H. H., Hugueny B.* A scenario for impacts of water availability loss due to climate change on riverine fish extinction rates // *J. Appl. Ecol.* 2013. Vol. 50 (5). P. 1105–1115. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12125>
38. *Thackeray S. J., Henrys P. A., Feuchtmayr H., Jones I. D., Maberly S. C., Winfield I. J.* Food web de-synchronization in England's largest lake: an assessment based on multiple phenological metrics // *Glob. Change Biol.* 2013. Vol. 19. Iss. 12. P. 3568–3580. <https://doi.org/10.1111/gcb.12326>
39. *Vuorinen I., Hanninen J., Rajasilta M., Laine P., Eklund J., Montesino-Pouzols F., Dippner J. W.* Scenario simulations of future salinity and ecological consequences in the Baltic Sea and adjacent North Sea areas—implications for environmental monitoring // *Ecol. Indic.* 2015. Vol. 50. P. 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.10.019>
40. *Xenopoulos M. A., Lodge D. M., Alcamo J., Marker M., Schulze K., Van Vuuren D. P.* Scenarios of freshwater fish extinctions from climate change and water withdrawal. *Glob. Change Biol.* 2005. Vol. 11. P. 1557–1564. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001008.x>
41. *Yan Y., Xiang X., Chu L., Zhan Y., Fu C.* Influences of local habitat and stream spatial position on fish assemblages in a dammed watershed, the Qingyi Stream, China // *Ecol. Freshw. Fish.* 2011. Vol. 20. Iss. 2. P. 199–208. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2010.00478.x>

Статья поступила в редакцию 31.07.2025, одобрена к печати 15.10.2025.

Для цитирования: Исмаилова Э. А. Анализ потенциальных изменений биологических ресурсов Мирового океана в условиях климатических изменений // *Океанологические исследования*. 2025. Т. 53. № 4. С. 177–196. [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(4\).10](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(4).10)

ANALYSIS OF POTENTIAL CHANGES IN BIOLOGICAL RESOURCES OF THE WORLD OCEAN IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

E. A. Ismailova

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,
e-mail: ismailova.e.a@campus.mse-msu.ru*

This study provides an overview of the impact of climate change on potential changes in the volume of biological resources of the oceans. An overview of the state of fish biological resources in the main fishing areas is presented and the role of biological resources in the economy of large macroregions and individual countries is considered. The socio-economic risks that may arise due to reduced availability of biological resources due to climate change have been identified. Climate trends and their impact on the state of biological resources of the world ocean in the long term are shown. The macro-regions (water areas) of the world ocean with a high risk of reducing biological resources and water areas are reflected. These include the coastal waters of western South America, the seas of Southeast Asia, and the Western coast of Africa. Among the beneficiaries of climate change, the Northeast Pacific Ocean (the Okhotsk and Bering Seas) and the Arctic Ocean (the Barents, Kara, and Chukchi Seas) stand out. The main directions of the policy of adapting the economic activities of states in order to mitigate the effects of climate risks on the economy and the biological system of the ocean are formulated. For waters close to the equator, it is advisable to introduce regulatory standards aimed at gradually reducing “wild” fishing and simultaneously increasing aquaculture of fish.

Keywords: biological resources, ocean, climate change, aquaculture, fishing, El Nino

Acknowledgements: The study was carried out within the framework of the State Task No. FMWE-2025-0002 (study of the state of fish biological resources in the economy of macroregions and individual countries) and the Russian Science Foundation project No. 23-77-30001 (analysis of the impact of climate variability on the biological resources of the World Ocean).

References

1. Bakanev, S. V., 2017: Prospects for the snow crab fishery *chionoecetes opilio* in the Barents Sea. *Fisheries Issues*, **18** (3), 286–303, EDN: ZFTKMX, <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29966032&ysclid=mgscm4buk8164835886>
2. Bakanev, S. V. and V. A. Pavlov, 2020: Prospects for the snow crab fishery *chionoecetes opilio* in the Kara Sea. *Fishery Issues*, **21** (4), 478–487, EDN: VXTAPF, <https://doi.org/10.36038/0234-2774-2020-21-4-478-487>
3. Barange, M., 2019: Avoiding misinterpretation of climate change projections of fish catches. *ICES J. Mar. Sci.*, **76** (6), 1390–1392, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz061>
4. Brander, K. M., 1995: The effect of temperature on growth of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *ICES J. Mar. Sci.*, **52** (1), 1–10, [https://doi.org/10.1016/1054-3139\(95\)80010-7](https://doi.org/10.1016/1054-3139(95)80010-7)

5. Cheung, W., V. Lam, J. Sarmiento, K. Kearney, R. Watson, and D. Pauly, 2009: Projecting Global Marine Biodiversity Impacts under Climate Change Scenarios. *Fish and Fisheries*, **10** (3), 235–251, <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00315.x>
6. Cheung, W. W. L., T. L. Frölicher, V. W. Y. Lam, M. A. Oyinlola, G. Reygondeau, U. R. Sumaila, T. C. Tai, L. C. L. Teh, and C. C. C. Wabnitz, 2021: Marine high temperature extremes amplify the impacts of climate change on fish and fisheries. *Sci. Adv.*, **7** (40), eabh0895, <https://doi.org/10.1126/sciadv.abh0895>
7. Clark, R. A., C. J. Fox, D. Viner, and M. Livermore, 2003: North Sea cod and climate change—modelling the effects of temperature on population dynamics. *Global Change Biol.*, **9**, 1669–1680, <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00685.x>
8. Comte, L. and J. D. Olden, 2017: Climatic vulnerability of the world's freshwater and marine fishes. *Nat. Clim. Chang.*, **7**, 718–722, <https://doi.org/10.1038/nclimate3382>
9. Das, I., V. Lauria, S. Kay, I. Cazcarro, I. Arto, J. A. Fernandes, and S. Hazra, 2020: Effects of climate change and management policies on marine fisheries productivity in the north-east coast of India. *Sci. Total. Environ.*, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138082>
10. Ding, C. Z., X. M. Jiang, L. Q. Chen, T. Juan, and Z. M. Chen, 2016: Growth variation of *Schizothorax dulongensis* Huang, 1985 along altitudinal gradients: implications for the Tibetan Plateau fishes under climate change. *J. Appl. Ichthyol.*, **32**, 729–733, <https://doi.org/10.1111/jai.13102>
11. Filatova, Z. A. and L. A. Zenkevich, 1957: Quantitative distribution of the bottom fauna of the Kara Sea. *Tr. Vses. Gidrobiol. O-va*, **8**, 3–67.
12. Forster, J., A. G. Hirst, and D. Atkinson, 2012: Warming-induced reductions in body size are greater in aquatic than terrestrial species. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **109**, 19310–19314, <https://doi.org/10.1073/pnas.1210460109>
13. Free, C. M., J. T. Thorson, M. L. Pinsky, K. L. Oken, J. Wiedenmann, and O. P. Jensen, 2019: Impacts of historical warming on marine fisheries production. *Science*, **363** (6430), 979–983, <https://doi.org/10.1126/science.aau1758>
14. Free, C. M., T. Mangin, J. G. Molinos, E. Ojea, M. Burden, and C. Costello, 2020: Realistic fisheries management reforms could mitigate the impacts of climate change in most countries. *PLoS ONE*, **15** (3), e0224347, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224347>
15. FAO. *Fisheries and Aquaculture Statistics: Global aquaculture and fisheries production 1950–2018 (FishstatJ)*. 2020. F. F. a. A. D. (ed.), <https://www.fao.org/fishery/en/statistics/software/fishstatj>
16. FAO. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action*. Rome. 2024, <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
17. Gaines, S. D., C. Costello, B. Owashi, T. Mangin, J. Bone, J. G. Molinos, M. Burden, H. Dennis, B. S. Halpern, C. V. Kappel, K. M. Kleisner, and D. Ovando, 2018: Improved fisheries management could offset many negative effects of climate change. *Sci. Adv.*, **4** (8), eaao1378, <https://doi.org/10.1126/sciadv.aao1378>
18. Gamito, R., M. J. Costa, and H. N. Cabral, 2015: Fisheries in a warming ocean: trends in fish catches in the large marine ecosystems of the world. *Reg. Environ Change*, **15**, 57–65, <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0615-y>
19. Gamperl, A. K., O. O. Ajiboye, F. S. Zanuzzo, R. M. Sandrelli, C. P. Ellen de Fatima, and A. Beemelmans, 2019: The impacts of increasing temperature and moderate hypoxia on the production characteristics, cardiac morphology and haematology of Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, **519**, e734874, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734874>
20. Heather, F. J., D. Z. Childs, A. M. Darnaude, and J. L. Blanchard, 2018: Using an integral projection model to assess the effect of temperature on the growth of gilthead seabream *Sparus aurata*. *PloS One*, **13**, e0196092, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196092>
21. *IPCC Climate Change*, 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge

- University Press. Cambridge. United Kingdom and New York NY. USA. 2391 p., <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
22. IPCC *Climate Change*, 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge. UK and New York. NY. USA. 3056 p., <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
 23. Lam, V. W. Y., W. W. L. Cheung, G. Gabriel Reygondeau, and U. R. Sumaila, 2016: Projected change in global fisheries revenues under climate change. *Sci. Rep.*, **7** (6), 32607, <https://doi.org/10.1038/srep32607>
 24. Mills, K., E. Osborne, R. Bell, C. Colgan, S. Cooley, M. G. R. Goldstein, K. K. Holsman, M. Jacox, F. Micheli, A. Crimmins, C. Avery, D. Easterling, K. Kunkel, B. Stewart, and T. Maycock, 2023: Chapter 10: *Ocean Ecosystems and Marine Resources*. *Fifth National Climate Assessment*, https://toolkit.climate.gov/sites/default/files/2025-07/NCA5_Ch10_Oceans.pdf
 25. Murdoch, A. and M. Power, 2013: The effect of lake morphometry on thermal habitat use and growth in Arctic charr populations: implications for understanding climate change impacts. *Ecol. Freshw. Fish.*, **22** (3), 453–466, <https://doi.org/10.1111/eff.12039>
 26. Perry, A. L., P. J. Low, J. R. Ellis, and J. D. Reynolds, 2005: Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*, **308** (5730), 1912–1915, <https://doi.org/10.1126/science.1111322>
 27. Pershing, A., R. Griffis, E. Jewett, J. Bruno, D. Busch, A. Haynie, S. Siedlecki, and D. Tomassi, 2018: *Oceans and Marine Resources. Impacts, risks, and adaptation in the United States: Fourth national climate assessment, volume II. U.S. Global Change Research Program*. Washington DC., p. 362.
 28. Pinsky, M. L., B. Worm, M. J. Fogarty, J. L. Sarmiento, and S. A. Levin, 2013: Marine taxa track local climate velocities. *Science*, **341** (6151), 1239–1242, <https://doi.org/10.1126/science.1239352>
 29. Pörtner, H. O. and A. P. Farrell, 2008: Physiology and climate change. *Science*, **322**, 690–692, <https://doi.org/10.1126/science.1163156>
 30. Prokešova, M., T. Gebauer, J. Matoušek, K. Lundova, J. Cejka, E. Zuskova, and V. Stejskal, 2020: Effect of temperature and oxygen regime on growth and physiology of juvenile *Salvelinus fontinalis*×*Salvelinus alpinus* hybrids. *Aquaculture*, **522**, e735119, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735119>
 31. *Quotas for cod fishing in the North Sea have been reduced by 20% for 2025*, <https://fishretail.ru/news/kvoti-na-tilov-treski-v-severnom-more-sokrashcheni-na-20-na-2025-god-469584>
 32. Rose, G., 2005: On distributional responses of North Atlantic fish to climate change. *ICES J. Mar. Sci.*, **62**, 1360–1374, <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2005.05.007>
 33. *Russian scientists approve snow crab harvesting for the first time*, <https://lenta.ru/news/2021/10/27/krabb/>
 34. Sumaila, U. R., T. C. Tai, V. W. Y. Lam, W. W. L. Cheung, M. Bailey, A. M. Cisneros-Montemayor, O. L. Chen, and S. S. Gulati, 2019: Benefits of the Paris Agreement to ocean life, economies, and people. *Sci. Adv.*, **5**, <https://doi.org/10.1126/sciadv.aau3855>
 35. Tao, J., R. X. Che, D. K. He, Y. Z. Yan, X. Y. Sui, and Y. F. Chen, 2015: Trends and potential cautions in food web research from a bibliometric analysis. *Scientometrics*, **105**, 435–447, <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1679-2>
 36. Tao, J., D. K. He, M. J. Kennard, C. Z. Ding, S. E. Bunn, C. L. Liu, Y. T. Jia, R. X. Che, and Y. F. Chen, 2018: Strong evidence for changing fish reproductive phenology under climate warming on the Tibetan Plateau. *Glob. Change Biol.*, **24** (5), 2093–2104, <https://doi.org/10.1111/gcb.14050>
 37. Tedesco, P. A., T. Oberdorff, J. F. Cornu, O. Beauchard, S. Brosse, H. H. Durr, and B. Hugueny, 2013: A scenario for impacts of water availability loss due to climate change on riverine fish extinction rates. *J. Appl. Ecol.*, **50** (5), 1105–1115, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12125>

38. Thackeray, S. J., P. A. Henrys, H. Feuchtmayr, I. D. Jones, S. C. Maberly, and I. J. Winfield, 2013: Food web de-synchronization in England's largest lake: an assessment based on multiple phenological metrics. *Glob. Change Biol.*, **19** (12), 3568–3580, <https://doi.org/10.1111/gcb.12326>
39. Vuorinen, I., J. Hanninen, M. Rajasilta, P. Laine, J. Eklund, F. Montesino-Pouzols, and J. W. Dippner, 2015: Scenario simulations of future salinity and ecological consequences in the Baltic Sea and adjacent North Sea areas—implications for environmental monitoring. *Ecol. Indic.*, **50**, 196–205, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.10.019>
40. Xenopoulos, M. A., D. M. Lodge, J. Alcamo, M. Marker, K. Schulze, and D. P. Van Vuuren, 2005: Scenarios of freshwater fish extinctions from climate change and water withdrawal. *Glob. Change Biol.*, **11**, 1557–1564, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001008.x>
41. Yan, Y., X. Xiang, L. Chu, Y. Zhan, and C. Fu, 2011: Influences of local habitat and stream spatial position on fish assemblages in a dammed watershed, the Qingyi Stream, China. *Ecol. Freshw. Fish.*, **20** (2), 199–208, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2010.00478.x>

Submitted 31.07.2025, accepted 15.10.2025.

For citation: Ismailova, E. A., 2025: Analysis of potential changes in biological resources of the World Ocean in the context of climate change. *Journal of Oceanological Research*, **53** (4), 177–196, [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(4\).10](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(4).10)

气候变化下全球海洋生物资源潜在变化分析

E. A. Ismailova

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 邮编: 117997, Russia,
电子邮件: ismailova.e.a@campus.mse-msu.ru*

本研究分析了气候变化对全球海洋生物资源可能产生的影响。报告概述了主要渔场的鱼类生物资源状况，并分析了生物资源在不同区域和国家经济中的重要性。研究识别了因气候变化导致生物资源减少可能带来的社会经济风险。

论文探讨了气候变化及其对全球海洋生物资源长期状况的影响，找出了生物资源减少风险较高的海域，包括南美洲西部沿海、东南亚海域和非洲西海岸。而东北太平洋（鄂霍次克海和白令海）和北冰洋（巴伦支海、喀拉海和楚科奇海）则可能从气候变化中受益。

研究提出了调整各国经济活动的关键政策方向，以减轻气候风险对海洋经济和生态系统的影响。对于靠近赤道的海域，建议逐步减少野生捕捞，同时加强水产养殖业的发展。

关键词: 生物资源、海洋、气候变化、水产养殖、渔业、厄尔尼诺

致谢: 本研究由国家级任务 FMWE-2025-0002 (研究大区域和个别国家经济中鱼类生物资源状况) 和俄罗斯科学基金会项目 23-77-30001 (分析气候变化对全球海洋生物资源的影响) 资助完成。