

ПЕРСПЕКТИВЫ ОТЕЧЕСТВЕННОГО РЫБОЛОВСТВА ДО 2035 ГОДА В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

© 2019 **Б. Н. Котенев**, О. А. Булатов, А. С. Кровнин

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,
Москва, 107140*

E-mail: obulatov@vniro.ru, akrovnin@vniro.ru

Поступила в редакцию 09.09.2019

Выполненные исследования показали, что в северо-западной части Тихого океана и северо-восточной Атлантике к 2035 г. ожидается похолодание. В северо-западной части Тихого океана прогнозируется снижение вылова минтая в северных районах и существенный рост уловов в южных. Несмотря на высокие уловы тихоокеанских лососей в последнем десятилетии, в перспективе уловы этой группы ценных видов существенно уменьшатся. Снижение вылова минтая и лососей по экспертным оценкам составит 1 млн. т. Однако, ожидаемое похолодание окажет благоприятное воздействие на успешность воспроизводства японской скумбрии, сардины-иваси, сахалино-хоккайдской сельди, трески Берингова моря и сельди Охотского моря, что позволит дальневосточным рыбакам полностью компенсировать потери, при условии переориентирования промысла на другие объекты лова. В северо-восточной Атлантике ожидаемое похолодание окажет негативное воздействие на успешность воспроизводства трески, пикши, путассу, скумбрии, сельди, что приведет к снижению вылова на 0,5 млн. т. Однако, ожидаемое похолодание положительно скажется на запасах мойвы, которые позволят значительно компенсировать потери в вылове.

Ключевые слова: климат, минтай, лососи, треска, вылов, прогноз.

ВВЕДЕНИЕ

Вылов. Российский вылов водных биологических ресурсов (без учета аквакультуры и любительского рыболовства) в 2018 г. достиг рекордного уровня за всю постсоветскую историю — 5 млн. т. Значительная часть вылова — 3,8 млн. т (76,0%) пришла на исключительную экономическую зону РФ, в экономических зонах иностранных государств добыча составила 787 тыс. т. (15,7%). В открытых районах, находящихся за пределами 200-мильных экономических зон, вылов достиг 266 тыс. т (5,3%). Самые скромные промысловые результаты отмечены во внутренних водах, включая внутренние морские воды и пресноводные водные объекты — 147 тыс. т (3,0%).

В Атлантическом океане вылов в 2018 г. составил 1352 тыс. т, из них в северо-

ро-восточной части — 1066 тыс. т (78,8%). В Тихом океане уловы достигли 3482 тыс. т, из них в северо-западной части добыто 99,7%. Следовательно, для отечественного рыболовства наиболее значимыми районами для промысла в настоящее время являются северо-восточная Атлантика (СВА) и северо-западная часть Тихого океана (СЗТО). Анализ состава уловов основных промысловых объектов показал, что к ним относятся: минтай — 1736 тыс. т, тихоокеанские лососи — 676 тыс. т (из них горбуша — 511 тыс. т), сельдь — 479 тыс. т (из них тихоокеанская — 373 тыс. т), треска — 513 тыс. т (из них атлантическая — 340 тыс. т). В совокупности перечисленные виды обеспечили 2/3 от общероссийского вылова. Если проанализировать видовой состав отечественного рыболовства в течение XXI в., то окажет-

ся, что перечисленные виды (группы видов) доминировали в уловах в течение достаточно продолжительного времени.

Известно, что в 1970-е — 1980-е гг. в Атлантическом и Тихом океанах отмечались значительные уловы видов, практически потерявших промысловое значение в настоящее время. В Северо-Восточной Атлантике к таким видам относится мойва, рекордный международный вылов которой в 1977 г. достиг 3 млн. т. Исторические максимумы ее вылова советскими рыбаками составляли более 800 тыс. т (1977 г., 1983 г.). Значительные уловы сильно флуктуирующих видов отмечались также в советское время и в северо-западной части Тихого океана: сардины — иваси — 861 тыс. т (1990 г.) и скумбрии — более 250 тыс. т (1973—1974 гг.). Основной причиной многолетней изменчивости состояния их запасов, вызванных чередованием периодов урожайных и неурожайных поколений, стали климатические изменения, а не чрезмерный пресс промысла.

Исследования различных авторов убедительно доказали наличие связей между урожайностью поколений промысловых видов рыб и локальными температурными, а также глобальными климато-океанологическими факторами среды (Бенко и др., 1993; Ижевский, 1961, 1964; Давыдов, 1989; Кляшторин, Любушин, 2005; Науменко, 2001; Alheit et al., 2014; Chiba et al., 2010; Cushing, Dickson, 1976; Cushing, 1982; Drinkwater et al., 2010; Eriksen et al., 2012; Mantua et al., 1997; Ottersen et al., 2004; Ottersen, Alheit et al., 2004, 2010; Sugisaki et al., 2010). Для многих запасов рыб были обнаружены значительные квазициклические колебания биомассы с периодами от 5—6 до 50—70 и даже 90 лет.

Необходимость знаний о возможном изменении состояния запасов основных промысловых видов рыб в перспективе исключительно важна для целей стратегического планирования. Отсутствие долгосрочного прогноза изменчивости сырьевой базы в значительной степени увеличивает финансовые риски для судовладельцев. Последствия пла-

нирования «вслепую» могут иметь не только финансовые, но и негативные социальные последствия.

Авторы поставили перед собой задачу изучить влияние климата на запасы основных видов отечественного рыболовства, и на их основе осуществить прогнозирование перспектив российского промысла до 2035 г.

Глобальные климатические индексы и их межгодовая изменчивость. Климато-океанологические условия можно охарактеризовать, используя различные климатические индексы дальних связей в атмосфере, такие, как арктическое колебание (АК), северо-атлантическое колебание (САК), скандинавское колебание (СКАНД), тихоокеанско-северо-американское колебание (ТСА), западно-тихоокеанское колебание (ЗТ), северо-тихоокеанское колебание (СТК) и северо-тихоокеанский индекс (СТИ). Океанологические индексы, включая тихоокеанскую декадную осцилляцию (ТДО) и Атлантическую многодекадную осцилляцию (АМО), с различными лагами показали очень высокую тесноту связи изменчивости климата и уловов ключевых объектов рыболовства — норвежской весенне-нерестующей сельдью и тихоокеанских лососей (рис. 1). Статистически значимые связи, подтверждаемые высокими значениями коэффициентов корреляции, с успехом могут быть использованы для целей долгосрочного прогноза. Особый интерес для прогнозов представляют «опережающие индексы», которые обнаружены для АМО и сельди. «Фора» в 10 лет позволяет быть уверенным в надежности такого прогноза.

При поиске факторов, вызывающих 90-летние колебания запасов, проанализированы данные солнечной активности, а для объяснения более коротких циклов — 10 и 20-летних, дисперсии осцилляции приливных колебаний скорости вращения Земли (Сидоренков, Сумерова, 2010).

Для более полного понимания процессов долговременных изменений состояния атмосферы или океана, необходимо учитывать те глобальные изменения, которые про-

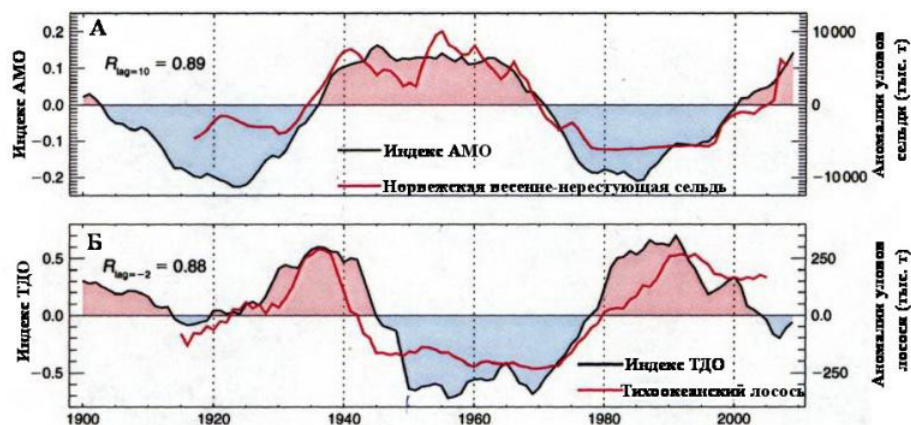


Рис. 1. Сопряженность динамики климатических индексов с изменением состояния запасов сельди и лососей. (А) аномалии индекса АМО (черная линия) и уловов норвежской весенне-нерестующей сельди (красная линия) с 19-летним скользящим осреднением (Toreesen, Ostvedt, 2000); (Б) аномалии индекса ТДО (черная линия) и уловов тихоокеанских лососей (красная линия) (Кляшторин, Любушин, 2005).

исходят в климатической системе в последние 150–170 лет. Для этого периода характерен выраженный тренд на потепление. По мнению Акасофу (Akasofu, 2010) эта тенденция с восстановлением климатической системы Земли после «малого ледникового периода», наблюдавшегося в XVII–IXX вв., продолжится до 2100 г.

В качестве индикатора изменений климата наиболее часто используют различные температурные показатели, такие как температура воздуха, осредненная глобально или по полушариям; поверхностная темпера-

тура воды, осредненная по отдельным океанам или по крупным океаническим регионам. По данным инструментальных наблюдений за последние 100 лет температура приземного воздуха в Северном полушарии выросла на 0,6–0,9°C (рис. 2). При этом положительный линейный тренд объясняет 72% дисперсии ее колебаний.

Следует отметить, что потепление климата не было равномерным. Оно прерывалось паузами, когда рост температуры прекращался, или даже происходило некоторое похолодание (рис. 2). Причина неравномер-

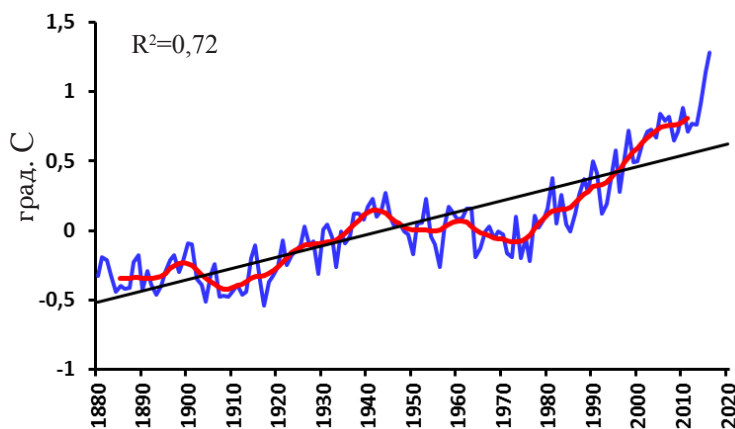


Рис. 2. Изменения среднегодовой температуры воздуха в Северном полушарии (синяя линия). Красная кривая линия соответствует 11-летнему скользящему осреднению. Прямой линией показан линейный тренд.

ного роста температуры заключается в наличии цикличности с периодом 50–70 лет.

Одним из ключевых вопросов при долгосрочном прогнозировании изменчивости запасов водных биоресурсов, является прогноз изменения климата. Необходимо отметить, что в этом вопросе среди ученых нет единой позиции. Сегодня большая часть ученых придерживается взглядов «глобального потепления» климата. Существующие в настоящее время модельные прогнозы изменения глобального климата в связи с влиянием антропогенного воздействия, вызванного концентрациями CO_2 в атмосфере («парниковыми газами»), разработаны в рамках четвертого (IPCC, 2007) и пятого (IPCC, 2014) докладов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). На рисунке 3 представлены два сценария: первый для низких эмиссий CO_2 , второй — для высоких.

Однако, скорость фактического роста глобальной ТПО оказалась в 1,5 раза ниже смоделированной. Это свидетельствует о том, что в настоящее время естественные факторы оказывают большее влияние на изменения температуры, чем антропогенные.

Сторонники другого подхода связывают современный тренд к потеплению климата с природными процессами. Следует отметить, что потепление климата происходит неравномерно вследствие наличия климати-

ческого цикла с периодом порядка 50–70 лет. Колебания ТПО с периодом около 60–65 лет хорошо известны в Северной Атлантике, получив название «Атлантическая многодекадная осцилляция» (АМО). Аналогичные колебания обнаруживаются и в северной части Тихого океана. Если из исходных данных удалить линейный тренд, то окажется, что климатические изменения происходят синхронно, как в северной части Тихого океана, так и в северной Атлантике (рис. 4).

В недавно опубликованной работе российских ученых И.И. Мохова и Д.А. Смирнова (2018 г.) показано, что на временных интервалах 15–30 лет такой природный 60-летний цикл вносит больший вклад в изменения климата, чем эмиссия парниковых газов.

Если продолжить 60-летний цикл на ближайшие 2–3 десятилетия, то, начиная со второй половины 2020-х гг. и вплоть до 2040 г., в северной части Тихого и Атлантического океанов можно ожидать похолодания поверхностных вод, связанного с переходом к отрицательной фазе цикла. Дополнительным фактором похолодания может стать начало векового минимума солнечной активности.

Таким образом, в период с 2020 по 2035 гг. не ожидается существенного роста температуры независимо от того, какие концентрации «парниковых газов» будут в атмосфере. Даже сторонники «глобального потепления» не прогнозируют существенного увеличения температуры до 2035 г. Согласно их представлениям рост температуры если и будет, то небольшой.

Следовательно, в период до 2035 г. на изменчивость климата большее влияние будут оказывать природные процессы, а не антропогенная деятельность.

Необходимо отметить, что на фоне климатических изменений с периодом несколько десятилетий часто наблюдаются колебания с периодом 8–15 лет и меньше. Примером таких «высокочастотных» колебаний является резкое потепление вод на северо-востоке Тихого океана в 2014–2016 гг. На пике своего развития положительные АТПО

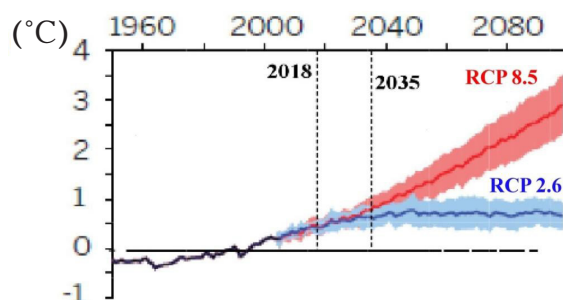


Рис. 3. Изменение глобальной ТПО в XXI в. относительно 1990–1999 гг. при низких (синий цвет) и высоких эмиссиях CO_2 (красный цвет) (по: Gattuso et al., 2015).

Детрендированные АТПО, сглаженные 121-месячным скользящим осреднением:
(январь 1870—август 2015 гг.)

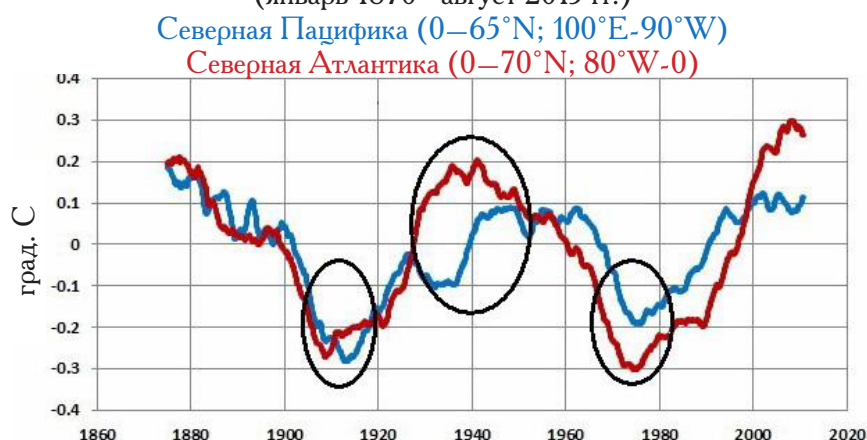


Рис.4. Аномалии температуры поверхности океана в северных частях Атлантического и Тихого океанов (АТПО) в 1870—2015 гг. после удаления линейного тренда (Tisdale, 2015).

в верхнем 100-м слое достигали $4,0–4,5^{\circ}\text{C}$. Это потепление оказало большое влияние на экосистемы всей северной части Северной Пацифики. В 2020-х—2030-х гг. повторяемость таких «волн тепла» на фоне наблюдающегося глобального потепления может увеличиться.

В работе Хи с соавторами (Xie et al., 1999) показано, что квазидекадная (от 8 до 15 лет) изменчивость глобальных индексов АК/САК оказывает значительное влияние на температуру в северной части Японского моря и на севере Северной Пацифики вдоль субполярного фронта. Влияние квазидекадной изменчивости, связанной с АК/САК, также установлено и для подповерхностной температуры воды Японского (Minobe et al., 2004) и Охотского (Minobe, Nakamura, 2004) морей.

В работе А.С. Кровнина с соавторами (2017) показано, что квазидекадная изменчивость АК в значительной мере определяет состояние атмосферного северо-тихоокеанского колебания (СТК) с временным лагом 1–2 года и, в итоге, фазу осцилляции северо-тихоокеанского круговорота (ОСТК). Прежде всего, это проявляется в поле АТПО в северной части Тихого океана. Проведенные авторами исследования показали тесную связь индекса ОСТК с квазидекадными колебаниями температуры

воды и пополнением промысловых рыб в северо-западной части Тихого океана. К ним относятся, в частности, северо-охотоморский минтай, тихоокеанская треска северо-западной части Берингова моря, западно-камчатская горбуша.

В настоящей работе перечень исследуемых видов включает: минтай, сельди, тихоокеанские лососи, треску, путассу, скумбрию и пикшу, составляющих основу современного российского вылова, а также перспективных объектов промысла — сардину-иваси, мойву, тихоокеанскую скумбрию, имевших существенную роль в отечественном рыболовстве в предыдущие годы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Минтай

Минтай на протяжении многих лет является основным объектом промысла в отечественном рыболовстве. Основные районы промысла расположены в Охотском море и северо-западной части Берингова моря. Однако запасы минтая подвержены существенной межгодовой изменчивости. Формирование различных по численности поколений минтая зависит от ряда причин. К числу основных факторов среды, влияющих на успешность воспроизводства, относится температура, при которой происходит

развитие личинок и молоди. Температура является интегрированным показателем, который влияет на продолжительность инкубации, обеспеченность пищей, скорость обменных процессов, в конечном итоге определяя выживаемость.

Северо-охотоморский минтай.

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о зависимости динамики запасов северо-охотоморского минтая от изменений климата (Качина, Сергеева, 1981; Шунтов и др., 1993; Фадеев, 2001; Смирнов, 2005; Булатов, Котенев, 2010; Овсянников и др., 2013; Булатов, 2014). Известно, что при формировании урожайных поколений нерестовая биомасса минтая растет с лагом в 8 лет (Булатов, 2003). В настоящем разделе работы будет рассмотрена связь выживаемости поколений минтая с крупномасштабными климатическими процессами в северотихоокеанском регионе.

На рисунке 5 показаны аномалии коэффициентов выживания (КВ) минтая относительно нормы за 1980–2010 гг. КВ определены как отношение численности рыб в возрасте 3 года к биомассе нерестового запаса в год рождения поколения. Временной ряд численности был смещен к году нереста,

т.е. на 3 года назад. Многолетние изменения коэффициента обнаруживают два периода с различным средним уровнем его колебаний. Первый период (1983–1999 гг.) характеризуется преобладанием отрицательных аномалий КВ, отражающих пониженную выживаемость поколений минтая этих лет. Начиная с 2000–2001 гг., ситуация резко изменилась, и вплоть до 2008 г. складывались условия, благоприятные для формирования урожайных поколений этого объекта промысла.

Резкие изменения в ходе КВ минтая хорошо согласуются с режимными сдвигами в многолетних колебаниях АТПО в северо-западной части Тихого океана. Режимный сдвиг в колебаниях АТПО произошел в 1999 г., т.е. на 1–2 года раньше соответствующего сдвига в многолетних изменениях КВ минтая. При этом с конца 1990-х гг. преобладали отрицательные аномалии ТПО, а в предшествующий период (1980–1998 гг.) — положительные. Таким образом, связь между выживаемостью поколений минтая и поверхностной температурой воды в преднерестовый и нерестовый периоды обратная: выживаемость снижается, когда температура воды выше нормы, и наоборот.

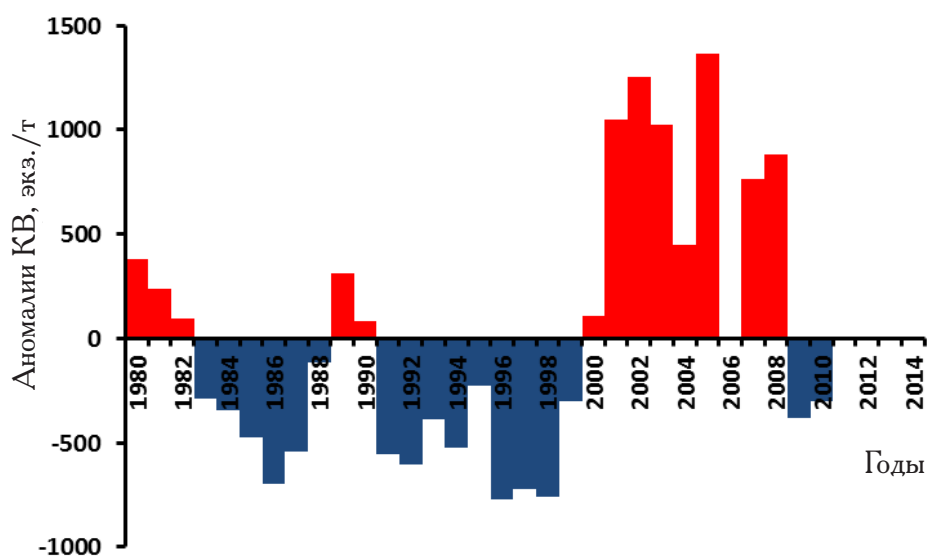


Рис. 5. Аномалии коэффициентов выживания поколений северо-охотоморского минтая в 1980–2010 гг.

Распределение коэффициентов корреляции между КВ минтая северной части Охотского моря и полем АТПО в Северной Пацифике обладает большим сходством со структурой поля корреляций между индексом осцилляции северотихоокеанских круговоротов (ОСТК) и значениями температурных аномалий.

Интегральные аномалии индекса ОСТК, смещенного на два года, и КВ (рис. 6) показали высокое значение между рассматриваемыми характеристиками (0,86), что свидетельствует о высокой статистической значимости и тесноте связи. Полученное высокое значение коэффициента корреляции свидетельствует о том, что связь между индексом ОСТК и КВ северо-охотоморского минтая лучше проявляется в совпадении многолетних тенденций, чем в линейной связи между исходными рядами.

Когда индекс ОСТК положителен, ветровое воздействие создает благоприятные условия для развития апвеллинга (подъема вод) и формирования отрицательных АТПО в Аляскинском круговороте и вдоль северной периферии субарктического круговорота. В восточной части Охотского моря повышенная теплоотдача с морской поверхности

за счет преобладания ветров северных румбов приводит к дальнейшему усилению отрицательных аномалий ТПО.

Таким образом, существует тесная связь численности пополнений минтая северной части Охотского моря с климатическими факторами, ведущей из которых в данном случае является изменчивость интенсивности субарктического океанического круговорота. Выявленный двухлетний сдвиг между климатическими изменениями и КВ, по-видимому, соответствует времени реакции популяции минтая на режимные сдвиги в колебаниях регионального климата. Изменения численности пополнения минтая также тесно связаны с изменениями интенсивности течений в субарктическом океаническом круговороте: численность пополнения выше при усилении интенсивности течений, и наоборот.

Для охотоморской популяции минтая выявлена достоверная связь между аномалиями биомассы нерестового запаса (БНЗ) и средними зимними АТПО в Охотском море. Исследованиями установлено, что при положительных аномалиях температуры наблюдается более высокий уровень запасов, чем при отрицательных (рис. 7).

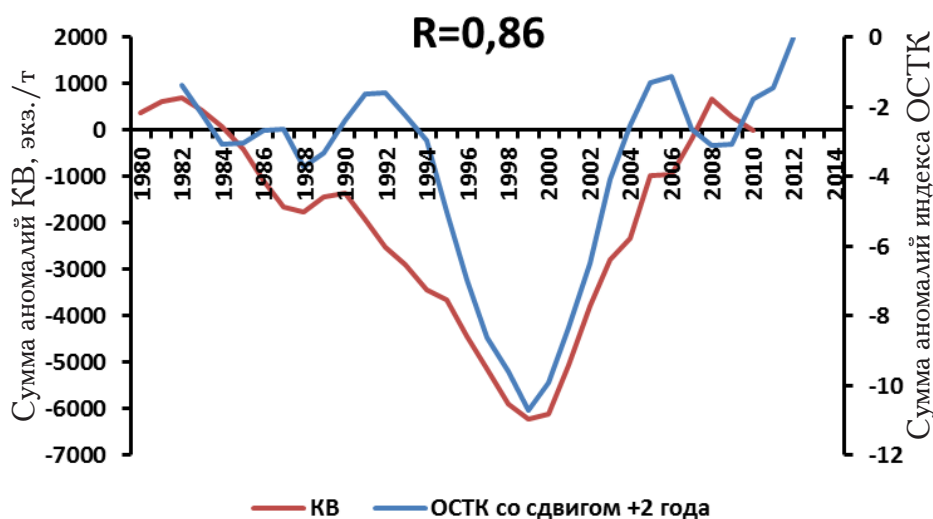


Рис. 6. Интегральные значения аномалий КВ северо-охотоморского минтая и индекса ОСТК (февраль—апрель) с лагом в 2 года в 1980—2010 гг.

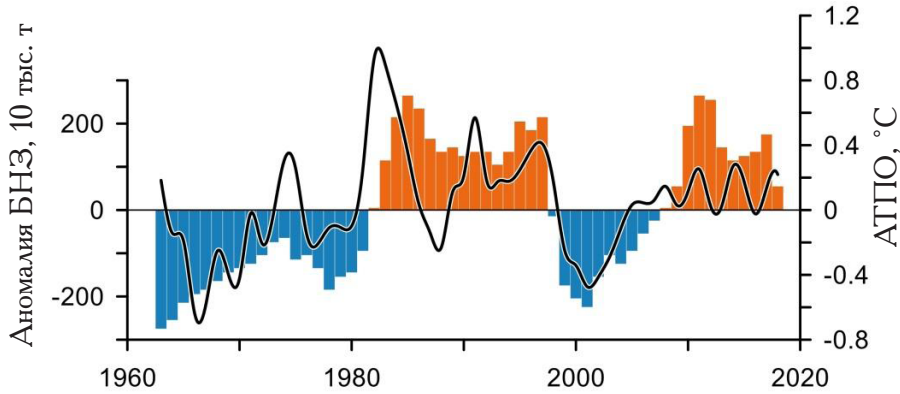


Рис. 7. Динамика аномалий биомассы нерестового запаса минтая северной части Охотского моря (БНЗ, столбики) и средних зимних аномалий температур поверхности Охотского моря (АТПО, линия).

С учетом прогнозируемого похолодания, можно ожидать, что наблюдавшийся в 2011–2013 гг. максимум нерестовой биомассы достигнет среднемноголетнего уровня в 2020 г. Затем снижение продолжится, что может привести к значительному снижению вылова, до 400–500 тыс. т, как это было в начале 2000-х гг. Ожидается, что период низких уловов продолжится около 10–15 лет, а в дальнейшем, с 2040 г. начнется период нового роста биомассы минтая.

Восточно-берингоморский минтай. Для восточно-берингоморской популяции минтая также характерна значи-

тельная межгодовая изменчивость запасов (Ianneli et al., 2016), вызванная высокими межгодовыми колебаниями численности поколений (рис. 8).

В период отрицательной фазы Тихоокеанской декадной осцилляции (ТДО) в 1963–1976 гг. для Берингова моря были характерны высокая ледовитость и холодные термические условия, как в период нереста минтая, так и в период нагула сеголеток (Родионов, Кровнин, 1991). Эти условия способствовали появлению малоурожайных и среднеурожайных поколений, которые обусловили низкую биомассу запаса в 3–5 млн. т до начала 80-х гг.

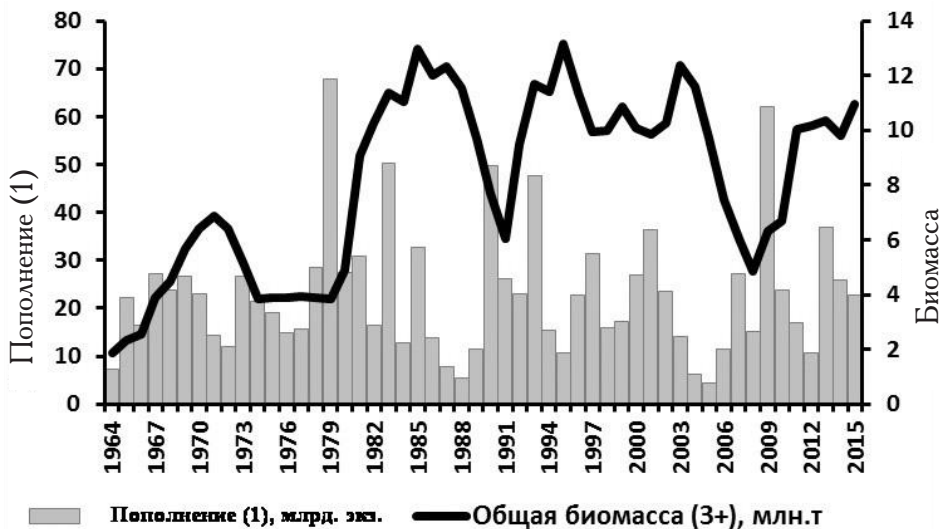


Рис. 8. Динамика пополнения и общей биомассы минтая.

В 1977–1999 гг. при ярко выраженной положительной фазе ТДО в Беринговом море сформировались условия для низкой ледовитости, преобладания положительных аномалий температуры воды во время нереста и нагула личинок и сеголетов, что способствовало их повышенной выживаемости, особенно в годы рекордно урожайных поколений 1978, 1982, 1989 и 1992 годов рождения. В дальнейшем появились еще два урожайных поколения 1997 и 2000 гг. рождения, однако их численность была в 1,5 раза ниже, чем у рекордно урожайных поколений конца 70-х начала 80-х гг.

После климатического сдвига 1998/1999 гг. началось резкое потепление моря, а в 2002–2005 гг. наблюдалась минимальная ледовитость за весь предшествующий период наблюдений. Следствием таких экстремально теплых условий стала низкая выживаемость поколений из-за преобладания в пищевом рационе низкокалорийного мелкого зоопланктона (Hollowed et al., 2017). В период похолодания, связанного с развитием отрицательной фазы ТДО в 2007–2013 гг., при средней ледовитости моря, появилась серия среднеурожайных поколений с одним высокоурожайным поколением 2008 г. рождения, обеспечившим в дальнейшем рост биомассы минтая.

При резком потеплении вод в 2014–2017 гг. повышенная урожайность отмечена у минтая, обитающего в северной части его ареала, где сохранялись холодные условия, и присутствовал крупноразмерный зоопланктон. Для минтая, обитающего в южной части Берингова моря, видимо, условия выживаемости были хуже, чем обычно.

Будущее состояние запасов восточно-берингоморского минтая будет зависеть от интенсивности похолодания и ледовитости. При значительном похолодании, которое прогнозируется авторами данной статьи (аналог — 1963–1976 гг.), в конце 2020-х начале 2030-х гг. запас снизится до минимального за последние 40 лет уровня — 5–6 млн. т, что может привести к снижению вылова в экономзоне США

на 500 тыс. т. При умеренном похолодании и близкой к средней ледовитости (аналог — 2007–2013 гг.), биомасса будет находиться на уровне 7–8 млн. т. В этом случае уловы восточно-берингоморского минтая останутся на высоком уровне.

Наваринский минтай. Климатические изменения также влияют на минтая, обитающего в северо-западной части Берингова моря. Этот район имеет большое значение для отечественного рыболовства. Данные по динамике запасов (Булатов, 2014) свидетельствуют о том, что здесь в период с начала 80-х годов прошлого века до настоящего времени с периодичностью в 10 лет отмечаются максимумы запасов. Они наблюдались в середине 80-х, середине 90-х, середине 2000-х и в 2016 г. Тогда как минимумы биомассы приходились на 1990, 2000, 2010 годы. Ожидаемое похолодание в конце 20-х — начале 30-х гг. XXI в. приведет к существенному снижению биомассы этого запаса, находящегося на северной периферии ареала, что негативно отразится на отечественном вылове. Если среднегодовалый вылов в северо-западной части Берингова моря составляет более 350 тыс. т, то ожидаемое похолодание может вызвать его снижение на 100–150 тыс. т.

Япономорский минтай. Похолодание может оказать положительное влияние на южные популяции минтая, которые размножаются у берегов КНДР и Японии, на нерестилищах которых на протяжении более чем 20-летнего периода, температура воды в период нереста была существенно выше оптимума, что и привело к появлению серии низкоурожайных поколений. Наступление периода благоприятных условий для воспроизводства минтая в Японском море позволит в 2030–2040 гг. вновь достичь 2-миллионного уровня вылова, как это отмечалось в начале 80-х гг.

Тихоокеанские лососи

Долговременные изменения состояния запасов и уловов тихоокеанских лососей характеризуются как чередование «лососе-

вых эпох», когда численность и уловы высоки, так и периодами существенного снижения численности и уловов. Для прогноза состояния запасов лососей на период до 2035 г. необходимо решить две задачи:

1. определить время окончания современной «лососевой эпохи»;
2. обосновать продолжительность периода низкой численности и низких уловов.

Изучению влияния температурных и климато-океанологических факторов на динамику численности и запасы тихоокеанских лососей посвящены работы ряда исследователей (Бирман, 1973; 1978; 1980; Давыдов, 1977; Кляшторин, Любушин, 2005; Кровнин и др., 2016; Шунтов, Темных, 2011; Klyashtorin, 2001; Kaeriyama et al., 2009), однако многие вопросы остались нерешенными. К сожалению, не удалось дать прогноз окончания современной «лососевой эпохи», который бы оправдался, и, хотя тенденция к некоторому снижению численности отмечалась в первой половине 2010-х гг., в последние годы уровень уловов тихоокеанских лососей был достаточно высоким, достигнув исторического максимума в 676 тыс. т в 2018 г. Следовательно, вопрос «когда закончится период высоких уловов», остается открытым до сих пор.

Ретроспективный анализ динамики уловов тихоокеанских лососей за последнее столетие может быть использован для определения продолжительности низкого уров-

ня запасов и возможной величины уловов в период до 2035 г. В северной части Тихого океана в XX в. отмечались два максимума численности тихоокеанских лососей (рис. 9). Первый наблюдался в 1930–1940-е гг., когда ежегодный вылов превышал 300 тыс. т. Второй начался в 1990-е гг. и продолжается до сих пор. Минимальные уловы в северо-западной части Тихого океана отмечались на протяжении 30 лет, с 1956 по 1986 г.

Снижение запасов и уловов лососей в 1950-е–1970-е гг. совпало с резким похолоданием поверхностных вод в основных районах зимнего обитания лососей — в Северной Пацифике, в районе между 30–45° с.ш. (рис. 10). Неблагоприятные условия зимовки, наблюдавшиеся в течение продолжительного периода времени, отрицательно сказались на обеспеченности пищей, что привело к резкому росту естественной смертности молоди и, в конечном итоге, значительному снижению численности поколений.

Последующий рост запасов и, соответственно, уловов дальневосточных лососей в 1982–2018 гг. связан с резким потеплением вод в западной и центральной частях Северной Пацифики. Это потепление стало следствием установления нового климатического режима в северной части Тихого океана в конце 1980-х гг., который сопровождался смещением «центра тяжести» климатической изменчивости из восточной части в западную часть (рис. 11).

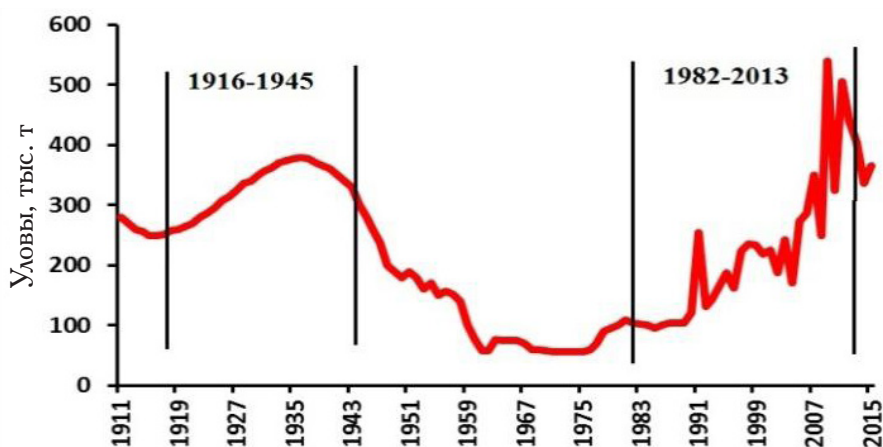


Рис. 9. Вылов тихоокеанских лососей в 1911–2016 гг., тыс. т.

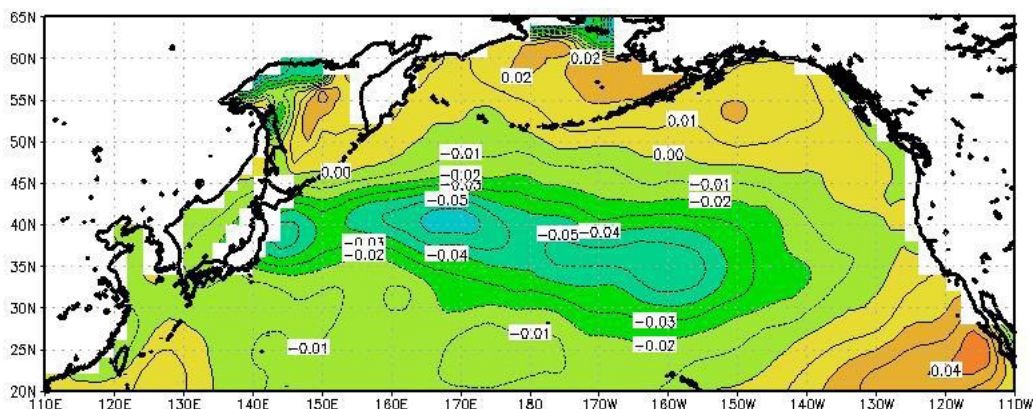


Рис. 10. Величины линейных трендов ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) средних значений зимних аномалий ТПО в Северной Пацифике в период 1946–1981 гг. (холодный период).

Таким образом, периоды роста (снижения) уловов тихоокеанских лососей совпали с потеплением (похолоданием) вод Северной Пацифики в зимний период.

Следует отметить, что на протяжении последних 10 лет отмечались очень большие колебания уловов основных дальневосточных стад горбуши. После пика вылова восточно-камчатской горбуши в 182 тыс. т в 2011 г., а западно-камчатской горбуши в 165 тыс. т в 2012 г., их уловы существенно снизились, соответственно, до 37 тыс. т в 2013 г. и 8,2 тыс. т в 2014 г. Потепление вод в Беринговом море и восточной части Охотского моря в 2014–2018 гг. способствовало формированию чрезвычайно благоприятных условий среды для лососей, нерестящихся в реках Камчатки, на всех ста-

диях их жизненного цикла. Это сказалось, прежде всего, на росте запасов и, соответственно, уловов восточно-камчатской и западно-камчатской горбуши. Так, в 2015 г. улов восточно-камчатской горбуши увеличился более чем в два раза, а западно-камчатской горбуши в 2016 г. в 9 раз по сравнению, соответственно, с 2013 и 2014 гг. В 2016 г. наблюдался резкий рост вылова четной линии восточно-камчатской горбуши (около 70 тыс. т.). В 2018 г. был получен рекордный улов лососей в 676 тыс. т. Этот беспрецедентный рост улова был в значительной мере связан с 4-х кратным увеличением вылова западно-камчатской горбуши по сравнению с предыдущим четным 2016 г. (соответственно 301,3 тыс. т и 74,8 тыс. т), в то время как улов восточно-камчатской

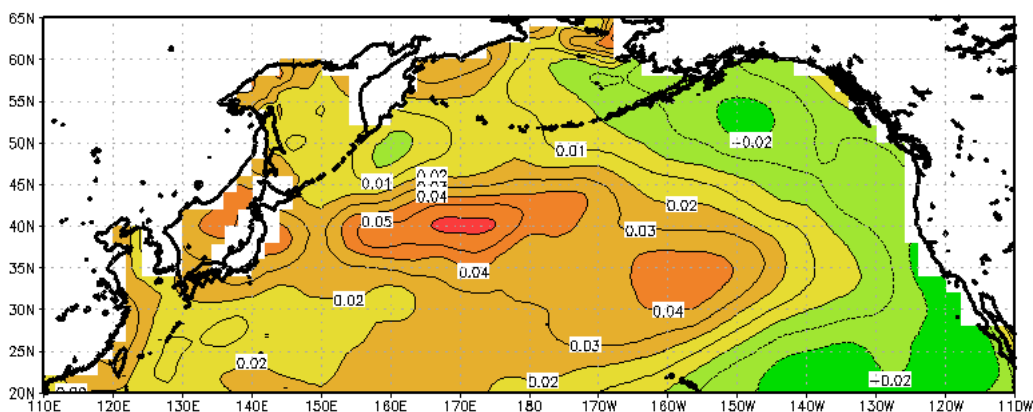


Рис. 11. Величины линейных трендов ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) средних значений зимних аномалий ТПО в Северной Пацифике в период 1982–2012 гг. (теплый период).

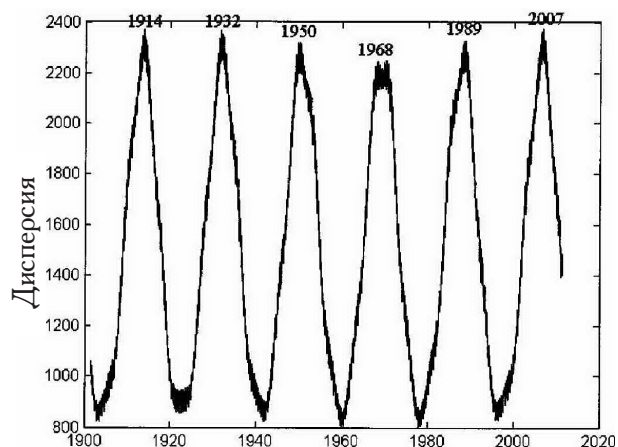


Рис. 12. Дисперсия $D(t)$ приливных колебаний скорости вращения Земли в скользящем годовом окне за период 1900–2010 гг. (Сидоренков, Сумерова, 2010).

горбуши возрос с 68,99 тыс. т в 2016 г. до 111,25 тыс. т в 2018 г., т.е. в 1,6 раза. В 2019 г. общий вылов лососей также оказался высоким, хотя и ниже по сравнению с 2018 г., составив 500 тыс. т.

В период с 2011 по 2015 г. отмечалось четырехкратное падение уловов нечетных поколений горбуши Восточного Сахалина, а вылов четных поколений горбуши Южных Курил после 2012 г. снизился в 5–6 раз. В 2015–2017 гг. у побережья Восточного Сахалина и на Южных Курилах уловы горбуши в 2015–2017 гг. были ниже прогнозируемых. Это могло быть связано с интенсивным похолоданием поверхностных вод в период ската ее молоди в конце весеннего — начале летнего сезона. В 2018 г. уловы горбуши здесь оказались на уровне прогнозируемых или несколько выше. При этом массовые подходы горбуши к Южным Курилам отмечались в августе, когда произошло значительное ослабление отрицательных АТПО в южной части Берингова моря. Вылов горбуши в первой декаде сентября 2019 г. в указанных районах, особенно у Южных Курил, оказался ниже прогнозируемого.

Такие значительные колебания в уловах горбуши были связаны с усилением короткопериодной изменчивости климатических условий в северной части Тихого океана в по-

следние годы, в частности с чередованием волн «холода» и «тепла» на севере северотихоокеанского региона, соответственно в 2012–2013 и 2014–2016 гг. В ближайшие десятилетия повторяемость «волн тепла» и «волн холода» возможно, будет увеличиваться, что затрудняет точность прогноза состояния запасов дальневосточных лососей на ближайшие 10–15 лет. С высокой долей вероятности следует ожидать снижения российского вылова лососей в северо-западной части Тихого океана к 2035 г. до 200–250 тыс. т.

Охотская сельдь

Для популяции охотской сельди выявлены циклические колебания запаса с периодами 5–6, 10 и 20 лет (Науменко, 2001; Тюрнин, 1975, 1980; Тюрнин, Ёлкин, 1984; Лобода, 2007; Панфилов, 2006, 2009). При этом каждые 6–10 лет отмечается появление подряд двух или трех урожайных поколений. Если 5–6-летняя цикличность запаса связана со вступлением в него урожайных поколений, то природа 10- и 20-летних колебаний до конца не выяснена. Можно предположить, что такая цикличность связана с колебаниями скорости вращения Земли, зависящими от фазы лунного прилива с периодом 18,6 лет. Поэтому в качестве геофизического фактора, контролирующего появление урожайных поколений сельди, в данной работе использована дисперсия приливных колебаний скорости вращения Земли (Сидоренков, Сумерова, 2010) (рис. 12).

Результаты сравнительного анализа урожайности поколений с экстремумами дисперсии приведены в таблице 1, из которой следует, что более 80% урожайных поколений связаны с максимумами и минимумами дисперсии.

Появление урожайных поколений отмечалось в те годы, когда нерестилища свободны ото льда, а температура, при которой происходит развитие сельди в период раннего онтогенеза, близка к среднемноголетним значениям или выше их.

На рисунке 13 показаны барикоциркуляционные условия в Северной Па-

Таблица 1. Связь урожайных поколений охотской сельди с максимальной и минимальной дисперсией и предшествующими урожайными поколениями, формирующими нерестовый запас

Годы урожайных поколений	Положение относительно «максимумов» и «минимумов» дисперсии	Основные годовые классы нерестового запаса
1952	максимум 1950	1947, 1945, 1944
1957	минимум 1959	1952
1958	минимум 1959	1952
1962	минимум 1959	1958, 1957
1967	максимум 1968	1962, 1961
1968	максимум 1968	1963, 1962, 1961
1974	на переходе к минимуму	1968, 1967
1978	минимум 1978	1974, 1973
1979	минимум 1978	1974, 1973
1983	на переходе к максимуму	1979, 1978
1988	максимум 1989	1984
1989	максимум 1989	1983
1996	минимум 1996	1989, 1988
1997	минимум 1996	1990, 1989, 1988
2000	на подъеме к максимуму	1996, 1995, 1994, 1991
2002	2007	1998, 1997, 1996,
2004		1995, 1993, 1992,
		1998, 1997, 1996
2006	максимум 2007	1999, 1998, 1997
2009	максимум 2007	2003, 2003, 2000, 1999
2014	на переходе к минимуму	2009, 2008, 2007, 2006
2015	минимум 2016	2010, 2009, 2008, 2007
2016	минимум 2016	2010, 2008, 2007

цифике в апреле—мае для поколений, связанных с максимумами 1967 и 1968 гг., 1988 и 1989 гг. и 2007 г. Антициклоническая циркуляция с центром над западными Алеутскими островами способствовала интенсивному притоку вод из океана и развитию положительных аномалий ТПО до 1,0–1,2°C в пределах западной части нерестилиц (рис. 13а, б). В восточной их части ТПО в 1967–1968 гг. была близка к норме. В 2009 г. высокие положительные аномалии температуры воды отмечались на всех нерестилицах (рис. 13б). Единственный максимум дисперсии приливных колебаний 1950 г. сопровождался частыми циклоническими об-

разованиями на севере Охотского моря, который в апреле-июне обусловил повышенную повторяемость северных и северо-восточных ветров, способствовавших освобождению нерестилиц ото льда.

Барико-циркуляционные условия для поколений, сопряженных с минимумами дисперсии (1962, 1978–1979, 1996–1997, 2015–2016 гг.) коренным образом отличаются (рис. 14). Характерная особенность этих лет — пояс пониженного атмосферного давления, простирающийся от Восточной Азии (Дальневосточная депрессия) через Охотское море, Камчатку в Берингово море. Однако связанные с этим поясом циклоны

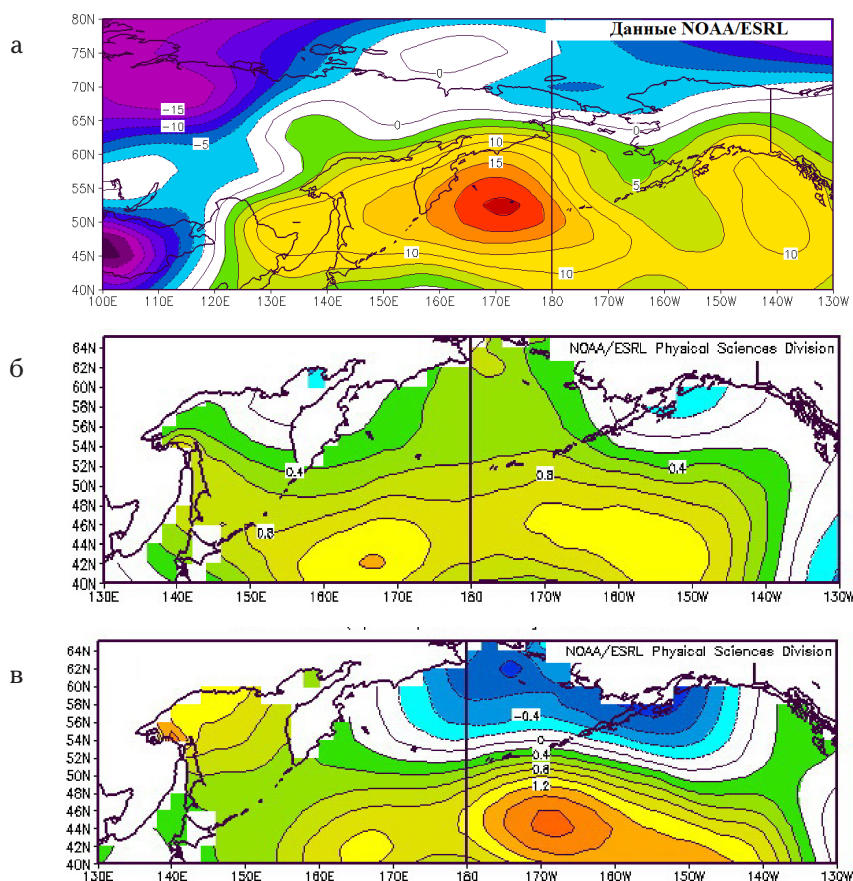


Рис. 13. Аномалии геопотенциальных высот (апрель—май) на поверхности 1000 гПа, осредненные за 1967, 1968, 1988, 1989, 2007 гг. (а); АТПО в Северной Пацифике в мае-июне 1967—1968 гг. (б) и 2009 г. (в).

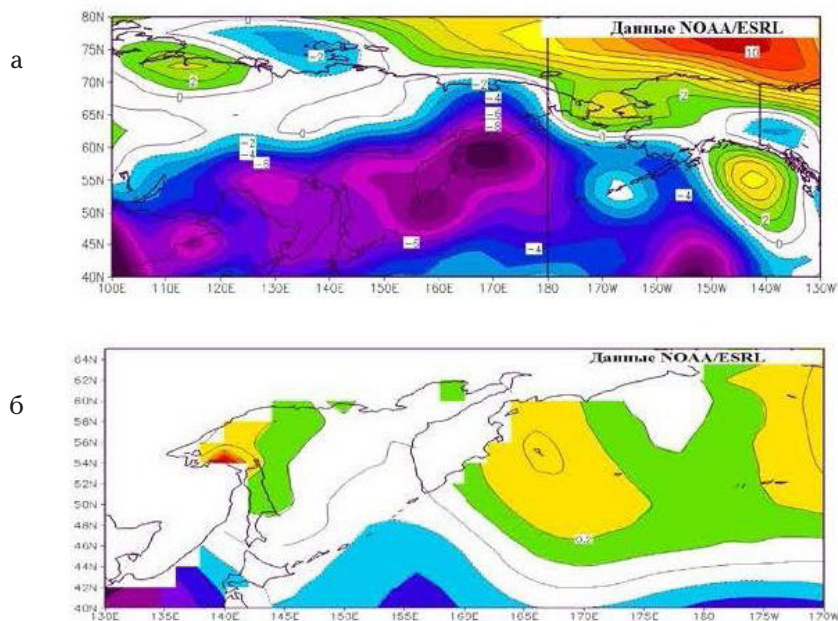


Рис. 14. Аномалии геопотенциальных высот (апрель—май) на поверхности 1000 гПа (а) и АТПО (май—июнь) (б) в Северной Пацифике, осредненные за 1962, 1974, 1977, 1978, 1995, 1996, 2016, 2017 гг.

были, как правило, неглубокими, обусловившими лишь незначительное охлаждение вод. Об этом можно судить по данным для 1978 и 1979 гг., когда значения ТПО были близки к среднему уровню или имели слабо положительные аномалии (Тюрнин, Ёлкин, 1984). В первой декаде июня температура воды на нерестилищах составляла, соответственно, 8,79°C и 7,17°C. Почти все урожайные и среднеурожайные поколения появились в умеренные или теплые по весенним термическим условиям годы.

Для максимумов дисперсии приливных колебаний скорости вращения Земли характерна активизация антициклогенеза над Охотским морем, создающая благоприятные условия для развития сельди. Однако в периоды появления минимумов дисперсии приливных колебаний скорости вращения Земли, появление урожайных поколений также возможно, но только в годы со слабой циклонической активностью.

Максимумы и минимумы дисперсии приливных колебаний вращения Земли устойчивы во времени, что создает основу для прогноза урожайности поколений охотской сельди. Отсюда можно полагать с большой долей вероятности, что урожайные поколения сформируются в 2025–2026 гг., что приведет к росту запасов в 2030–2035 гг.

Сахалино-хоккайдская сельдь

История промысла сахалино-хоккайдской сельди насчитывает более 150 лет. Во второй половине XIX в. и первой половине XX в. (1870–1945 гг.) отмечалась эпоха высокой численности этого вида сельди, которая продолжалась 75 лет, и характеризовалась уловами более 300 тыс. т (рис. 15а). Исторический максимум вылова составлял 1 млн. т (Науменко, 2001), однако к концу XX в. промысел практически перестал существовать. Одной из возможных причин Н. С. Фадеев (2003) считал загрязнение нерестилищ. Прогноз этого автора на перспективу был пессимистичен.

Продолжительность эпохи высоких уловов связана с длительным периодом охла-

ждения вод в экосистеме Курошио-Ойясио (рис. 15б). По мнению авторов данной статьи, наступление продолжительной эпохи низких температур, вызванных вековым минимумом солнечной активности в конце XIX в. (рис. 15в), сформировало благоприятные условия для успешного воспроизводства сельди.

В связи с прогнозом ожидаемого в 2030-е гг. похолодания вод Северной Пацифики при переходе к отрицательной фазе 60-летнего климатического цикла (Булатов и др., 2016), а также возможным наступлением векового минимума солнечной активности, есть основания полагать, что к 2035 г. запасы сельди восстановятся до высокого уровня и уловы достигнут 300 тыс. т.

Японская скумбрия

Популяция тихоокеанской скумбрии, обитающая к востоку от Японии, в районе течения Курошио и в зоне смешения вод Ойясио и Курошио, является крупнейшей в Северной Пацифике (Chiba et al., 2010). Максимальные уловы СССР отмечались в 1970-е гг. и достигали 250 тыс. т, но в 1980-е гг. они резко снизились до 10–20 тыс. т. В 1990 г. отечественный лов скумбрии прекратился. Известно, что этот вид обладает значительной волатильностью запасов. Динамика биомассы тихоокеанской скумбрии характеризовалась максимумом в конце 70-х гг., достигнув 6 млн. т, после чего произошло резкое обрушение запаса в 1980 г. до 2 млн. т, а к 1990 г. — до 0,2–0,4 млн. т (рис. 16а). Снижение запасов произошло из-за ухудшения условий воспроизводства, что привело к низкой численности сеголеток (рис. 16а, б). Однако в последние годы, согласно данным специалистов Тихоокеанского филиала ВНИРО, отмечен резкий рост запасов. Учетная биомасса скумбрии в период нагула достигла 4 млн. т, что делает перспективы масштабного промысла этого вида вполне оптимистичными.

Представляется интересным сравнить динамику биомассы скумбрии с Тихоокеанской декадной осцилляцией. Так,

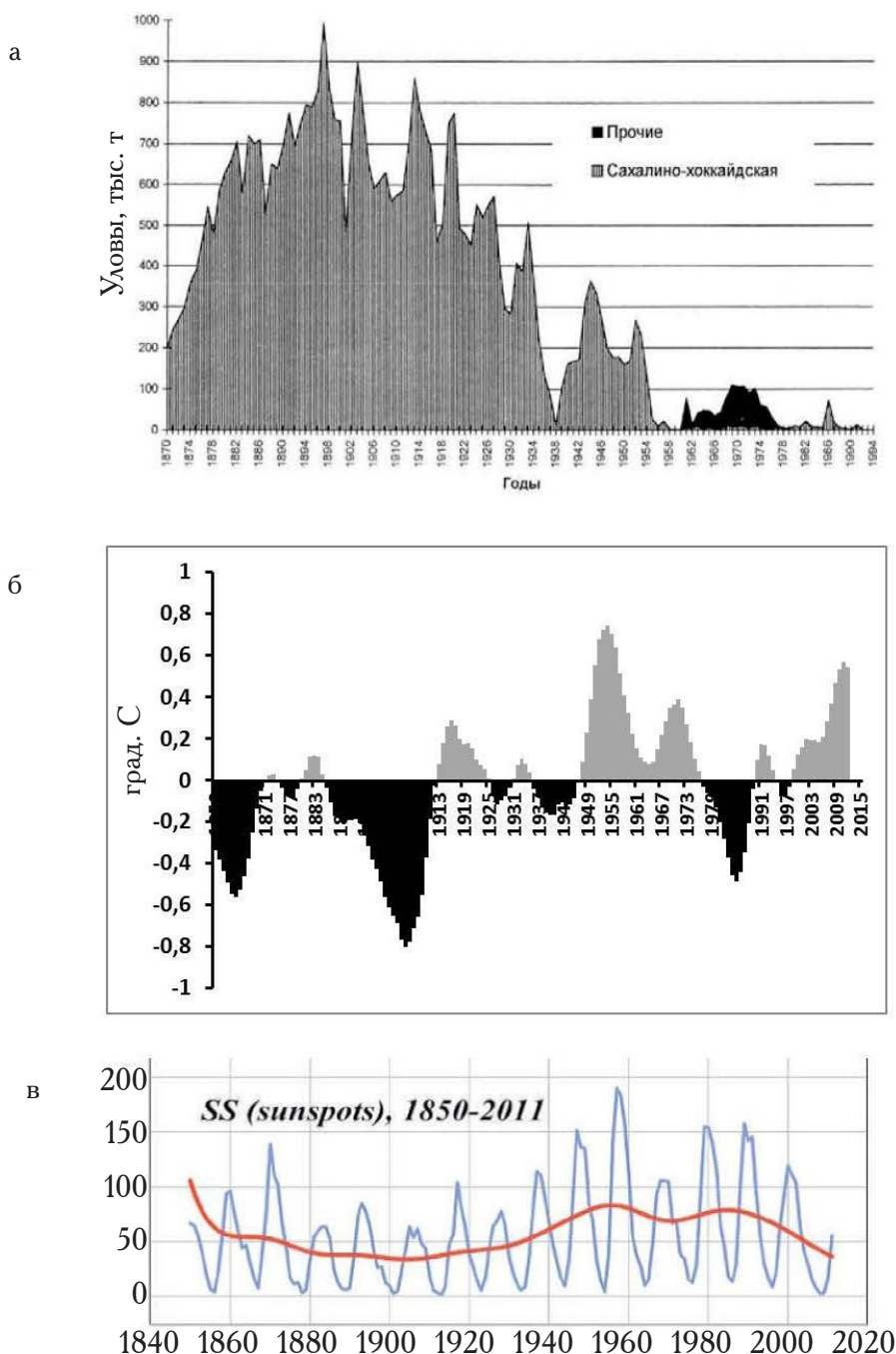


Рис. 15. Вылов сахалино-хоккайдской сельди (а); динамика АТПО, сглаженная 11-летним скользящим осреднением, в районе Курошио-Ойясио в январе—апреле 1854—2017 гг. (б); количество солнечных пятен (голубая линия) и вековые колебания солнечной активности (1860—1945 и 2010—2070 гг.) (красная линия) (Второй оценочный..., 2014) (в).

в 1970-е гг. (отрицательная фаза ТДО) отмечалась высокая урожайность поколений, а с 1980-х гг., при переходе к положительной фазе ТДО, сформировались малоурожай-

ные поколения, чередовавшиеся с редкими среднеурожайными поколениями. Эпоха потепления, длившаяся более 20 лет, скоро завершится. Все чаще стали отмечаться отри-

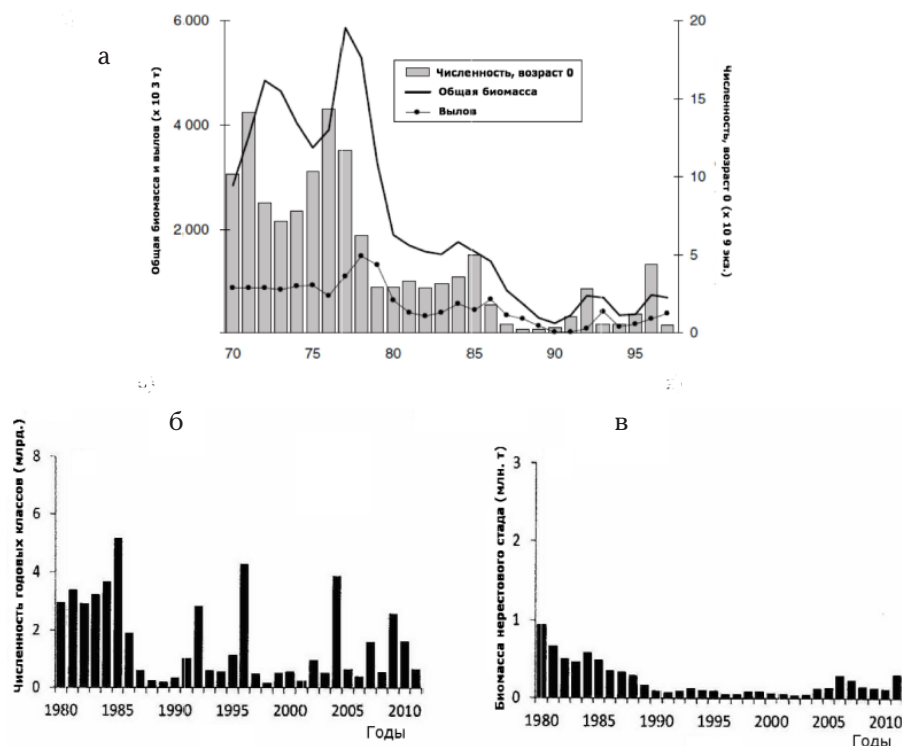


Рис. 16. Динамика биомассы, уловов и численности сеголеток тихоокеанской скумбрии (Watanabe, Yatsu, 2004) (а); численность годовых классов в 1980–2011 гг. (б) и биомасса нерестового стада (млн. т) в эти же годы (в) (Ogawa, Hiramatsu, 2015).

цательные АТПО в северо-западной части Тихого океана, что уже привело к появлению первых признаков нового роста нерестового запаса скумбрии, появившихся после 2004 г. (рис. 16в).

Еще одним фактором, влияющим на выживание поколений скумбрии, является взаимодействие вод Куроисио с прибрежными водами на основных нерестилищах скумбрии. В тех случаях, когда во время нереста ось Куроисио пересекает районы нерестилищ, его воды могут выносить значительную часть личинок, не перешедших на внешнее питание, за пределы шельфа в бедные пищей районы, где они погибают (Иванов, Беяев, 1996). В те годы, когда ось Куроисио располагается за пределами шельфа и нерестилищ, выживаемость резко возрастает.

Кроме того, на урожайность поколений скумбрии может оказывать влияние интенсивность течения Куроисио. В работе МакКола (MacCall, 2009) показано, что низкая

интенсивность течения благоприятствует выживаемости поколений мелких пелагических рыб в личиночной стадии. В 1950-е–1970-е гг., когда интенсивность течения Куроисио была низкой, численность и биомасса скумбрии находились на высоком уровне. Рост интенсивности течения после 1980 г., совпавший с потеплением, привел к снижению запасов этого промыслового вида.

Новое ослабление интенсивности течения Куроисио отмечено в конце первого десятилетия 2000-х годов. (Sugisaki et al., 2010), что привело к появлению высокоурожайных поколений скумбрии в период 2013–2018 гг.

Таким образом, основываясь на изменившихся климато-океанологических условиях, можно предполагать, что скоро начнется новая «скумбриевая эпоха», которая продлится не менее 20 лет. Общая биомасса запаса скумбрии в 2020-е–2030-е гг. может составить 6 млн. т. Это позволит России

добывать около 200 тыс. т тихоокеанской скумбрии.

Дальневосточная сардина

Дальневосточная сардина, или как ее обычно называют «сардина-иваси», является флуктуирующим видом, для которого характерны значительные изменения запасов. В периоды высокой численности ареал этого вида охватывает умеренные широты северной части Тихого океана от берегов Кореи и Японии до побережья США, а также субарктических вод Берингова и Охотского морей.

В XX в. были зафиксированы два периода высоких уловов сардины японскими рыбаками: в 1925–1941 гг., 1973–1994 гг. Если в первом случае вылов превысил 2,5 млн. т, то во втором достиг 4,5 млн. т. В период высокого уровня запасов дальневосточная сардина имела важное значение не только для японского промысла, но и для отечественного рыболовства. В 1990 г. был достигнут исторический максимум ее вылова — 0,9 млн. т (Беляев, 2004).

Многие исследователи связывают цикличность и квазисинхронность резких всплесков численности всех популяций сардины в Мировом океане с низкочастотными колебаниями климата, которым свойственна квазипериодичность в течение нескольких десятилетий (Кляшторин, Любушин, 2005; World-wide fluctuations ..., 1989; Kawasaki, 1993; Lluch-Cota et al, 1997; Alcheit, Bakun, 2010; Climate forcing and Kuroshio ..., 2013).

«Сардинные эпохи» возникают вследствие вступления в промысловую часть популяции непрерывной серии урожайных поколений, появившихся благодаря высокой выживаемости личинок и молоди в субтропических и смешанных водах (Беляев, Кеня, 1987; Ватанабе, 1981; Соколовская, 1988; Kawasaki, 1993; Noto, Yasuda, 1999; Nishikawa et al., 2011).

Механизм появления урожайных поколений авторами данной статьи подробно проанализирован в отдельной работе (Булатов и др., 2016). Аномальное усиление

в зимний период ветров северных и западных румбов сопровождалось развитием отрицательных АТПО и заглублением слоя конвективного перемешивания. Это привело к увеличению концентраций биогенных элементов в фотическом слое и резкому увеличению биопродуктивности субтропических вод в зимне-весенний период, создавая благоприятные условия для повышенной выживаемости личинок и формирования урожайных поколений сардины. В такой период в субтропических водах Курошио устанавливается холодный «субарктический гидрометеорологический режим».

Тогда как в периоды аномального ослабления зимних ветров в субтропических водах, напротив, развиваются положительные АТПО и неглубокий перемешанный слой. Так формируется типичный «субтропический гидрометеорологический режим», при котором в фотическом слое концентрация биогенов, необходимых для высокой биопродуктивности вод, существенно ниже необходимого уровня. Развитие указанных гидрометеорологических режимов определяется региональными и глобальными климатическими изменениями.

Кроме АТПО, обнаружена связь между «сардинными эпохами» и Тихоокеанской декадной осцилляцией (ТДО). Обе всплески численности сардины, отмеченные в 1920-х — 1930-х гг. и 1970–1980-х гг., развивались по схожему сценарию на фоне преобладания положительной фазы ТДО (рис. 17а), которая сопровождалась формированием отрицательных аномалий температуры и снижением теплосодержания поверхностного слоя вод в пределах системы течений Курошио-Ойясио (рис. 17б). В первой половине прошлого века положительная фаза ТДО продолжалась с 1922 по 1945 г., хотя резкое уменьшение значений ее индекса произошло уже в 1942 г., т.е. практически совпало с окончанием «сардинной эпохи» первой половины XX в. Новая положительная фаза ТДО установилась зимой 1976–1977 гг. и получила максимальное развитие в середине 1980-х гг. (рис. 17а).

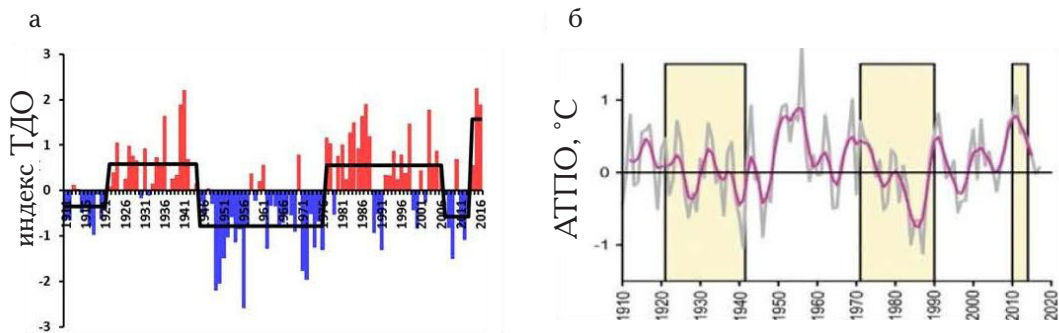


Рис. 17. Изменения индекса ТДО (январь-февраль) в 1911–2016 гг. (а) и среднезимняя (январь-апрель) АТПО в районе 35° – 40° с.ш., 150° – 180° в.д. (серая линия) со сглаженным 11-летним скользящим осреднением (фиолетовая линия) (б). «Сардинные эпохи» обозначены: горизонтальными линиями (а) и прямоугольниками (б).

Хотя положительная фаза ТДО, установившаяся зимой 1976–1977 гг., продолжалась до 2006 г., последняя «сардинная эпоха» закончилась гораздо раньше — в конце 1980-х гг. Ее окончание совпало с установлением нового климатического режима в северной части Тихого океана, сопровождавшегося резким потеплением вод в западной и центральной частях океана и установлением «субтропического гидрометеорологического режима».

С 2010 г. начался новый этап роста биомассы сардины, вызванный появлением урожайных поколений. Этот рост был связан с благоприятными абиотическими условиями для ее воспроизводства, обусловленными формированием отрицательных АТПО в зимние периоды 2010–2015 гг. к востоку от Японии. В результате, впервые за многие годы в экономической зоне России объем уценной нагульной сардины уже в 2016 г. составил около 2 млн. т (А. Байталюк, персональное сообщение).

Рост биомассы сардины в первой половине 2010-х гг. начался за несколько лет до установления положительной фазы ТДО в январе 2014 г. Схожие ситуации наблюдались в периоды развития «сардинных эпох» в 1920-е–1930-е гг. и 1970-е–1980-е гг. По аналогии с XX столетием можно было бы предположить, что в ближайшие годы произойдет переход высокой численности ряда последних поколений

сардины в новую эпоху ее высокой биомассы и уловов.

В обзорной работе, посвященной анализу причин изменчивости численности и биомассы сардины-иваси (Булатов и др., 2016), рост запасов сардины в 2010–2014 гг. рассматривается, как преддверие будущей «сардинной эпохи». Установление же новой «сардинной эпохи» авторы связывают с переходом к очередной отрицательной фазе 60-летнего цикла колебаний АТПО в Северной Пацифике в 2030-е гг. (рис. 18).

В настоящее время сложно предсказать длительность эпохи и величину роста запаса, но даже при умеренном росте, вылов России может составить не менее 300 тыс. т, начиная с 2020-х годов, и вновь достичь рекордных 800 тыс. т к 2035 г.

Норвежская весенне-нерестующая сельдь

Популяция норвежской весенне-нерестующей сельди — одна из крупнейших в северо-восточной Атлантике (СВА). Она обитает в Норвежском и Баренцевом морях. Биомасса ее общего запаса в «сельдевые эпохи» достигает 20 млн. т, а уловы — до 1,5–2,0 млн. т. История промыслового освоения и анализ влияния среды обитания на динамику запасов сельди неоднократно рассматривались в литературе (ICES, 2017; Krovnin, Rodionov, 1992; Nakken, 2008; Toresen, Ostvedt, 2000). Мониторинг запасов этого важного объекта промысла ведется

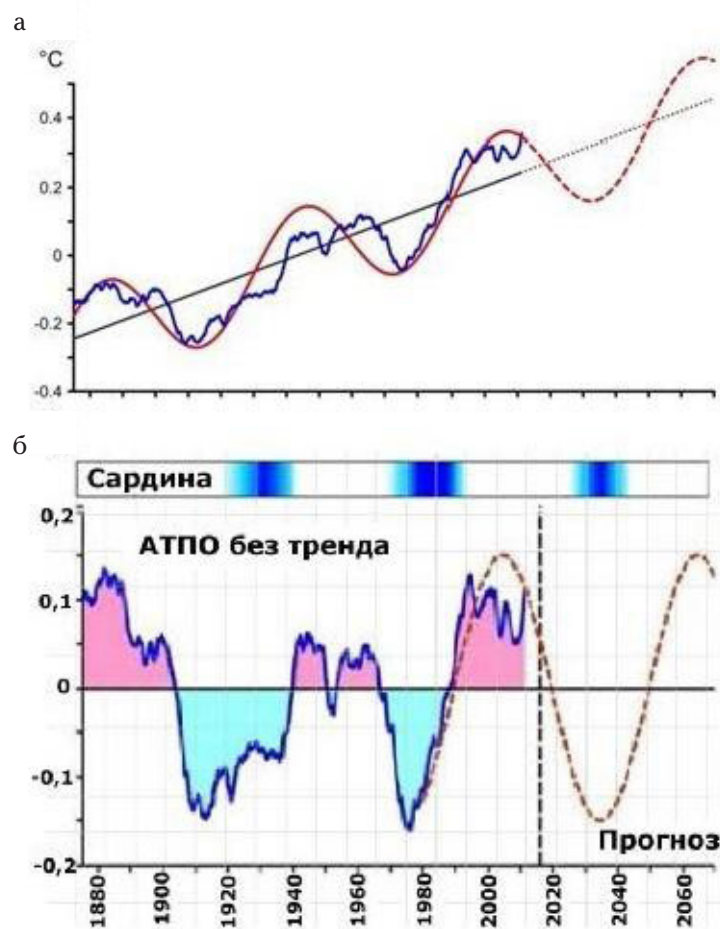


Рис. 18. АТПО с трендом (а) и после удаления тренда (б). АТПО (апрель—июнь) сглажены 11-летним скользящим осреднением.

на регулярной основе (Шамрай, 2017; ICES, 2017). Два периода высокой биомассы и высоких уловов, наблюдавшихся в 1920—1965 гг. и 1990—2016 гг., связаны с эпохами потепления.

Причинами длительного коллапса запасов сельди в 1970-х и первой половине 1980-х годов стало похолодание в 1963—1980-е гг. В этот период не появилось ни одного урожайного поколения. Два мощных по численности поколения, появившихся в 1991—1992 гг. обеспечили рост биомассы к 1999 г. до уровня более 5 млн. т. Многочисленные поколения 2002, 2004 гг. позволили биомассе нерестового запаса в 2008—2009 гг. вырасти до 7 млн. т (рис. 19).

В последующий период столь урожайных поколений не отмечалось, что и при-

вели к снижению запасов. Основной причиной низкой урожайности стало, вероятно, ухудшение условий дрейфа личинок от прибрежных нерестилищ у Западной Норвегии до южной части Баренцева моря и Медвежинско-Шпицбергенского района.

Период 1923—1994 гг. характеризовался довольно тесной связью между пополнением сельди и среднегодовой температурой воды на Кольском разрезе в слое 200—0 м ($r=0,56$) (рис. 20). Однако, начиная с 1995 г., наблюдавшаяся до этого устойчивая связь стала ослабевать, а с 2004 г. тенденции в изменении рассматриваемых характеристик стали противоположными. Учитывая, что положительная связь между температурой воды на Кольском разрезе и индексом САК была в эти годы высокой, можно полагать,

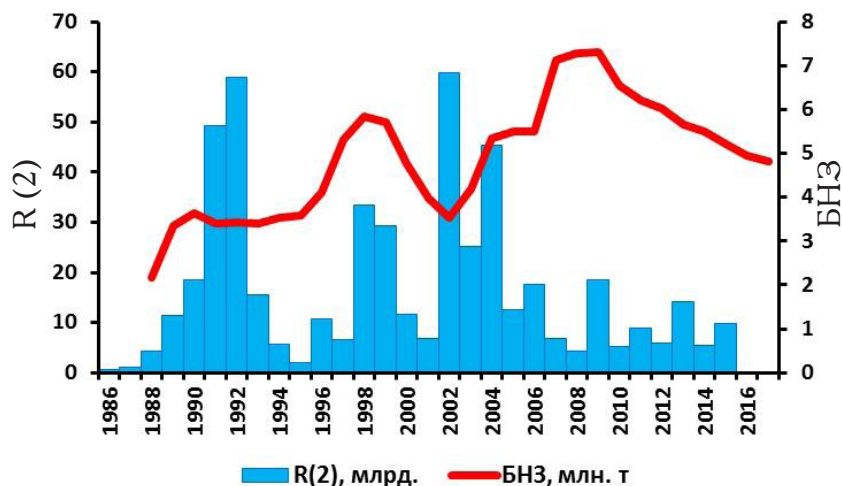


Рис. 19. Динамика биомассы нерестового запаса (БНЗ) весенне-нерестующей сельди и численность пополнения в возрасте 2 лет в 1986–2015 гг. (ICES, 2017). Годы на оси абсцисс соответствуют годам нереста.

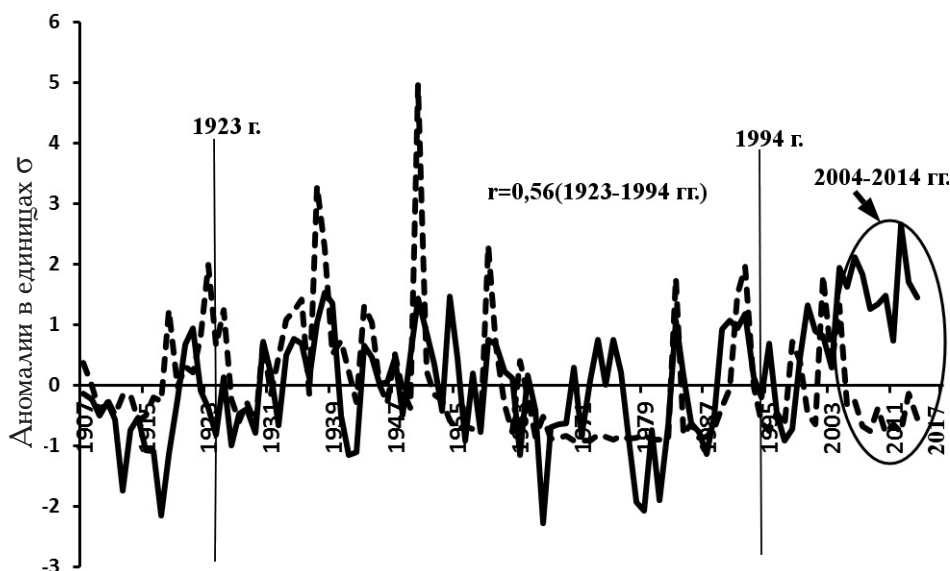


Рис. 20. Динамика аномалий среднегодовой температуры воды (0–200 м) (сплошная линия) на Кольском разрезе и пополнения сельди в возрасте 0+ за период 1907–2015 гг. (пунктирная линия).

что эти два фактора до 2004 г. были определяющими в формировании урожайных поколений. После 2004 г. связь между температурой и пополнением стала отрицательной, следовательно (рис. 20) указанные факторы перестали быть определяющими. Видимо, в 2004–2014 гг. выживаемость поколений сельди определялась другими факторами.

Успешность воспроизводства сельди в значительной степени зависит от интенсивности переноса вод и выноса личинок в юго-западную часть Баренцева моря. Выявлена тесная отрицательная связь ($r = -0,66$) между интегральными кривыми аномалий пополнения сельди в возрасте 0+ и среднего зимнего (январь–март) индекса скандинав-

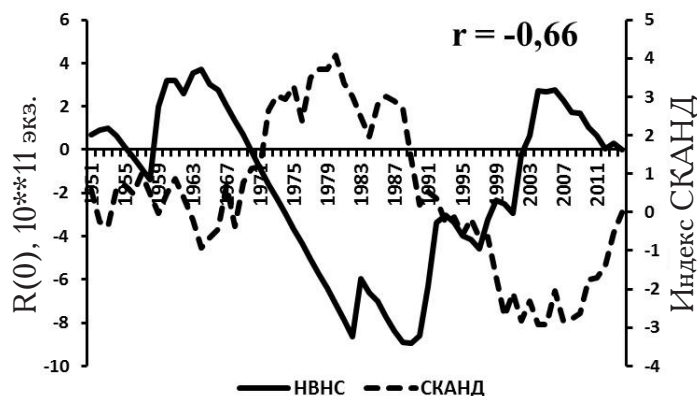


Рис. 21. Интегральные значения аномалий пополнения норвежской весенне-нерестующей сельди (НВНС) в возрасте 0+ и среднего зимнего индекса СКАНД в период 1951–2016 гг.

ской дальней связи (СКАНД). СКАНД имеет два основных центра противоположной полярности, расположенных, соответственно, над Скандинавским полуостровом и Западной Европой. Его положительной фазе соответствует развитие блокирующего антициклона над Скандинавией и области низкого давления над Европой (рис. 21). Аномальный восточный перенос в атмосфере на южной периферии антициклона замедляет прибрежные течения, которые выносят молодь сельди в Баренцево море, снижая, таким образом, успешность воспроизводства. Очевидно, повышенная частота формирования зимних антициклонов после 2005 г. стала одной из основных причин снижения численности пополнения сельди.

Если предположить, что современное потепление вод Норвежского и Баренцева морей продолжится до завершения положительной фазы АМО, то вплоть до середины 2020-х гг. транспорт личинок сельди останется ведущим фактором, определяющим урожайность ее поколений. При этом наблюдающаяся с 2007 г. повышенная повторяемость лет с положительной фазой СКАНД в зимне-весенний период будет способствовать появлению в основном неурожайных поколений сельди. Благоприятные условия для появления средних или урожайных поколений сельди будут формироваться в годы отрицательных индексов СКАНД и в теплую фазу АМО до середины 2020-х гг.

При переходе АМО к отрицательной фазе урожайность поколений сельди снизится. Видимо, вылов России в 2035 г. не превысит 100 тыс. т.

Треска

Треска Берингова моря. Вылов трески в Беринговом море рыбаками США и России в 1984–1998 гг. достигал уровня 300–350 тыс. т, но в 2000-е гг. снизился до 220–250 тыс. т.

В восточной части моря уловы находились на стабильно высоком уровне в 150–200 тыс. т и более на протяжении всего периода 1984–2008 гг. Динамика биомассы и урожайность восточно-берингоморской трески в период с 1977–2016 гг., до известной меры, сходна с динамикой восточно-берингоморского минтая. В конце 1970-х гг. биомасса отмечалась на самом низком уровне — 650 тыс. т, тогда как в 1980-е годы, после резкого роста запасов, достигла уровня 2,1 млн. т. В дальнейшем, начиная с 1990 г. наблюдалось неуклонное снижение биомассы трески, которое в 2008 г. достигло исторического минимума — 650 тыс. т. После чего вновь наблюдался стремительный рост биомассы, похожий на тот, который отмечался 30 лет назад. В 2016 г. биомасса достигла нового максимума и составила 1,85 млн. т.

Эти изменения биомассы связаны с различной численностью поколений, пополнявших промысловый запас. В 1980-е гг.

рост запаса был обусловлен рядом высокоурожайных поколений 1977–1984 гг. После малоурожайных поколений 1986 г. и 1987 г., запас снизился до 1,25 млн. т и его дальнейшее снижение связано со среднеурожайными поколениями, которые чередовались с малоурожайными. В 2001–2005 гг. низкоурожайные поколения обусловили снижение запаса в 2008 г. до уровня 1977 г. – 650 тыс. т.

Новая серия урожайных поколений появилась в отрицательную фазу ТДО во время похолодания и повышенной ледовитости моря в 2006–2013 гг. Тогда как в теплую фазу ТДО в 2014–2017 гг. отмечались только неурожайные поколения. С учетом ожидаемого восстановления отрицательной фазы ТДО в 2020-е и в начале 2030-х гг. при умеренном похолодании и средней ледовитости биомасса этой популяции останется на высоком уровне 1,5–2,0 млн. т, что приведет к расширению ареала и большей протяженности нагульных миграций, в том числе и в северную часть Берингова моря.

Северо-западная часть Берингова моря. В уловах отечественных рыбаков Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна треска имеет важное значение, занимая четвертое место после минтая, тихоокеанских лососей и сельди. В северо-западной части

моря (Наваринский район) обитает наиболее крупная популяция трески, уловы которой после максимума, отмеченного в 80-е годы, существенно снизились в 2000-х гг. (50–60 тыс. т). Однако, в последние годы вылов трески, в связи со стремительным ростом запасов, вновь существенно вырос, и достиг в 2018 г. 83 тыс. т.

Динамика изменчивости появления урожайных поколений характеризуется квазидекадными (порядка 15 лет) колебаниями численности. Изменения численности поколений трески в возрасте 1 год в северо-западной части Берингова моря в 1967–2015 гг. представлены на рисунке 23. Обращает на себя внимание резкий рост численности пополнения 2011–2015 гг. рождения. От 2010 к 2011 г. численность скачкообразно возросла с 284 до 3970 млн. экз., т.е. на один порядок, и сохранялась на высоком уровне в последующие годы. Появление высокоурожайных поколений привело к росту запасов, что отразилось на росте уловов и значениях уловов-на-усилие. По данным за период с 1967 по 2015 гг. численность пополнения показала хорошо выраженную изменчивость с максимумами в середине 1970-х, в начале 1990-х гг., а также в период 2011–2015 гг., т.е. с периодом колебаний 15–20 лет (см. рис. 23).

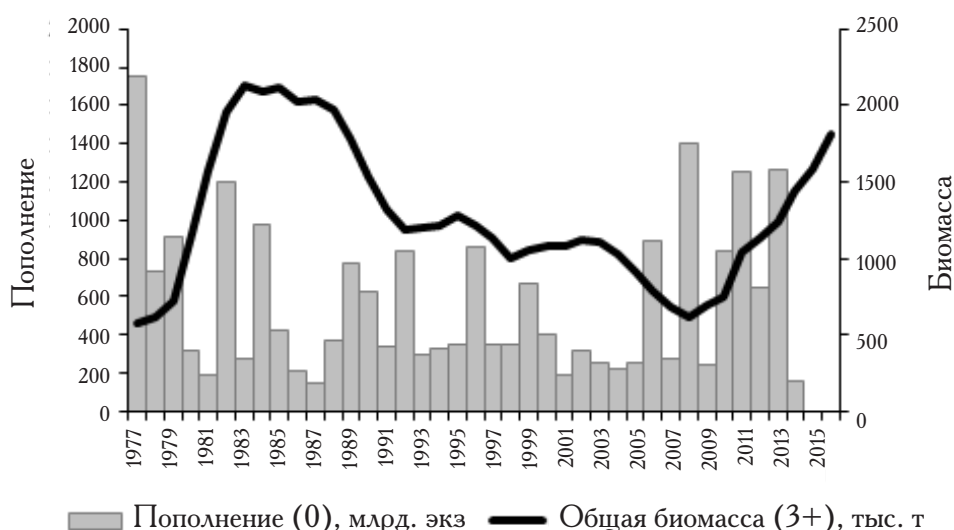


Рис. 22. Динамика пополнения и общей биомассы восточно-берингоморской трески (данные с сайта <https://www.beringclimate.noaa.gov/data/BCresult.php>).

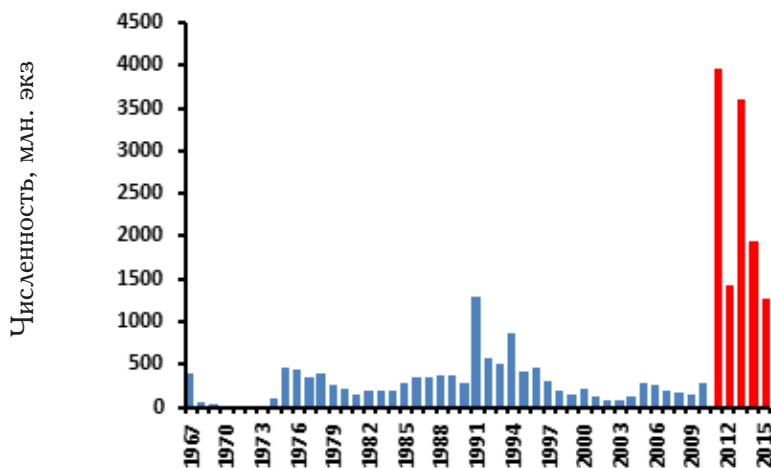


Рис. 23. Изменения численности популяции трески в северо-западной части Берингова моря в возрасте 1 год. Годы на горизонтальной оси соответствуют годам нереста.

Расчет коэффициентов выживания (КВ) трески показал, что ее максимальные величины наблюдались в 1975–1976 гг. и в 2011–2013 гг. (Кровнин и др., 2017). Таким образом, успешность выживаемости поколений трески в период с 2011 по 2015 гг., несомненно, была высокой, но не являлась экстраординарной. Более того, в середине 1970-х гг. выживаемость поколений была даже выше, хотя численность пополнения в эти годы оказалась значительно ниже, чем в 2010-х гг. Различия, вероятно, связаны с исходной величиной биомассы нерестового запаса.

На рисунке 24 показано распределение значений средних зимних (январь–апрель) АТПО в годы с максимальными коэффициентами выживания трески северо-западной части Берингова моря. Оба периода характеризуются схожими, аномально холодными зимами в Беринговом море, предшествующими годам с высокой выживаемостью поколений трески. Таким образом, можно предположить, что аномально суровые зимы, отмеченные в северо-западной части Берингова моря в первой половине 2010-х гг., способствовали появлению урожайных поколений.

В работе А. С. Кровнина с соавторами (2017) показано, что условия воспроизводства трески тесно связаны с северным центром северотихоокеанского колебания,

располагающимся над Беринговым морем. В свою очередь, знак аномалий атмосферного давления в нем связан с фазой арктического колебания (АК) с задержкой в два года. Следовательно, условия среды для воспроизводства трески северо-западной части Берингова моря в значительной степени зависят от состояния арктического колебания, которое, как отмечалось выше, оказывает большое влияние на высокоширотные северные районы континентов и океанов (Thompson and Wallace, 1998; Xie et al., 1999). Таким образом, климатическая изменчивость в северо-западной части Тихого океана и прилегающих морях на временных масштабах от 8 до 15 лет связана с квазидекадными изменениями АК/САК, что, в свою очередь, определяет отмеченную выше квазидекадную изменчивость численности пополнения трески.

Выявленный характер изменчивости пополнения трески позволяет предположить, что период высокоурожайных поколений будет наблюдаться также и во второй половине 2020-х — начале 2030-х г. Соответственно, к 2035 г. биомасса трески северо-западной части Берингова моря достигнет высоких значений, что позволит нашим рыбакам нарастить вылов в этом районе до 200 тыс. т.

Треска Баренцева моря. Популяция северо-восточной арктической трески — крупнейшая по биомассе в Северной Атлан-

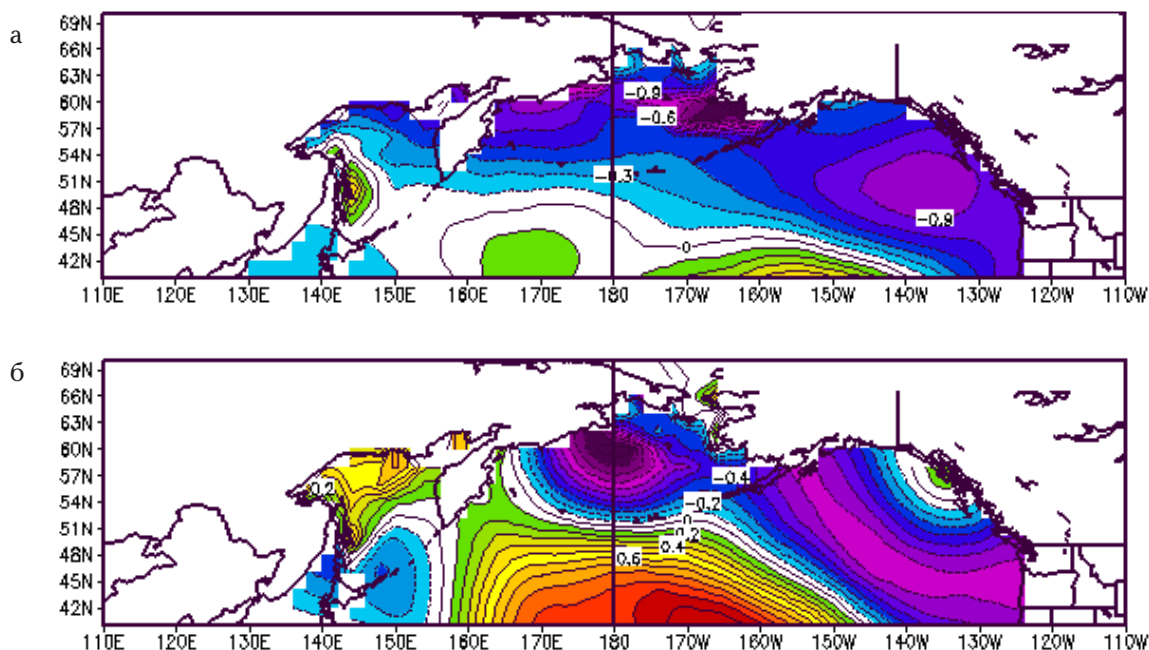


Рис. 24. Распределение АТПО (январь—апрель) в Северной Пацифике в годы с максимальными КВ трески северо-западной части Берингова моря: 1975—1976 (а) и 2011—2013 (б).

тике. Ее интенсивное освоение, а главное, изучение — ведется с начала XX в. (Треска..., 2003; Шамрай, 2017; The Varents Sea..., 2011; ICES, 2019). Динамика численности пополнения и, соответственно, общей биомассы, подвержены значительной межгодовой изменчивости. Так, после достижения максимума в середине 40-х гг. — начале 50-х гг. более 4 млн. т, в течение ряда лет происходило неуклонное снижение общего запаса, которое привело в 1982 г. к историческому минимуму — 0,7 млн. т. В дальнейшем отмечался неуклонный рост биомассы, который позволил запасам приблизиться к уровню 4,5 млн. т в 2012 г. (рис. 25). Таким образом, между максимумами общего запаса прошло 60 лет. Изменчивость запасов, связанная с чрезвычайно высокой изменчивостью урожайности поколений, привела к тому, что на протяжении 70-летнего периода наблюдений отмечалось 6-ти кратное изменение общей биомассы, обусловившее значительную волатильность уловов. Учитывая, что треска Баренцева моря является ключевым объектом промысла в Северном рыбохозяйственном

бассейне, изучение причинно-следственных связей и формирование прогноза запасов на перспективу являются важными задачами исследований.

Исследователями, занимавшимися изучением причин появления различных по численности генераций трески, установлено, что успешность воспроизводства зависит от термического режима, динамики вод и ветрового воздействия, тесно связанных с крупномасштабными климатическими процессами (Бондаренко и др., 2003; Бочков, Терещенко, 1992; Ижевский, 1961, 1964, 1967; Кляшторин, Любушин, 2005; Треска..., 2003; Ярыгина, 2006; Булатов, Васильев, 2018).

Учитывая выявленные связи, ожидается, что динамика запасов будет характеризоваться следующими особенностями: до 2020—2022 гг. снижение запасов будет продолжаться из-за высокой смертности старшевозрастных рыб и относительно малоурожайных (вследствие высокого каннибализма) поколений 2007—2013 гг. рождения. Благоприятные условия воспроизводства

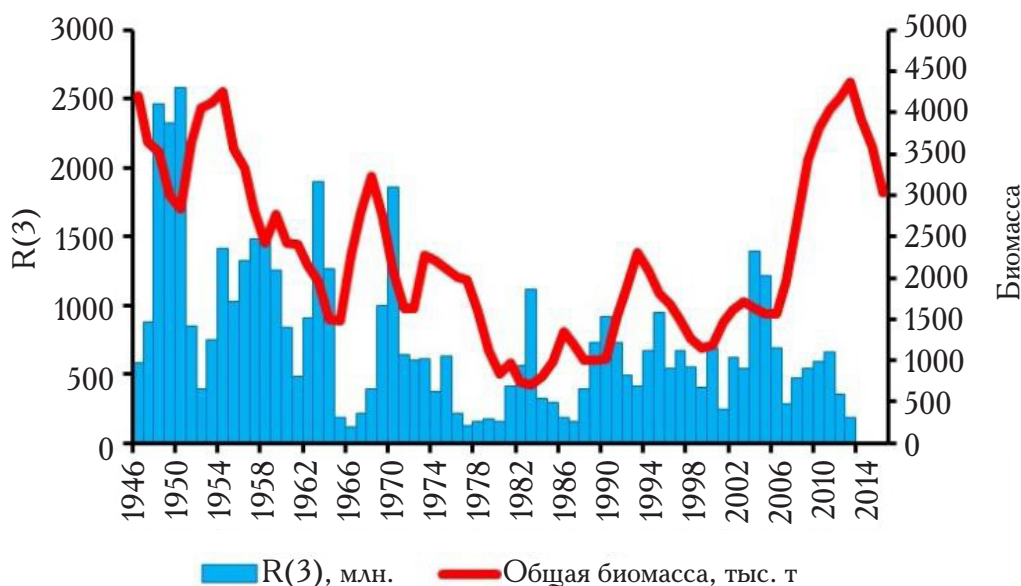


Рис. 25. Динамика общей биомассы северо-восточной арктической трески и численность пополнения в возрасте 3 лет в 1946–2017 гг. (по: ICES, 2019). Годы на оси абсцисс соответствуют годам нереста.

трески, наблюдавшиеся в 2016–2017 гг. обусловят высокую выживаемость этих поколений, которые, войдя в запас в 2022–2023 гг., задержат его снижение.

В дальнейшем, при наступлении в первой половине 20-х годов отрицательной фазы САК, возможно появление ряда рекордно урожайных поколений, которые обеспечат рост запасов к концу 2020-х гг. до высокого уровня. Однако, при установлении тенденции к росту индекса САК в конце 2020-х-начале 2030-х гг., урожайность поколений трески начнет снижаться, как это было во второй половине 1970-х гг. и начале 1980-х гг., что скажется на биомассе трески к 2035 г. Все вышеперечисленное приведет к снижению отечественного вылова трески до уровня 150–200 тыс. т.

Мойва

Баренцево и Норвежское моря.

Мойва является важным объектом промысла. Широкомасштабное освоение запасов мойвы началось в 1968 г., когда промыслом было изъято 0,5 млн. т. В дальнейшем отмечался неуклонный рост уловов и в начале 70-х — начале 80-х годов был достиг-

нут исторический максимум — 3 млн. т, из них на долю советских рыбаков пришлось 0,8 млн. т. В середине 80-х годов в связи с резким падением запасов наблюдалось отсутствие промысла. Затем, в отдельные годы вылов хоть и достигал 1 млн. т (рис. 26), но регулярно приходилось вводить мораторий на промысел в связи с катастрофически низкими запасами мойвы.

Мойва является арктическим, холоднолюбивым видом. В силу ее многочисленности она занимает важное место в экосистеме Норвежского и Баренцева морей. Мойва — основной объект питания для многих хищников, в том числе для трески. Кроме того, мойва — важный компонент питания для млекопитающих и птиц. Поэтому резкие изменения численности этого вида, особенно катастрофическое снижение запасов (коллапс) оказывают негативное влияние на численность других видов-консументов (The Barents Sea..., 2011). Ежегодное потребление мойвы треской достигает внушительных объемов и изменяется от 0,8 до 3,9 млн. т, в зависимости от состояния их запасов. Остальные хищники потребляют еще около 1 млн. т. Некоторые авторы полагают

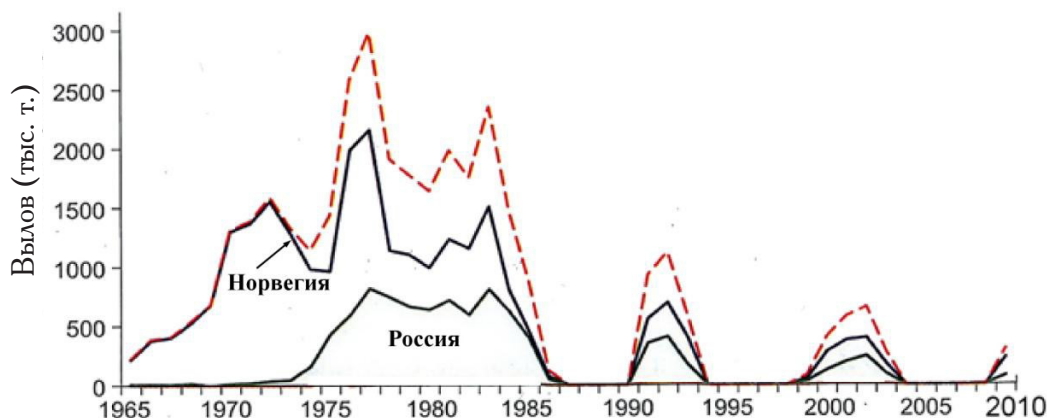


Рис. 26. Уловы мойвы в 1965–2009 гг. (The Barents Sea..., 2011). Пунктирной линией обозначен общий вылов.

(The Barents Sea..., 2011), что изменчивость уловов и биомассы мойвы обусловлена трофическими причинами, а именно пищевым взаимодействием мойвы с сельдью, треской и пикшей. В частности, отмечалось, что коллапсы запаса, когда биомасса мойвы снижалась до 200 тыс. т и ниже, связаны с выеданием их личинок и сеголеток молодью высокоурожайных поколений трески, сельди и пикши в период ее обитания в южной части Баренцева моря.

Со второй половины 1980-х гг. отмечены четыре коллапса запаса мойвы: в 1985–1989; 1993–1997; 2003–2006; 2016–2017 гг. В другие годы общий запас изменялся от 2 до 6 млн. т, а в 1975 г. и 1991 г. превысил 7 млн. т. Нерестовый запас менялся от 0,2 до 3 млн. т. Высокие уловы мойвы отмечались в 1968–1984 гг., когда в Баренцевом море отмечалось похолодание вод, и в 1990–1991 г. Именно в эти годы сформировались рекордные по урожайности поколения мойвы, способствовавшие росту запасов до 7 млн. т. После 1997 г., с началом потепления, численность урожайных поколений снизилась в два раза. Следовательно, можно предположить, что похолодание вод в море создает благоприятные условия для нереста и выживания поколений мойвы.

В этой связи можно отметить высокую отрицательную статистическую связь ($r = -0,61$) между аномалиями уловов мой-

вы и индексом АМО в период 1965–2014 гг. (рис. 27).

Урожайные поколения сельди и трески в 1983 г. обусловили полное выедание урожайных поколений мойвы 1984–1987 гг. рождения. Второй коллапс запаса в 1993–1997 гг. был также связан с прессом урожайных поколений сельди и трески.

Заслуживает внимания появление непрерывной серии среднеурожайных поколений мойвы в период относительного похолодания 2008–2013 гг., со слабыми отрицательными АТПО (до минус 0,2–0,3°C) в Медвежинско-Шпицбергенском районе, где происходит основной нагул мойвы, а так-

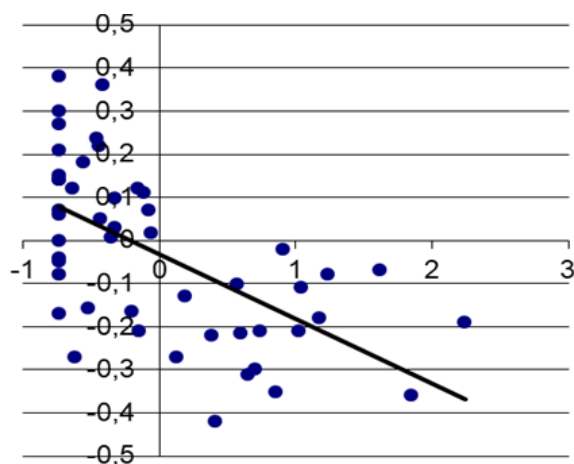


Рис. 27. Связь между аномалиями уловов мойвы (млн. т) и индексом АМО в 1965–2014 гг.

же в юго-западной части Баренцева моря, в районе нереста. На фоне продолжительного потепления это похолодание, по-видимому, способствовало формированию благоприятных кормовых условий для выживания отмеченных среднеурожайных поколений и, как следствие, увеличению запасов до 1,5–2,3 млн. т. Это позволило начать промысел в 2009–2012 гг. при установленном ОДУ 320–390 тыс. т. В 2013–2015 гг. вылов снизился с 200 до 65 тыс. т (рис. 28), а в 2018–2020 гг. прекратился вовсе.

Непродолжительный период улучшения состояния запасов мойвы связан не только с усилением негативного влияния пресса хищников, но и с изменением кормовых условий обитания мойвы. По мнению Д. В. Прозоркевича (2017), последний (четвертый) коллапс запаса в 2014–2016 гг. связан, во-первых, с резко возросшей естественной смертностью мойвы из-за потепления и изменения видового состава кормового зоопланктона, что привело к снижению темпа роста и жирности. И, во-вторых, с резким усилением потребления мойвы треской и пикшей после значительного снижения запаса сайки, являющегося традиционным объектом их питания. Автор полагает, что урожайные поколения сайки 2015 и 2016 гг. косвенно будут способствовать некоторому росту за-

паса мойвы, в связи с уменьшением пресса хищников.

Ожидаемый в середине 20-х годов переход к новой отрицательной фазе АМО, будет сопровождаться похолоданием вод в Северной Атлантике, а также в Норвежском и Баренцевом морях, что создаст благоприятные абиотические условия для воспроизводства мойвы. Не исключено, что к 2035 г. они будут схожими с условиями периода 1963–1995 гг., когда наблюдался исторически максимальный улов — 3 млн. т. С учетом того, что авторами настоящего сообщения ожидается к 2035 г. существенное сокращение запасов трески, следует предполагать существенное ослабление ее пресса на молодь мойвы.

Таким образом, сочетание абиотического фактора (похолодания) и биотического (пресса хищников) создает предпосылки для восстановления и роста запасов мойвы к 2035 г. до уровня 70-х–80-х гг. XX в. Это позволяет сделать оптимистичный прогноз и рассчитывать на увеличение отечественного вылова этой «народной рыбы» до 0,5 млн. т.

Скумбрия

Северо-восточная Атлантика. Согласно данным ИКЕС (ICES, 2017) биомасса скумбрии с 1980 по 2017 гг. дважды достигала высокого уровня — в 1980 г.

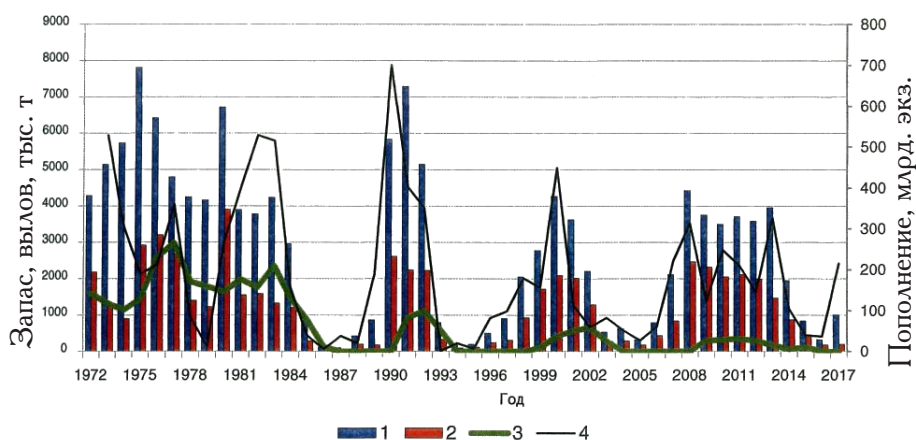


Рис. 28. Динамика общего (1), нерестового (2) запасов, вылов (3) и пополнение (4) мойвы в 1972–2016 гг. и прогноз на 2017 г. (Шамрай, 2017).

и в 2011–2015 гг. После достижения общего запаса уровня 6 млн. т, в течение 1981–1996 гг. наблюдалось его плавное снижение. После этого наступил период низкого уровня запасов (3,5 млн. т), который длился около 10 лет. А с 2007 г. наметившийся рост биомассы позволил вновь достичь уровня 6 млн. т.

Известно, что динамика запасов напрямую связана с численностью поколений. За период с 1980 по 2015 гг. самое неурожайное поколение отмечалось в 1983 г., а самые высокоурожайные — в 2002, 2006, 2014 гг. (рис. 29).

Оба периода высокого уровня численности пополнения тесно связаны с ослаблением субарктического круговорота и положительными аномалиями воды на нерестилищах. Так, с 2002 по 2014 гг. отмечен довольно продолжительный период положительных аномалий на банке Роколл, когда АТПО возросли до $0,4^{\circ}\text{C}$ (рис. 29). Оказалось, что периоды роста общего запаса связаны не только с потеплением вод на нерестилищах, но и с резким усилением транспорта теплых и высоко соленых вод на север в условиях ослабленного ветрового воздействия (Häkkinen et al., 2011), а также положительной фазой АМО. Следовательно, указанные факторы среды создают необходимые предпосылки для появления урожайных поколений скумбрии.

В 1970-е годы, наоборот, наблюдались отрицательные значения АТПО, усилилось ветровое воздействие, наступила отрицательная фаза АМО. Все это привело к появлению малоурожайных поколений и в дальнейшем вызвало снижение запасов.

Аналогичная ситуация сложилась в 1980-е — 1990-е гг., когда период низкого уровня общего запаса совпал с похолоданием на банке Роколл (региональный фактор) с отрицательной фазой АМО (глобальный фактор), а также с усилением циклонической активности в районе мест размножения, что в итоге негативно сказалось на выживаемости поколений (рис. 29, 30).

Согласно прогнозам, наступление периода отрицательной фазы АМО ожидается с середины 2020-х гг. (Бойцов, 2008). Следовательно, до середины 2025 г., пока не наступит отрицательная фаза АМО можно ожидать появление урожайных поколений скумбрии, что позволит запасам не снижаться. Однако отрицательная фаза АМО повлечет за собой снижение численности поколений и снижение запасов во второй половине 2020-х гг. и в 2030-е гг. Указанные обстоятельства негативно повлияют на перспективы отечественного промысла скумбрии, что приведет к снижению вылова, как минимум, в два раза по сравнению с современным уровнем.

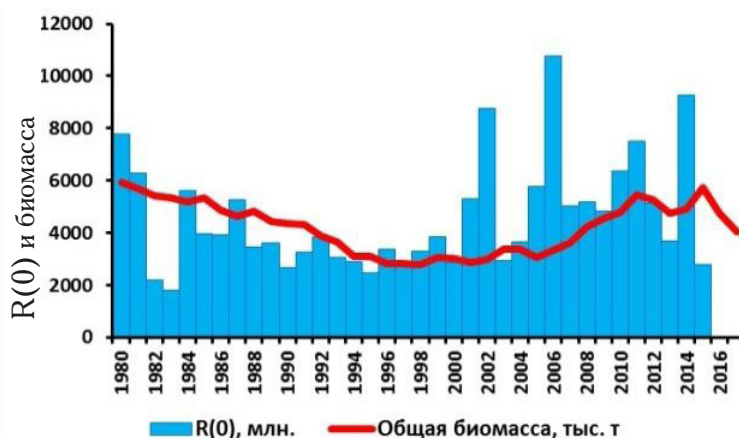


Рис. 29. Динамика общей биомассы скумбрии и численность пополнения в 1980–2017 гг. (ICES, 2017). Годы на оси абсцисс соответствуют годам нереста.

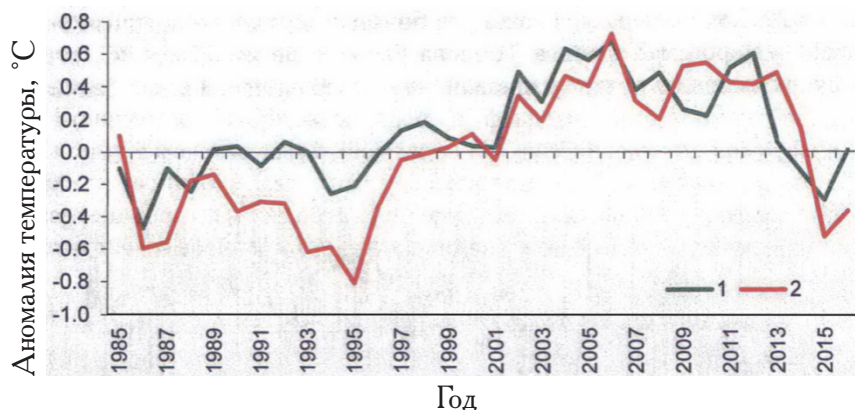


Рис. 30. Аномалия температуры воды слоя 0–200 м на разрезе по 53° с.ш. к западу от банки Поркьюпайн (1) и поверхностного слоя в районе банки Роккол, 55–60° с.ш., 15–20° з.д. (2) в марте-апреле 1985–2016 гг. (Шамрай, 2017).

Путассу

История промысла и изучения этого вида относительно небольшие — с конца 1960-х — начала 1970-х гг. (Зиланов, 1984). Максимальные уловы в 2,5 млн. т, полученные в 2003 и 2004 гг. (рис. 31), свидетельствуют о том, что по величине уловов — это один из крупнейших мировых запасов, который эксплуатируют 15 стран.

Динамика общего запаса путассу характеризуется тремя периодами высокого уровня: в 70-е годы, 2001–2005 гг. и 2014–2017 гг. (рис. 32).

Период низкого уровня запаса в 1980-х — первой половине 1990-х гг. вы-

зван чередой неурожайных поколений и связан с резким усилением субарктического круговорота в Северной Атлантике. В результате, на нерестилищах формировались «субарктические» условия (с холодными и распресненными водами), которые неблагоприятны для воспроизводства путассу (Engelhard, Gode, 2008; Hátun, Payne, 2009; Huse et al., 2015; Payne et al., 2012).

Затем наступил период благоприятных условий для воспроизводства. Так, в 1996–2003 гг., как и в 1960-е — начале 1970-х гг., размножение протекало в теплых и соленых субтропических водах, что привело к резко возросшей выживаемости

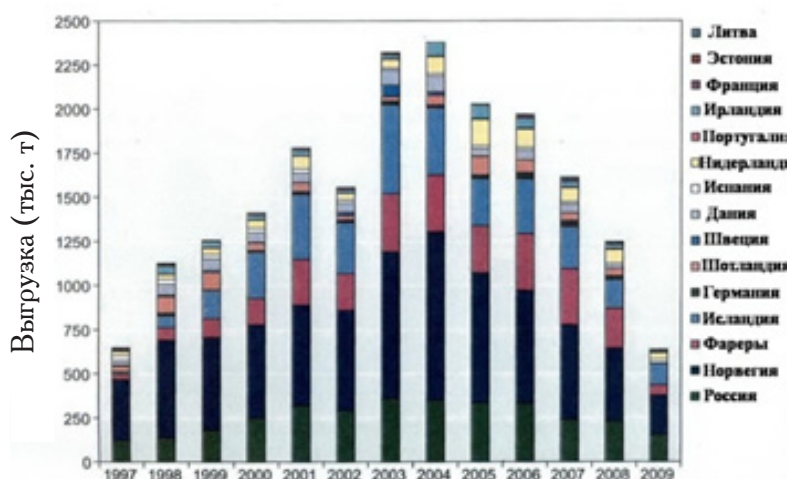


Рис. 31. Уловы путассу в 1997–2009 гг. (The Barents Sea..., 2011).

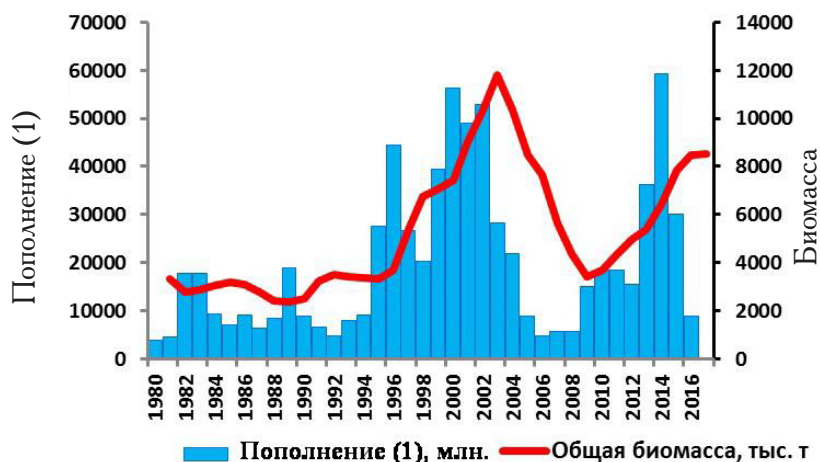


Рис. 32. Динамика общей биомассы путассу и численность пополнения в возрасте 1 год (ICES, 2017). Годы на оси абсцисс соответствуют годам нереста.

молоди и формированию урожайных и рекордно урожайных поколений 1997, 1999–2002; 2015 гг. рождения (рис. 32). Основные причины появления высокоурожайных поколений проанализированы в работах по изменению основных климатических режимов в Северной Атлантике (Häkkinen et al., 2011). Оказалось, что высокая выживаемость молоди путассу была связана с потеплением вод на нерестилищах, усилением транспорта теплых и высокосоленых вод на север и ослаблением ветрового воздействия. Кроме того, в эти годы был ослаблен субарктический круговорот.

Тогда как в 1981–1996 гг. в Северной Атлантике, напротив, наблюдалось похолодание вод, их распреснение и усиление ветровой активности. В совокупности именно эти же процессы обусловили снижение выживаемости поколений и привели к резкому снижению запасов (рис. 33).

Кроме влияния абиотических факторов, некоторые авторы полагают, что низкая урожайность путассу в 2005–2012 гг. могла быть обусловлена пространственным совпадением ее нерестилищ и нерестилищ скумбрии (Huse et al., 2015). В результате такого перекрытия, поколения путассу в эти годы были выедены скумбрией, численность которой резко возросла после 2000 г.

В 2009–2012 гг. численность поколений несколько повысилась, а в 2013–2015 гг. появились урожайные поколения, которые обеспечили рост запаса путассу и рост уловов до 1,2 млн. т в 2016–2017 гг. (Шамрай, 2017).

В связи с прогнозируемым наступлением отрицательной фазы АМО в середине 2020-х гг., начиная с 2030 г. следует ожидать существенного снижения запасов путассу, возможно, до уровня 1980-х годов (около 1,5–1,8 млн. т), что неизбежно приведет к снижению квоты России.

Пикша

Нерестовый запас северо-восточной арктической пикши в 1950–2018 гг. изменялся весьма значительно — от 50 тыс. т в 1985 г. до 604 тыс. т в 2013 г., т.е. более чем в 12 раз (рис. 34). Численность поколений в возрасте 3 года колебалась в значительно более широких пределах — от 9,2 млн. рыб в 1978 г. до 1200 млн. рыб в 2005 г., т.е. наиболее богатое поколение превосходило самое бедное поколение в 130 раз. При этом в появлении наиболее урожайных поколений прослеживается 15–19-летняя цикличность.

У северо-восточной арктической пикши хорошо выражена связь выживаемости

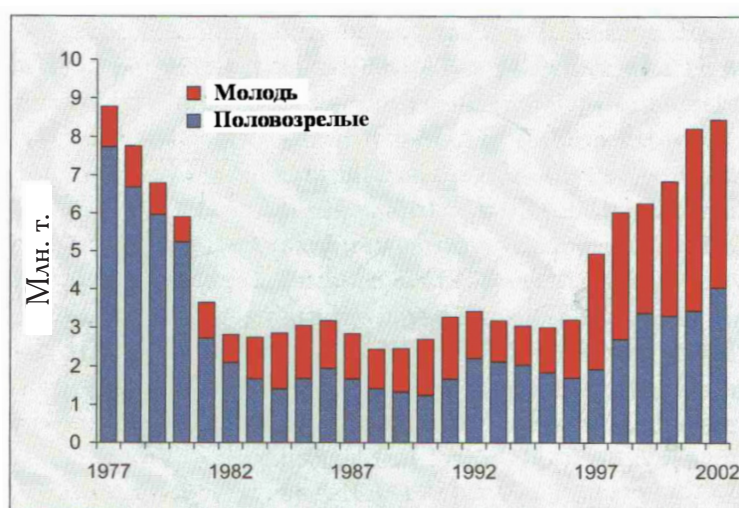


Рис. 33. Динамика общего запаса пугассу в Северной Атлантике, 1977–2002 гг. (The Norwegian Sea ..., 2004).

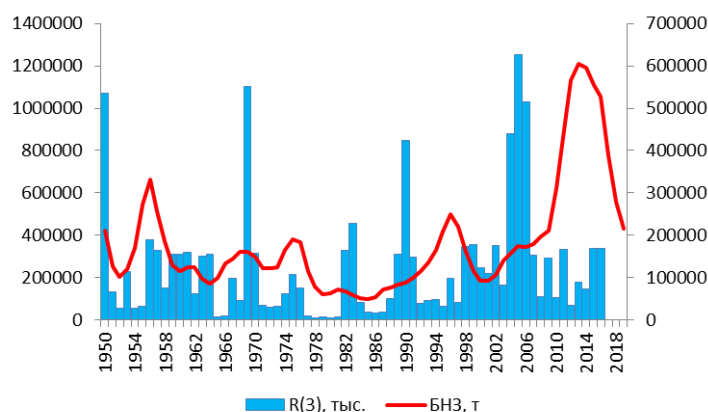


Рис. 34. Динамика биомассы нерестового запаса (БНЗ) пикши и численность пополнения в возрасте 3 лет ($R(3)$) в 1950–2018 гг. (по: ICES, 2019). Годы на оси абсцисс соответствуют годам нереста.

мости поколений с температурой воды. Так, совместный анализ 16 временных рядов различных климатических индексов и временного ряда коэффициентов выживания (КВ) пикши методом главных компонент за период 1951–2006 гг. показал, что ее выживаемость в значительной степени обуславливается термическими условиями в год нереста как во всей Северо-Восточной Атлантике ($r=0,60$; $\rho<0,05$), так и в Баренцевом море — коэффициент корреляции со среднегодовой температу-

рой воды на Кольском разрезе составил 0,57 ($\rho<0,05$).

Связь между коэффициентами выживания пикши и изменениями температуры воды на указанном разрезе оказывается даже выше, если использовать временной ряд температурных аномалий, осредненных за 4 года:

$$\Delta T_{\text{ср.}, i} = \Delta T_{i-1} + 2 \times \Delta T_i + 2 \times \Delta T_{i+1} + \Delta T_{i+2},$$

где ΔT_i — среднегодовая аномалия температуры воды в слое 0–200 м на Кольском

разреze в год нереста (рис. 35). Чтобы сделать кривые, представленные на рисунке 35, сравнимыми, аномалии коэффициентов выживания были сглажены по формуле:

$$\Delta KB_{\text{cгл.},i} = 4 \times \Delta KB_i + \Delta KB_{i+1} + \Delta KB_{i+2},$$

где i — год нереста. Коэффициент корреляции между двумя характеристиками составляет 0,64 ($\rho < 0,05$) для всего периода (1951–2004 гг.) и 0,74 ($\rho < 0,01$) для периода 1970–2004 гг. Таким образом, мощность годового класса пикши в значительной мере определяется термическими условиями на протяжении первых трех лет ее жизни.

Связь мощности поколений пикши с температурными показателями оказывается даже выше, если использовать интегральные кривые аномалий рассматриваемых характеристик (рис. 36).

Очевидно, что температурные условия в период раннего онтогенеза пикши (первый теплый сезон жизни) являются критическими для ее выживания. Для оценки характеристик теплого сезона (сроки начала и окончания, продолжительность) в год нереста использованы еженедельные карты ТПО в Северо-Восточной Атлантике, построенные во ВНИРО на основе спутниковых данных. Время начала и окончания теплого сезона оценивалось по датам, когда изотерма 6°C пересекала 70° с.ш. на мери-

диане $17^\circ 30'$ в.д. (Норвежское море) при ее движении соответственно на север и на юг. Продолжительность теплого сезона соответствовала периоду ее пребывания севернее 70° с.ш. Получена высокая статистически значимая положительная связь коэффициентов выживания пикши с продолжительностью теплого сезона и датой его окончания. Соответствующее уравнение множественной линейной регрессии имеет вид:

$$KB_i = -2618,53 + 26,0017 \times X_{1,i} + 4,879 \times X_{2,i} \quad (R^2=0,81),$$

где KB_i — коэффициент выживания пикши в год нереста i ; $X_{1,i}$ — дата окончания теплого сезона, рассчитываемая в днях от 1-го ноября соответствующего года; $X_{2,i}$ — продолжительность теплого сезона (дни).

Полученное уравнение использовалось для прогноза численности трехгодовиков пикши в 2010–2013 гг. и, соответственно, мощности ее поколений 2007–2010 годов рождения (рис. 37). Оправдываемость прогноза оказалась высокой. Безусловно, для краткосрочного прогноза численности поколений пикши работы в данном направлении должны быть продолжены.

Для прогноза численности и биомассы северо-восточной арктической пикши на более длительный период (до 2035 г.) можно воспользоваться отмеченной выше перио-

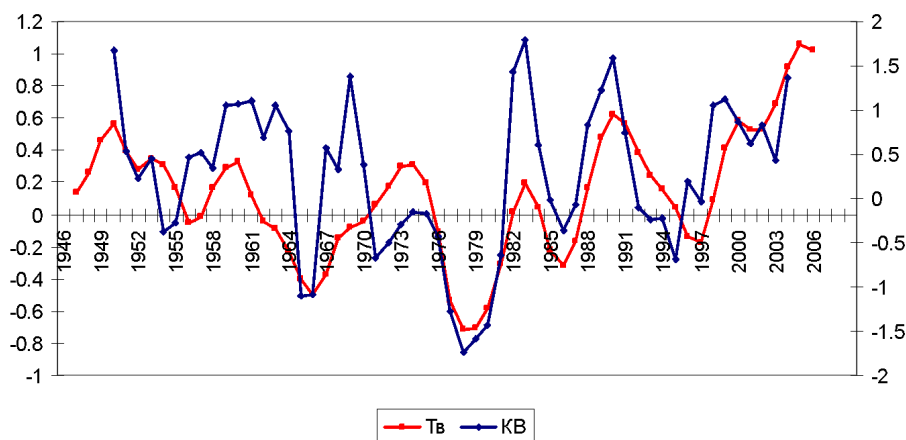


Рис. 35. Изменения аномалий температуры воды (T_v) (0–200 м) на Кольском разрезе и коэффициентов выживания (KB) (экз./т) северо-восточной арктической пикши.

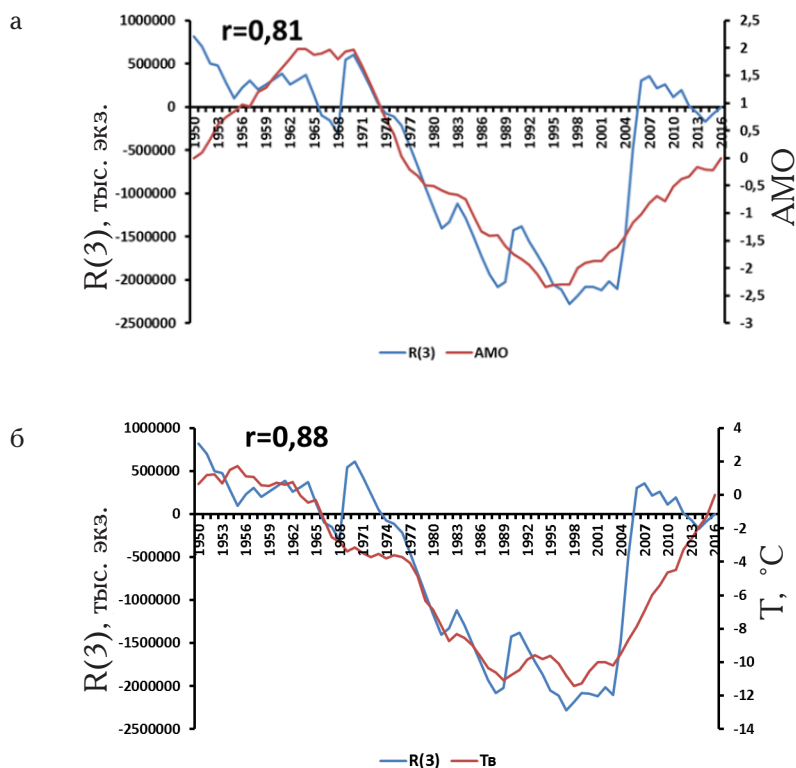


Рис. 36. Интегральные кривые аномалий численности пополнения пикши в возрасте 3 года и среднего зимнего индекса АМО (а); средних зимних аномалий температуры воды (0–200 м) на Кольском разрезе (б).

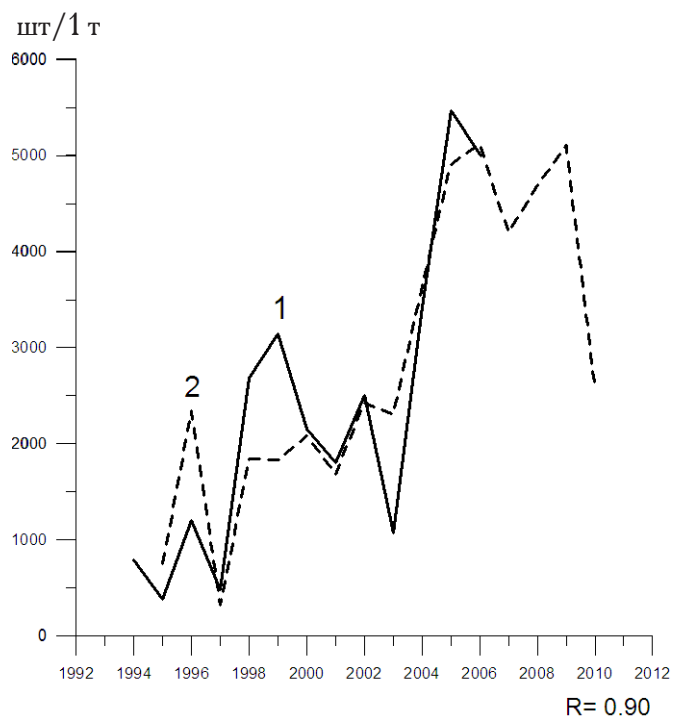


Рис. 37. Фактические (1) и рассчитанные (2) значения коэффициентов выживания северо-восточной арктической пикши.

дичностью появления ее урожайных поколений, а также результатами, показанными на рисунке 36. Можно ожидать, что следующее после 2005 г. высокоурожайное поколение пикши появится в первой половине 2020-х гг., которое приведет к соответствующему росту биомассы запаса через 6–7 лет. Вместе с тем, переход к отрицательной фазе АМО, ожидаемый во второй половине 2020-х гг. обусловит снижение численности поколений и, в конечном итоге, биомассы пикши к середине 2030-х гг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования показали, что промысловые виды рыб по-разному реагируют на изменчивость климата. Для наиболее значимого объекта отечественного рыболовства — минтая, благоприятными для успешного воспроизводства в Беринговом и Охотском морях являются периоды положительных аномалий температуры, тогда как высокие значения биомассы в южных районах обитания минтая отмечались в периоды похолодания. Отсюда следует, что к 2035 г. в связи с ожидаемым похолоданием, вылов в северных районах существенно сократится, а в южных, наоборот, возрастет.

Весьма значимы в структуре современного российского вылова тихоокеанские лососи, среди которых ключевую роль играет горбуша. Установленные связи с климатическими параметрами ТДО показали, что периоды высоких уловов совпали с периодами положительных аномалий. Несмотря на рекордный улов лососей в 2018 г. — 676 тыс. т, в перспективе уловы этой группы ценных видов в связи с ожидаемым похолоданием значительно снизятся.

Потери рыбаков Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна, связанные со снижением запасов минтая и тихоокеанских лососей, составят по экспертным оценкам около 1 млн. т.

Ожидаемое похолодание окажет благоприятное влияние на успешность воспроизводства японской скумбрии, сардины-

иваси, сахалино-хоккайдской сельди, трески Берингова моря и сельди Охотского моря, что позволит дальневосточным рыбакам полностью компенсировать потери, при условии переориентирования промысла на другие объекты лова.

В Северо-Восточной Атлантике прогноз изменения запасов промысловых рыб к 2035 г. также основан на ожидаемом похолодании. Для ключевых объектов отечественного рыболовства прогноз пессимистичен. Установленные связи между изменениями климата и динамикой запасов показали, что похолодание окажет негативное воздействие на успешность воспроизводства трески, пикши, путассу, скумбрии, сельди. Суммарные потери для рыбаков Северного рыбохозяйственного бассейна по экспертным оценкам составят около 0,5 млн. т. Однако ожидаемое похолодание положительно скажется на запасах мойвы, которые начнут восстанавливаться с середины 20-х годов, а максимума достигнут к 2035 г., что позволит значительно компенсировать потери в вылове.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Беляев В.А. Экосистема зоны течения Куроисио и ее динамика // Хабаровск. Хабаровское книжное издательство. 2004. 383 с.

Беляев В.А., Кеня В.С. Состояние запасов и условия воспроизводства дальневосточной сардины в северо-западной части Тихого океана / Биологические ресурсы открытого океана. М.: Наука. 1987. С. 225–237.

Бенко Ю.К., Ёлкин Е.Я., Фархутдинов Р.К. Биология, жизненный цикл и динамика численности охотской сельди // Проект «Моря». Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 9. Охотское море. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат. Вып. 2. 1993. С. 121–125.

Бирман И.Б. Гелиогидробиологические связи как основа для долгосрочного прогнозирования промысловых рыб (на при-

мере лососей и сельди) // *Вопр. ихтиологии*. 1973. Т. 13. Вып. 1. С. 23–37.

Бирман И.Б. О сходстве в динамике численности канадской сёмги *Salmo salar* L. и амурской осенней кеты *Oncorhynchus keta* (Walb.) // *Вопр. ихтиологии*. 1978. Т. 18. Вып. 4 (111). С. 763–766.

Бирман И.Б. Долгопериодные колебания численности дальневосточной кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum) и факторы, их определяющие // *Матер. I Междунар. совещ. по биол. тихоокеан. лососей*. М.: ВНИРО. 1980. С. 54–67.

Бойцов В.Д. Долгопериодные колебания температуры воздуха в Северной Атлантике и Северо-Европейском бассейне / В. Д. Бойцов // *Известия РГО*. 2008. Т. 140. Вып. 2. С. 6–11.

Бондаренко М.В., Кровнин А.С., Серебряков В.П. Ранжирование урожайности поколений и коэффициентов выживания поколений в раннем онтогенезе промысловых рыб Баренцева моря для определения биологических ориентиров и оценки изменчивости среды // М.: Изд-во ВНИРО. 2003. 188 с.

Бочков Ю.А., Терещенко В.В. Современные многолетние изменения гидрометеорологических условий в Баренцевом море и их биологические последствия // *Экологические проблемы Баренцева моря: Сб. научн. трудов ПИНРО*. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 1992. С. 225–243.

Булатов О.А. Освоение запасов и среднесрочные перспективы промысла минтая Охотского и Берингова морей // *Рыбн. хоз-во*. 2003. № 5. С. 30–33

Булатов О.А. Промысел и запасы минтая: возможна ли турбуленция? // *Вопр. рыболовства*. 2014. Т. 15. № 4. С. 350–390.

Булатов О.А., Васильев Д.А. Новые подходы в оценке и прогнозе запасов северо-восточной арктической трески с привлечением промыслово-статистических и климатических данных // *Вопр. рыболовства*. 2018. Т. 19. № 1. С. 34–41.

Булатов О.А., Котенев Б.Н. Промысел и динамика запасов минтая Охотско-

го моря: прошлое, настоящее, будущее // *Рыбн. хоз-во*. 2010. № 6. С. 53–55.

Булатов О.А., Котенев Б.Н., Кровнин А.С. О перспективах новой «сардинной эпохи» в северо-западной части Тихого океана // *Вопр. рыболовства*. 2016. Т. 17. № 4. С. 385–405.

Ватанабе Т. Выживаемость японской сардины на ранних стадиях развития. *Изв. ТИНРО*. 1981. Т. 105. С. 92–107.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях ... Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. М.: Росгидромет. 2014. 1004 с.

Давыдов И.В. Динамика уловов западнокамчатской горбуши в связи с долгопериодной изменчивостью гидрометеорологических условий // *Известия ТИНРО*. 1977. Т. 101. С. 18–24

Давыдов И.В. К вопросу о долгосрочном рыбохозяйственном прогнозировании в дальневосточных морях // Долгопериодная изменчивость условий природной среды и некоторые вопросы рыбопромыслового прогнозирования. Сборник научных трудов. М.: ВНИРО. 1989. С. 153–177.

Зиланов В.К. Путассу Северной Атлантики // *Изд. Легкая пищ. пром.* Москва, 1984. 159 с.

Иванов А.Н., Беляев В.А. Долгопериодные флюктуации тихоокеанской популяции скумбрии // *Рыбн. хоз-во*. 1996. № 3. С. 19–22.

Ижевский Г.К. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей. М.: Пищепромиздат, 1961. 216 с.

Ижевский Г.К. Системная основа прогнозирования океанологических условий и воспроизводства промысловых рыб. М.: Изд-во ВНИРО, 1964. 166 с.

Ижевский Г.К. Системная основа прогнозирования океанологических условий и воспроизводства промысловых рыб // *Труды ВНИРО*. Т. LXII. 1967. С. 20–32.

Качина Т.Ф., Сергеева Н.П. Динамика численности восточноохотоморско-

- го минтая // Экология, запасы и промысел минтая. Владивосток: ТИПРО. 1981. С. 19–27.
- Кляшторин Л.Б., Любушин А.А. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности / М: ВНИРО. 2005. 235 с.
- Кровнин А.С., Котенев Б.Н., Кловач Н.В. 2016. Связь «лососевых эпох» в дальневосточном регионе с крупномасштабными изменениями климата в Северной Пацифике // Труды ВНИРО. 2016. Т. 164. С. 22–40.
- Кровнин А.С., Антонов Н.П., Котенев Б.Н., Мурый Г.П. Влияние климата на квазидекадные изменения численности поколений трески северо-западной части Берингова моря. // Труды ВНИРО. 2017. Т. 169. С. 37–50.
- Котенев Б.Н., Кровнин А.С., Масленников В.В. и др. Перспективы развития мирового рыболовства в связи с изменением климата // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 48. Научно-теоретический журнал. СПб.: РГГМУ. 2017. С. 167–185.
- Лобода С.В. Основные результаты исследования тихоокеанской сельди в Охотском море в 2002–2006 гг. // Изв. ТИПРО. 2007. Т. 150. С. 102–110.
- Мохов И.И., Смирнов Д.А. Оценка вклада атлантической мультидекадной осцилляции и изменений атмосферного содержания парниковых газов в тренды приповерхностной температуры по данным наблюдений. Доклады Академии наук. 2018. Т. 480. № 1. С. 97–102.
- Науменко Н.И. Биология и промысел морских сельдей Дальнего Востока. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2001. 330 с.
- Овсянников Е.Е., Овсянникова С.Л., Шейбак А.Ю. Динамика и структура запасов минтая в северной части Охотского моря в 2000-е годы // Известия ТИПРО. 2013. Т. 172. С. 133–148.
- Панфилов А.М. К вопросу о минимальной промысловой мере на охотскую сельдь // Труды ВНИРО. 2006. Т. 146. С. 247–252.
- Панфилов А.М. Проблема сохранения запасов охотской сельди // Вопр. рыболовства. 2009. Т. 10. № 2 (38). С. 292–303.
- Прозоркевич Д.В. Мойва // Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева моря и Северной Атлантики в 2017 г. / Отв. ред. Шамрай Е.А. Мурманск: ПИПРО. 2017. С. 35–39.
- Родионов С.Н., Кровнин А.С. Влияние термических условий на численность восточноберинговоморского минтая // Рыбн. хоз-во. 1991. № 3. С. 21–24.
- Сидоренков Н.С., Сумерова К.А. Синхронизация вариаций атмосферной циркуляции лунно-солнечными приливами и возможности долгосрочных прогнозов погоды // Вопр. промысл.океанологии. 2010. Вып. 7. № 1. С. 93–109.
- Смирнов А.В. Влияние некоторых биотических и абиотических факторов на выживаемость охотоморского минтая в раннем онтогенезе. // Вопр. рыболовства. 2005. Т. 6. № 2 (22). С. 278–297.
- Соколовская Т.Г. Ихтиопланктон системы течения Куроиси и прогнозирование тенденций изменения численности основных промысловых рыб // Изменчивость состава ихтиофауны, урожайность поколений и методы прогнозирования запасов рыб в северной части Тихого океана. Владивосток. ТИПРО. 1988. С. 70–76.
- Треска Баренцева моря: биология и промысел. Бойцов В.Д., Лебедь Н.И., Пономаренко И.Я и др. Мурманск: Изд-во ПИПРО, 2003. 206 с.
- Тюрнин Б.В. Структура нерестовой популяции сельди северо-западной части Охотского моря и биологические основы прогнозирования улова. Автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.00.08. Владивосток: ТИПРО-Центр. 1975. 23 с.
- Тюрнин Б.В. О причинах снижения запасов охотской сельди и мерах по их восстановлению // Биол. моря. 1980. Т. 2. С. 69–74.

- Тюрнин Б.В., Ёлкин Е.Я. Меры по рациональному использованию запасов охотоморской сельди // Рыбн. хоз-во. 1984. С.17–18.
- Фадеев Н.С. Урожайность поколений североохотоморского минтая // Вопр. рыболовства. 2001. № 2. С. 299–318.
- Фадеев Н.С. О причинах длительной депрессии сахалино-хоккайдской сельди // Изв. ТИНРО. 2003. Т. 134. С. 168–175.
- Шамрай Е.А. Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева моря и Северной Атлантики в 2017 г. / Мурманск: ПИНРО. 2017. 117 с.
- Шунтов В.П., Радченко В.И., Лапко В.В., Полтев Ю.Н. Распределение лососей в западной части Берингова моря и сопредельных водах Тихого океана в период анадромных миграций. // Вопр. ихтиологии. 1993. Т. 33. № 3. С. 337–347.
- Шунтов В.П., Темных О.С. Анализ предпосылок и результатов лососевой путины — 2011. Реализация «Концепции программы изучения тихоокеанских лососей». Владивосток. ТИНРО-Центр. 2011. Бюлл. № 6. С. 3–9.
- Ярыгина Н.А. Биология размножения атлантической трески (на примере популяций Баренцева моря) // Автореферат дисс. на соиск. уч. ст. д.б.н. Петрозаводск. 2006. 41 с.
- Akasofu S.I. On the recovery from the Little Ice Age // Natural Science. 2010. V. 2, No.11, P. 1211–1224. <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2010.211149>.
- Alheit J, Bakun A. Population synchronies within and between ocean basins: Apparent teleconnections and implications as to physical-biological linkage mechanisms // J. Marine Systems. 2010. V. 79. P. 267–285.
- Alheit J., Licandro P., Coombs S., et al. Reprint of «Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) modulates dynamics of small pelagic fishes and ecosystem regime shifts in the eastern North and Central Atlantic» // J. Marine Systems. 2014. V. 133. P. 88–102.
- Chiba S., Hirawake T., Ishizaki S., et al. Status and trends of the Oyashio region, 2003–2008. In: Marine Ecosystems of the North Pacific Ocean, 2003–2008. // PICES Special Publication. 2010. № 4. P. 300–329.
- Yatsu A., Chiba S., Yamanaka Y., Ito S., Shimizu Y., Kaeriyama M., Watanabe Y. Climate forcing and the Kuroshio/Oyashio ecosystem // ICES J. Marine Science. 2013. 70 (5), 922–933. doi:10.1093/icesjms/fst084.
- Cushing D.H. Climate and fisheries / Academic Press: London, 1982. 373 p.
- Cushing D.H., Dickson R.R. The biological Response in the Sea to climatic changes // Advances in Marine Biology. 1976. V. 14. P. 2 Yatsu A., Chiba S., Yamanaka Y., Ito S., Shimizu Y., Kaeriyama M. and Watanabe Y—122.
- Drinkwater K.F, Schrum C., Brandner K.M. Cod and future climate change // ICES Cooperative Reserch Report. 2010. № 305. 88 p.
- Engelhard G.H., Gode O.R. Migrations and hydrography determine the abundance fluctuations of blue whiting (*Micromesistius pou-tassou*) in the Barents Sea / Engelhard G.H., Gode O.R. // Fish. Oceanog. 2008. V.17:2. P. 153–163.
- Eriksen E., Ingvaldesen R., Striansen J.E. et al. Thermal habitat for 0-group fish in the Barents Sea; how climate variability impacts their density, length, and geographic distribution // ICES J. Marine Sci. 2012. V. 69 (5) P. 870–879.
- Gattuso, J.-P., Magnan, A., Billé, R., Cheung, W.W.L., Howes, E.L., Joos, F., Allemand, D. et al. Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂emissions scenarios. // Science. 2015. 349 (6243): aac4722. (also available at <https://doi.org/10.1126/science.aac4722>).
- Hátun H., Payne M.R. The North Atlantic subpolar gyre regulates the spawning distribution of blue whiting (*Micromesistius poutassou*) // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2009. V.66. P. 759–770.
- Häkkinen, S., Rhines, P.B., Worthen, D.L. Atmospheric blocking and Atlantic mul-

- tideadal ocean variability // *Science*. 2011. 334. P. 655–659
- Huse G., MacKenzie B.R., Trenkel V., et al. Spatially explicit estimates of stock sizes, structure and biomass of herring and blue whiting, and catch data of bluefin tuna // *Earth Syst. Sci. Dat.* 2015. V. 7. P. 35–46.
- Hollowed A.B., Alan C. Haynie A.C., Holsman K., Aydin K. Hermann A., Cheng W., Reum J., Faig A. Bridging the gap between mechanistic understanding and climate projections: An example based on the Bering Sea Project // *Book of abst. PIC-ES Annual meeting September 22 – October 1, 2017. Vladivostok, Russia*. P. 54
- Ianelli J.N., Honkalento T., Barbeaux S., Fissel B., Kotwicki S.A. Assessment of walleye Pollock stock in the eastern Bering Sea // *NPFMC Bering Sea and Aleutian Islands SAFE*. 2016. P. 55–180. www.fisheries.noaa.gov.
- ICES. 2017. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WG-WIDE), 30 August –5 September 2017, ICES Headquarters, Copenhagen, Denmark. ICES 2017/ACOM:23. 1111 pp.
- ICES, 2019. Report of the Arctic Fisheries Working Group (AFWG), 24–30 April 2019, Lisbon, Portugal. ICES Scientific Reports, Vol.1 (30): 930 pp.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M. and Miller H. L. (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC. 2014. Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report on the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core writing team, R.K. Pachauri & L.A. Meyer, eds. Geneva, Intergovernmental Panel on Climate Change. 151 pp. (also available at <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>)
- Kaeriyama M., Seo H., Kudo H. Trends in run size and carrying capacity of Pacific salmon in the North Pacific Ocean // *INP-FC. Bull.* 2009. № 5. P. 293–302.
- Kawasaki T. Recovery and collapse of the Far Eastern sardine // *Fish. Oceanogr.* 1993. V. 2:3/4. P. 244–253.
- Klyashtorin L.B. Climate change and long-term fluctuations of commercial catches. The possibility of forecasting // *FAO Fish Techn. Paper*. 2001. № 410. 86 p.
- Krovnin A.S., Rodionov S.N. Atlantic-Scandinavian herring: a case study // In: *Climate variability, climate change and fisheries* (ed. M.H. Glantz), Cambridge University Press, Great Britain, 1992. P. 231–260.
- Lluch-Cota D.B., Hernández-Vázquez S. Lluch-Cota S.E. Empirical investigation on the relationship between climate and small pelagic global regimes and El Niño-Southern Oscillation (ENSO) // *FAO Fisheries Circular*. 1997. No: 934. 48p.
- MacCall A.D. Mechanisms of low-frequency fluctuations in sardine and anchovy populations // In: *Climate Change and Small Pelagic Fish*, edited by D.M. Checkley, Jr. J. Alheit, Y. Oozeki, C. Roy, Cambridge, University Press. 2009. P. 285–299.
- Mantua J.N., Hare S.R., Zhang Y., et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impact on salmon production. // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 1997. V. 78. P. 1069–1079.
- Minobe S., Nakamura M. Interannual to decadal variability in the southern Okhotsk Sea based on a new gridded upper water temperature data set. // *J. Geophys. Res.* 2004. 109. C09S05, doi:10.1029/2003JC001916.
- Minobe S., Sako A., Nakamura M. Interannual to interdecadal variability in the Japan Sea based on a new gridded upper water temperature dataset. // *J. Phys. Oceanogr.* 2004. V. 34, No. 11. P. 2382–2397.
- Nakken O. (ed.). *Norwegian Spring-Spawning Herring & Northeast Arctic Cod*. 2008. Tapir Academic Press. 177 p.
- Nishikawa H., Yasuda I., Itoh S. Impact of winter to spring environmental variability along the Kuroshio jet on the recruitment of

- Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) // *Fish. Oceanogr.* 2011. V. 20. P. 570–582.
- Noto M., Yasuda I.* Population decline of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, in relation to sea surface temperature in the Kuroshio Extension // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1999. V. 56. P. 973–983
- Ogawa T., Hiramatsu K.* A comparative study of stock assessment and stock management between the Pacific stock of chub mackerel *Scomber Japonicus* and the North Atlantic mackerel *Scomber scombrus* // *Nippon Suisan Gakkaishi*, 2015. V. 81 (3). P. 408–417.
- Ottersen G., Stenseth N.C., Hurrell J.W.* Climatic fluctuations and marine systems: a general introduction to the ecological effects. In: *Stenseth N.C., Ottersen G., Hurrell J.W., Belgrano A. (Eds.), Marine Ecosystems and Climate Variation: The North Atlantic.* Oxford University Press, Oxford, 2004 a. P. 3–14.
- Ottersen G., Alheit J., Drinkwater K., et al.* The responses of fish populations to ocean climate fluctuations. In: *Stenseth N.C., Ottersen G., Hurrell J.W., Belgrano A. (Eds.), Marine Ecosystems and Climate Variation: The North Atlantic.* Oxford University Press, Oxford, 2004 b. P. 73–94.
- Payne M.R., Egan A., Fässler S.M., et al.* The rise and fall of the NE Atlantic blue whiting (*Micromesistius poutassou*) // *Marine Biology Research.* 2012. V. 8 (5–6). P. 475–487.
- Sugisaki H., Nonaka M., Ishizaki S., et al.* Status and trends of the Kuroshio region, 2003–2008. *Marine Ecosystems of the North Pacific Ocean, 2003–2008.* // *PICES Special Publication.* 2010. V. 4, P. 330–359
- The Barents Sea. Ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation* / ed. T. Jakobsen and V.K. Ozhigin. Norway: Tapir Academic Press. 2011. 825 p.
- The Norwegian Sea ecosystem* // ed. H.R. Skjoldal. Norway: Tapir Academic Press. 2004. 559 p.
- Thompson D.W.J., Wallace J.M.* The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields // *Geophys. Res. Lett.* 1998. 25. P. 1297–1300
- Tisdale B.* On global warming and the illusion of control – Part I. Available at: <https://bobtisdale.files.wordpress.com/2015/11/tisdale-on-global-warming-and-the-illusion-of-control-part-1.pdf>.
- Toresen R., Ostvedt O.J.* Variation in abundance of Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus*, *Clupeidae*) throughout the 20th century and the influence of climatic fluctuations. // *Fish Fish.* 2000. V.1. P. 231–256.
- Watanabe C., Yatsu A.* Effect of density-dependence and sea surface temperature on interannual variation in length-at-age of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Kuroshio-Oyashio area during 1970–1997. *Fish. Bull.* 2004. V. 102. P. 196–206.
- World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regime problem* / D. Lluch-Belda, R.J. M. Crawford, T. Kawasaki, A.D. MacCall, R.H. Parrish, R.A. Schwartzlose, P. Smith // *South African J. Marine Science.* 1989. V. 8. P. 195–205.
- Xie S.-P., Noguchi H., Matsumura S.* A hemispheric-scale quasi-decadal oscillation and its signature in northern Japan. // *J. Meteor. Soc. Japan.* 1999. V. 77. P. 573–582.

**PROSPECTS OF NATIONAL FISHERY BY 2035 UNDER
THE CHANGING CLIMATE**

B. N. Kotenev, O. A. Bulatov, A. S. Krovnin

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, 107140

The study has shown that by 2035 the cooling in the Northwest Pacific and Northeast Atlantic is expected. In the Northwest Pacific, a decrease in the catches of walleye pollock in the northern regions and their essential increase in the southern regions are projected. Despite the high catches of Pacific salmon in the last decade, in future the catches of this group of valuable species will decrease significantly. According to expert estimates, the reduction of total catch of walleye pollock and salmon will amount to 1 mil. tons. However, the expected cooling will be favorable for the reproduction success of chub mackerel, Japanese sardine, Sakhalin-Hokkaido herring, Bering Sea cod and Okhotsk herring. This will allow the Far East fishermen to compensate entirely the losses, provided that the fishery is reoriented to other commercial species. In the Northeast Atlantic, the expected cooling will affect negatively the reproduction success of cod, haddock, blue whiting, mackerel, herring that results in decrease in total catch by 0.5 mil. tons. However, the expected cooling will have a positive impact on capelin stock, that compensate significantly for the catch losses.

Keywords: climate, walleye pollock, Pacific salmon, cod, catch, forecast.