

Климатические колебания как главный фактор
изменчивости условий среды обитания про-
мысловых биоресурсов и функционирования
морских экосистем

УДК 551.46

**Особенности многолетней динамики климата
и её влияние на распределение и промысел
сельдевых видов рыб Балтийского моря**

А.П. Педченко¹, В.Д. Бойцов²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
(ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

² Новгородский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («НовгородНИРО»), г. Новгород

E-mail: pedchenko@vniro.ru

Выполнен анализ особенностей межгодовой динамики температуры воды поверхностного слоя центральной части Балтийского моря и Финского залива за последние 70 лет. Суммарный вклад линейного тренда и долгопериодной компоненты в дисперсию исходных данных температуры воды центральной части Балтийского моря составляет 48,4%, а для Финского залива — 67,0%. Эти две компоненты в 1949–2018 гг. определяли продолжительность двух климатических фаз: умеренной (1949–1987 гг.) с теплосодержанием, близким к норме, и теплой (1988–2018 гг.). Средняя скорость повышения температуры в последний 31-летний период в центральной части моря составила 0,42 °C / 10 лет, тогда как в Финском заливе она была в 1,5 раза выше. Начало современного периода потепления водных масс совпало с ослаблением в Северной Атлантике меридионального типа атмосферной циркуляции и усилением переноса воздуха с её акватории в восточном направлении. Показано, что увеличение температуры воды могло быть одной из причин перераспределения промысловых скоплений сельди и шпрота на акватории Балтийского моря, что привело к изменению объёмов их годового вылова в отдельных подрайонах ИКЕС центральной части моря и Финском заливе.

Ключевые слова: Балтийское море, температура воды, климатические фазы, современное потепление, распределение сельдевых рыб, промысел.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-180-44-59

ВВЕДЕНИЕ

Балтийское море является внутриматериковым водоёмом Европы, которое через систему Датских проливов, переходящих в глубокие и широкие проливы Северного моря Скагеррак и Каттегат, соединяется с Северо-Восточной Атлантикой. Такое физико-гео-

графическое положение Балтики оказывает существенное влияние на особенности её гидрологического режима и, в первую очередь, поверхностных слоёв моря, температура и солёность которых в большей степени зависят от взаимодействия их с атмосферой и от стока пресных вод [Дубравин, Педчен-

ко, 2010; Launiainen, Vihma, 1990; Matthäus, Schinke, 1994; Hänninen et al., 2000].

Температура морской воды является одним из основных абиотических факторов, которые оказывают существенное влияние на организмы в течение их годового и жизненного циклов. Её пространственная и временная изменчивость во многом определяет условия воспроизводства, пути миграций рыб, плотность и протяжённость их скоплений. Для пелагических рыб этот фактор играет доминирующую роль [Промысловая океанография, 1986].

В океанах и морях одновременное и интегральное проявление внешних и внутренних сил служит причиной сложных по структуре изменчивости характеристик состояния водных масс, в том числе и температуры воды. В спектре её динамики присутствуют внутригодовые и межгодовые циклические колебания различной длительности. В последнюю группу входят внутривековые и межвековые изменения температуры, которые определяются крупномасштабной динамикой климата нашей планеты и её отдельных частей [Каменкович и др., 1982].

Наличие квазипериодических составляющих в структуре колебаний свойственно не только гидрометеорологическим процессам, но и показателям, характеризующим развитие в пространстве и во времени водных экосистем, в том числе и их долгопериодной изменчивости. Это указывает на наличие природных причинно-следственных связей между параметрами среды обитания гидробионтов и, например, их численностью. Исследования в этой области были проведены многими специалистами. В прошедшие годы текущего столетия при наличии достаточно длительных данных уловов рыб и других показателей биопродуктивности водоёмов были выполнены исследования по влиянию изменений регионального климата на их динамику [Шунтов, 2001; Кляшторин, Любушин, 2003; Елизаров, 2004, 2005 и др.].

В работах А.Е. Антонова [1987, 2007] представлены результаты анализа влияния долгопериодной изменчивости гелиогеофи-

зических и гидрометеорологических факторов на биопродукционные и промысловые показатели морских акваторий, в том числе Балтийского моря. В монографии В.В. Дроздова и Н.П. Смирнова [2008] представлены оценки степени и характера влияния колебаний климата и природных факторов среды на урожайность и уловы донных рыб Балтики. Эти авторы считают, что в связи со значительным изменением глобального и регионального климата на планете в последнее время необходимо интенсифицировать исследования по оценке степени их влияния на процессы, происходящие в континентальных и водных экосистемах.

Оценки влияния климата на экосистему Балтийского моря и Финского залива обобщены в монографиях и публикациях европейских исследователей [Brohan et al., 2006; BACC Author Team, 2008; The Gulf of ..., 2016 и др.], в которых приоритетным признается влияние атмосферных процессов на трёхмерную циркуляцию вод в Балтийском море и на водообмен с Северным морем, на динамику температуры воздуха и воды, солёности, речного стока и ледовых условий, что, в конечном итоге, приводит к изменению кормовой базы рыб и их численности.

Вместе с тем, в настоящее время Хельсинкская комиссия по защите морской среды района Балтийского моря (HELCOM) призывает уделять больше внимания оценке климатических изменений в Балтийском море и их последствий [HELCOM, 2013].

С учётом важности для пелагического промысла получения детальных оценок современного периода потепления климата целью настоящего исследования являлся анализ особенности межгодовой динамики температуры воды центральной части Балтийского моря и его восточного участка, каковым является Финский залив, выявление периодов похолодания и потепления водных масс за последние 70 лет, а также оценка степени влияния температуры на распределение и вылов рыбы в этих районах моря, где ведётся отечественный промысел.

Западная часть Балтийского моря и Ботнический залив в работе не рассматривались.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Анализ межгодовой изменчивости температуры поверхности моря в 1949–2018 гг. проводился по данным её месячных значений за май–октябрь (когда на поверхности Балтийского моря отсутствует лёд), осреднённым в трапециях площадью $2^\circ \times 2^\circ$ по долготе и широте и отнесённым к их центрам. Данные, находящиеся в свободном доступе, были взяты из архива NOAA [NOAA NCDC 2019]. Условными границами центрального участка моря были приняты меридианы 16° и 22° в.д., береговая линия между ними на юге и параллель 60° с.ш. на севере. Средняя

температура для центральной части моря была рассчитана для четырёх трапеций, а для Финского залива — для трёх, центры которых показаны на рис. 1.

На изменчивость погоды и климата Северо-Европейского бассейна и Европейского континента важную роль играет система крупномасштабной циркуляции воздушных масс, доминирующим элементом которой является господствующий в тропосфере перенос циклонами тёплого и влажного воздуха с Северной Атлантики в восточном направлении. Для оценки влияния этого процесса на долгопериодные вариации температуры

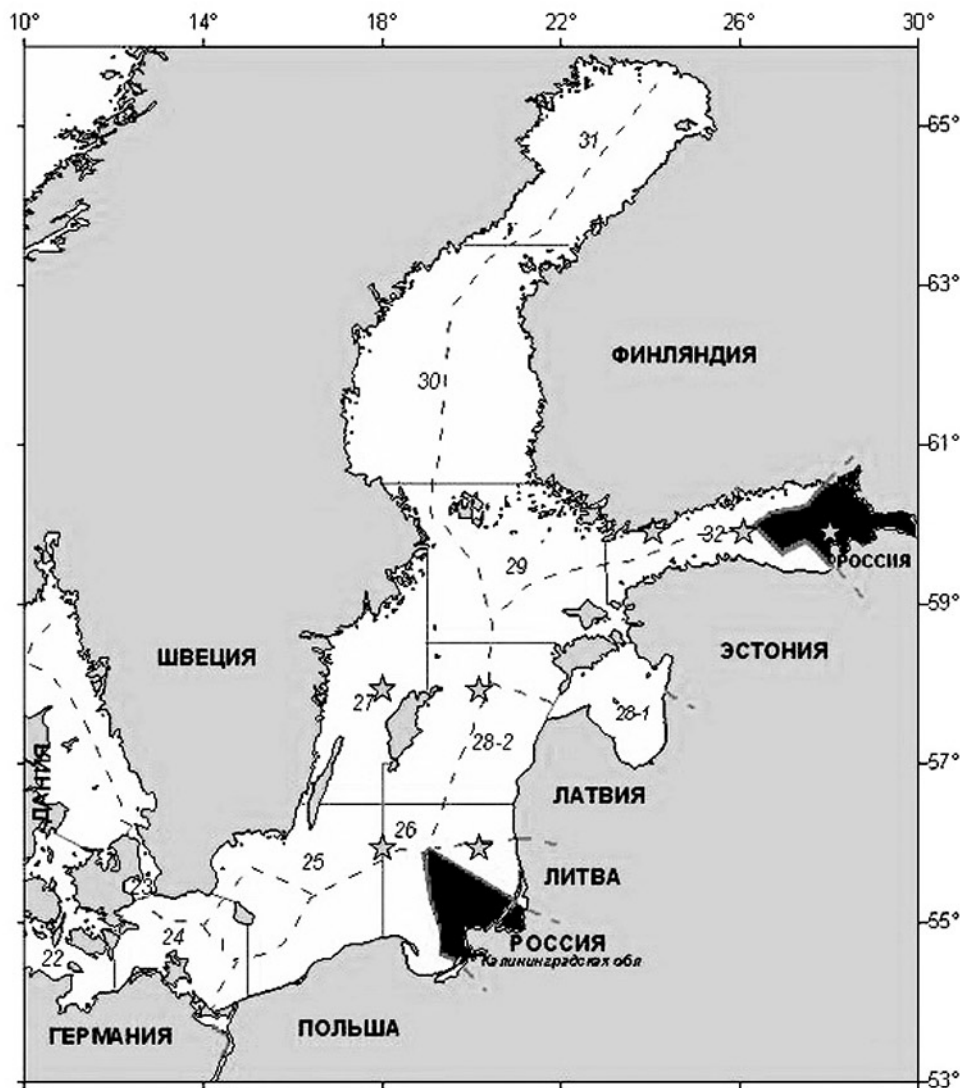


Рис. 1. Положение центров трапеций (звёздочка) регулярной сетки $2^\circ \times 2^\circ$, границ экономических зон (пунктир) и подрайонов 22–32 ИКЕС (сплошная линия) в Балтийском море

воды Балтийского моря в работе использовались средние за декабрь-февраль значения индекса Северо-Атлантического колебания (North Atlantic Oscillation — NAO) за период 1949–2018 гг. из архива NOAA [NOAA, 2019]. В качестве характеристики перестройки термодинамических полей в атмосфере атлантико-евразийского сектора Северного полушария также анализировался такой показатель, как число дней западного (W), восточного (E) и меридионального (C) переноса воздушных масс в течение года [Вангенгейм, 1952; Ivanov, Vinogradov, 1996].

При расчёте отклонения температуры воды от средних многолетних значений в работе использовалась норма за период 1961–1990 гг., который был рекомендован Всемирной метеорологической организацией для долгосрочной оценки изменения климата. Выделение линейного тренда и нелинейных компонент в динамике теплового состояния водных масс, расчёты коэффициентов корреляции и уравнений регрессии, статистических характеристик выборок проводились с помощью пакета анализ MS Excel 2007. Скорость роста температуры воды за каждые 10 лет определялась по величине коэффициента b уравнения линейного тренда. Спектральный анализ временных рядов был выполнен с помощью программного комплекса «AutoSignal» [Users Guide, 2003].

В работе использованы материалы рабочей группы ИКЕС Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS) за 1995–2018 гг. [Reports of WGBFAS ..., 2019] по статистике вылова сельдевых рыб в подрайонах ИКЕС

(SD ICES 25–27, 28.2, 29, 32) Балтийского моря, а также их пространственного распределения в период осенних акустических съёмок в подрайонах 25–29 и 32, за исключением Рижского залива (SD ICES 28.1) [ICES, 2012, 2013, 2017]. Данные о российском вылове сельди и шпрота в Финском заливе (SD ICES 32) заимствованы из открытых научных публикаций [Шурухин и др., 2016; Боркин, Пожинская, 2017; Боркин и др., 2019; The Gulf of ..., 2016; ICES. 2018].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ особенностей долгопериодной изменчивости температуры поверхностного слоя вод в центральной части акватории Балтийского моря и в Финском заливе за 1949–2018 гг. позволил выделить две климатические фазы: первая — с температурой воды, близкой к норме, в 1949–1987 г., которая состоит из продолжительного умеренного (1949–1975 гг.) и короткого холодного (1976–1987 гг.) периодов, и вторая — 31-летняя, с температурой, превышающей норму, которая состоит из умеренного периода (1988–1998 гг.) и последующего периода (1999–2018 гг.), характеризующегося значительным потеплением водных масс (табл.).

Отмеченные особенности межгодовых колебаний температуры воды поверхностного слоя в центральной части акватории Балтийского моря и в Финском заливе в 1949–2018 гг. определили наличие в её динамике восходящего линейного тренда, вклад которого в общую изменчивость температуры составил 38 и 47%, соответственно (рис. 2).

Таблица. Средние аномалии температуры воды поверхностного слоя в центральной части акватории Балтийского моря и в Финском заливе в 1949–2018 гг., рассчитанные от нормы 1961–1990 гг.

Период, годы	Центральная часть акватории	Финский залив	Фаза теплового состояния вод
первый период 1949–1987 гг.			умеренная
1949–1987	-0,07	-0,02	
1949–1975	0,02	0,09	
1976–1987	-0,37	-0,32	
второй период 1988–2018 гг.			тёплая
1988–2018	1,01	1,10	
1988–1998	0,42	0,37	
1999–2018	1,32	1,50	

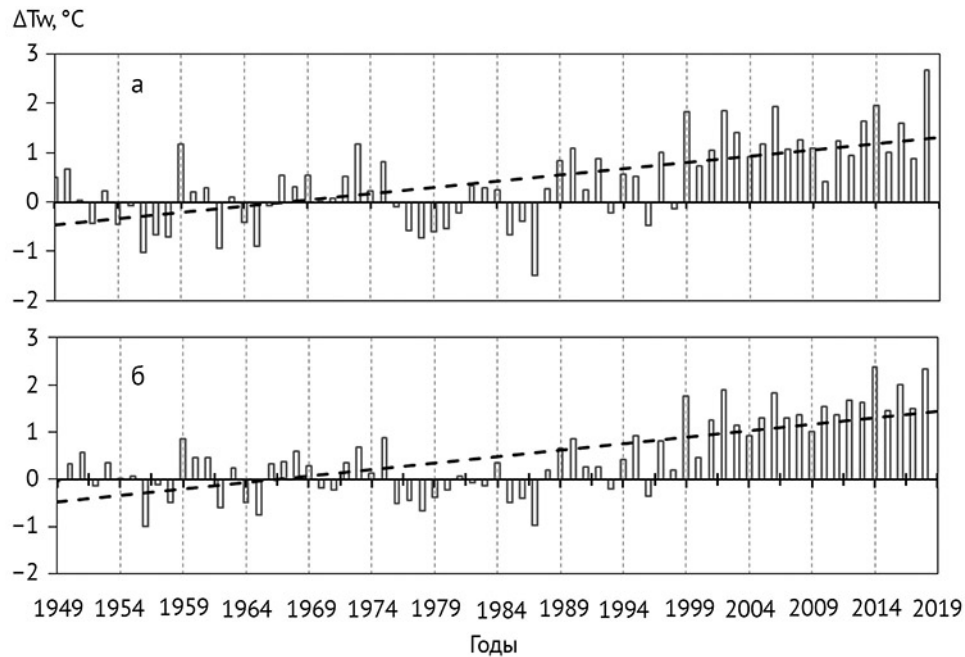


Рис. 2. Аномалии средней за май-октябрь температуры воды поверхностного слоя в центральной части акватории Балтийского моря (а) и в Финском заливе (б) в 1949–2018 гг. и её линейные тренды (пунктир)

После элиминации значений линейного тренда из исходных данных температуры воды центральной части Балтийского моря и Финского залива была выделена долго-периодная компонента, аппроксимирован-

ная полиномом 5 степени (рис. 3). Можно предположить, что она является фрагментом квазивекового цикла, поскольку эта низкочастотная составляющая присутствует в спектре средней температуры воды

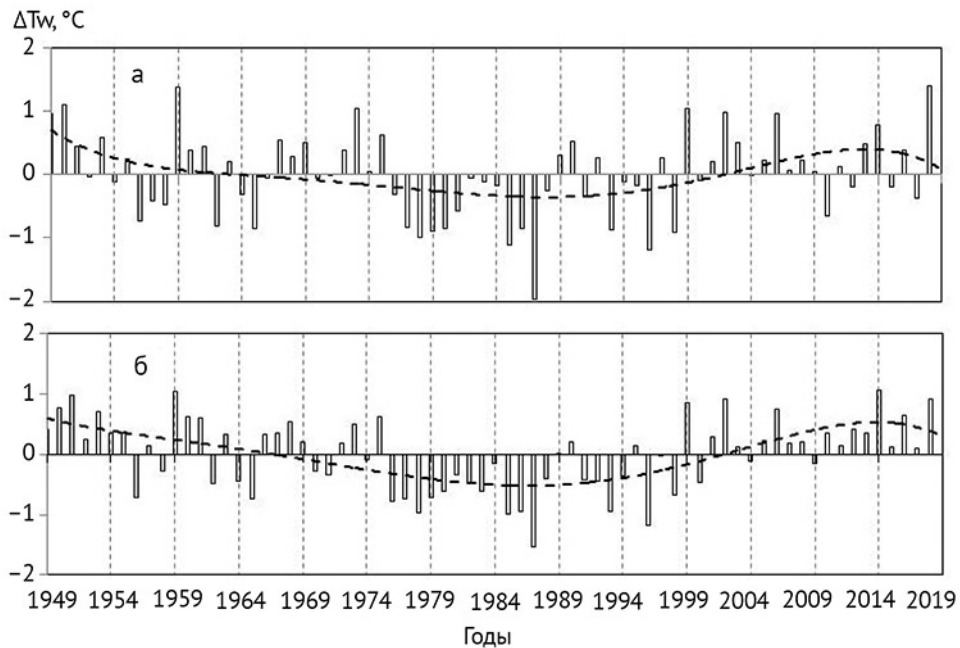


Рис. 3. Разность исходных значений температуры воды поверхностного слоя и линейного тренда в центральной части акватории Балтийского моря (а) и в Финском заливе (б) в 1949–2018 гг. и её нелинейная компонента (пунктир)

Балтийского моря, рассчитанного нами по данным за 1900–2017 гг. [Педченко, Бойцов, 2018]. Наличие квазивекового цикла в многолетних колебаниях гидрометеорологических характеристик воздушных и водных масс, а также индексов атмосферной циркуляции отмечалось многими исследователями [Александров и др., 2003; Кляшторин, Любушин, 2005; Schlesinger, Ramankutty, 1994; Knudsen et al., 2011 и др.].

Суммарный вклад линейного тренда и долгопериодной компоненты в дисперсию исходных данных температуры воды центральной части Балтийского моря и Финского залива различается. Для центральной части моря он составляет 48,4%, а для Финского залива — 67,0%. При этом на акватории залива вклад тренда был больше на 8,7%, а вклад низкочастотной составляющей — на 9,9%, чем в центральной части моря. Эти две компоненты в 1949–2018 гг. определяли продолжительность двух климатических фаз (см. табл.).

Помимо линейного тренда и долгопериодной компоненты, в спектре межгодовых колебаний температуры на поверхности рассматриваемых акваторий моря присутствуют квазипериодичности 10–12, 7–8 лет и 2–4 года. Наибольшую дисперсию имеет пик на частоте, соответствующей 7–8-летнему циклу. В целом спектральная структура колебания температуры воды в центральной части Балтийского моря и в Финском зали-

ве имеет незначительные различия и близка к таковой, рассчитанной для всего Балтийского моря (рис. 4).

Как уже отмечалось, после 1987 г. температура воды в центральной части Балтийского моря стала в основном превышать климатическую норму. Только в 1993, 1996 и 1998 гг. она оказалась ниже климатической нормы. В Финском заливе это наблюдалось в 1993 и 1996 гг. Средняя отрицательная аномалия температуры воды этих районов в отмеченные годы была одинаковой и составляла — 0,28 °С. Поэтому до 1998 г. средняя скорость роста температуры воды была невысокой, после чего она возросла. Об этом можно судить даже по наклону кривых на этих участках (рис. 5).

Расчёты скорости роста температуры воды за каждые 10 лет в 1988–2018 гг. показали, что в центральной части Балтийского моря температура воды увеличивалась на 0,42 °С, а в Финском заливе — на 0,61 °С, что в 1,5 раза больше. Также почти в два раза больше был и вклад тренда в дисперсию временного ряда температуры воды Финского залива (61%), по сравнению с таковой в центральной части Балтийского моря (32%), на что указывают значения коэффициента R^2 (рис. 6). Это позволяет говорить о том, что процесс потепления водных масс на востоке Балтийского моря проходил более интенсивно, чем в его центральной части.

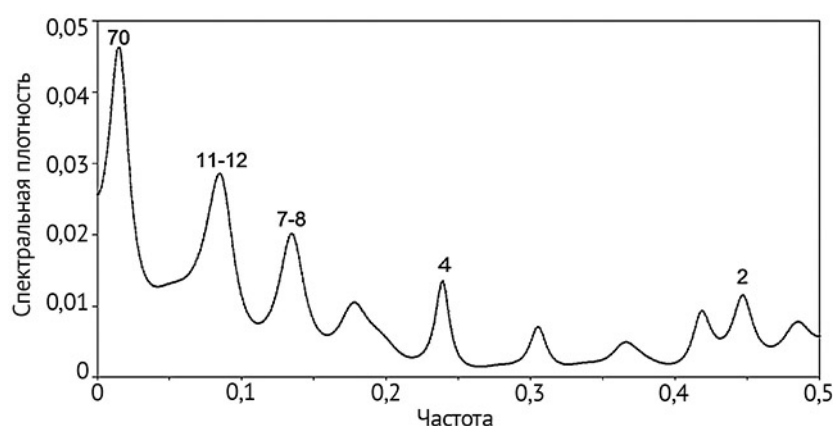


Рис. 4. Спектр колебаний температуры поверхностного слоя воды Балтийского моря в 1900–2017 гг. [Педченко, Бойцов, 2018]

Над значимыми пиками спектральной плотности указан период (годы)

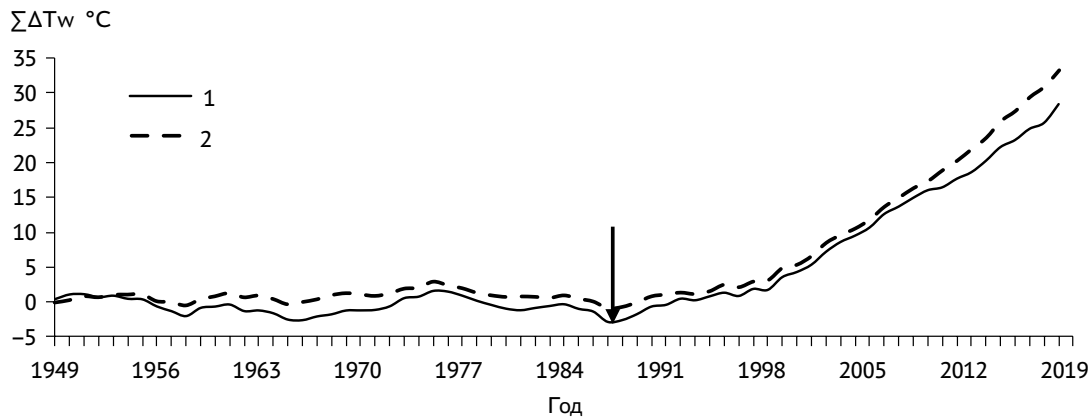


Рис. 5. Динамика последовательно суммированных аномалий средней температуры воды поверхностного слоя за май-октябрь в центральной части Балтийского моря (1) и Финском заливе (2) в 1949–2018 гг.
Обозначения: стрелка на графике — начало периода современного потепления климата

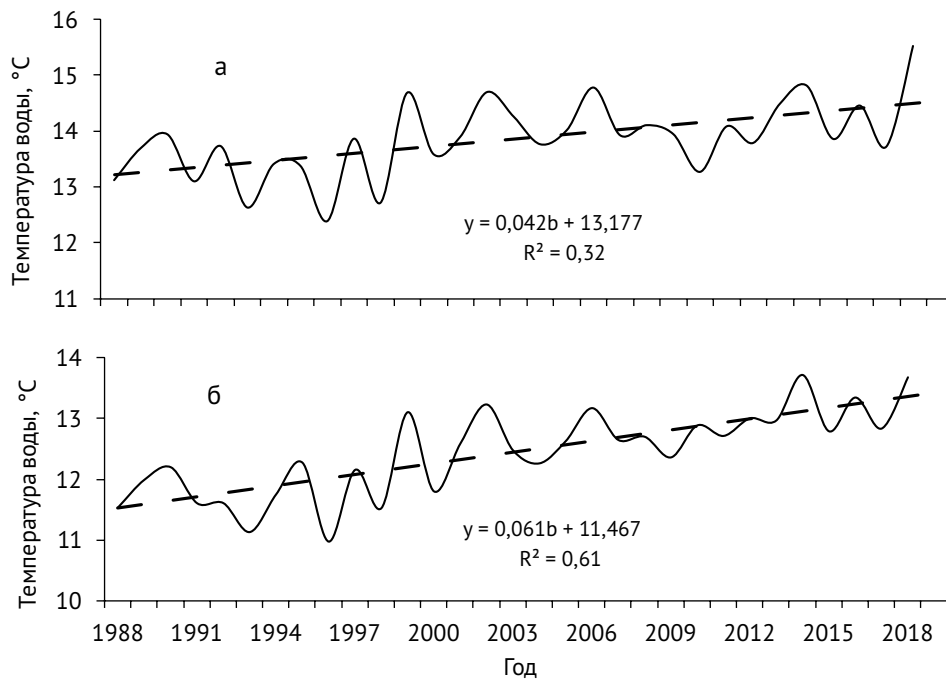


Рис. 6. Изменчивость средней температуры воды поверхностного слоя за май-октябрь в центральной части Балтийского моря (а) и в Финском заливе (б) в 1988–2018 гг. и её линейные тренды (пунктир)
Обозначения: в нижней части графиков показаны уравнения линейного тренда, R^2 — показатель доли тренда (умножить на 100%) в изменчивости исходных данных

На рис. 7 представлен график аномалий индекса NAO, рассчитанных от нормы 1981–2010 гг. и его линейный тренд. С 1949 по 1987 гг. средняя величина индекса была отрицательной (минус 0,26), в 1988 г. он приблизился к нулю, а в последующие годы стали доминировать его положительные значения. Средняя величина индекса за 1988–2018 гг. составила 0,62. Как показано

в работе [Нестеров, 2013], в результате перестройки режима взаимодействия океана и атмосферы в конце 1980-х гг. начался рост значений индекса NAO, что вызвало усиление потока воздушных масс с запада и потепление климата в атлантико-европейском регионе. Совпадение периодов времени, когда температура воды стала превышать климатическую норму в центральной части

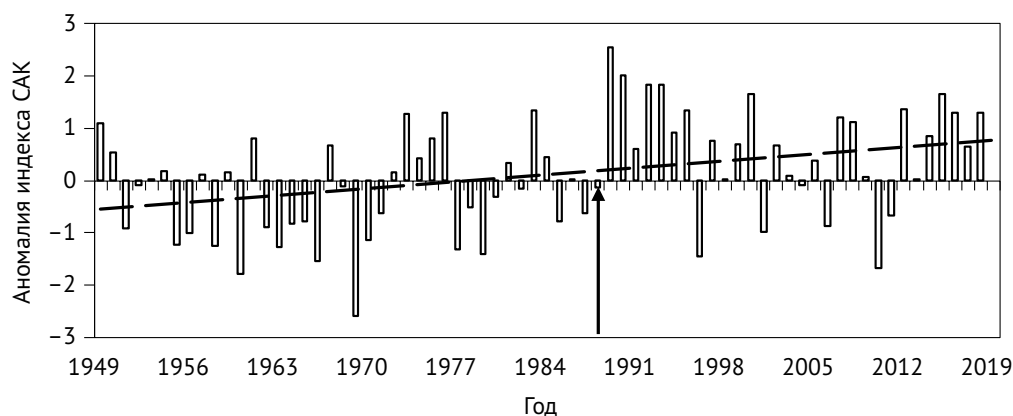


Рис. 7. Аномалии индекса Северо-Атлантического колебания (North Atlantic Oscillation — NAO) в 1949–2018 гг.

Обозначения: пунктиром показан линейный тренд, вертикальная стрелка — начало доминирования положительных значений индекса NAO

Балтийского моря и в Финском заливе, и перехода значений индекса NAO в положительную фазу указывает на то, что усиление западного переноса атлантических воздушных масс в европейский регион могло быть одной из основных причин начала интенсивного потепления гидрологического климата моря в 1988–2018 гг.

Определённый интерес представляют результаты оценки пространственной изменчивости скорости увеличения температуры воды в 1988–2018 гг. в пределах каждого из двух рассматриваемых районов Балтийско-

го моря. Анализ показал, что она возрастала в направлении с запада на восток. В центральной части моря, площадь которой состоит из четырёх трапеций $2^\circ \times 2^\circ$ по широте и долготе (см. рис. 1), средняя скорость повышения температуры в точках пересечения меридиана 18° в.д. с параллелями 56° и 58° с.ш. (координаты центров трапеций) составила $0,40^\circ\text{C}/10$ лет, тогда как на пересечении меридиана 20° в.д. с теми же параллелями — $0,45^\circ\text{C}/10$ лет. В Финском заливе этот показатель изменялся от $0,56^\circ\text{C}/10$ лет на его западной акватории до $0,64^\circ\text{C}/10$ лет — на

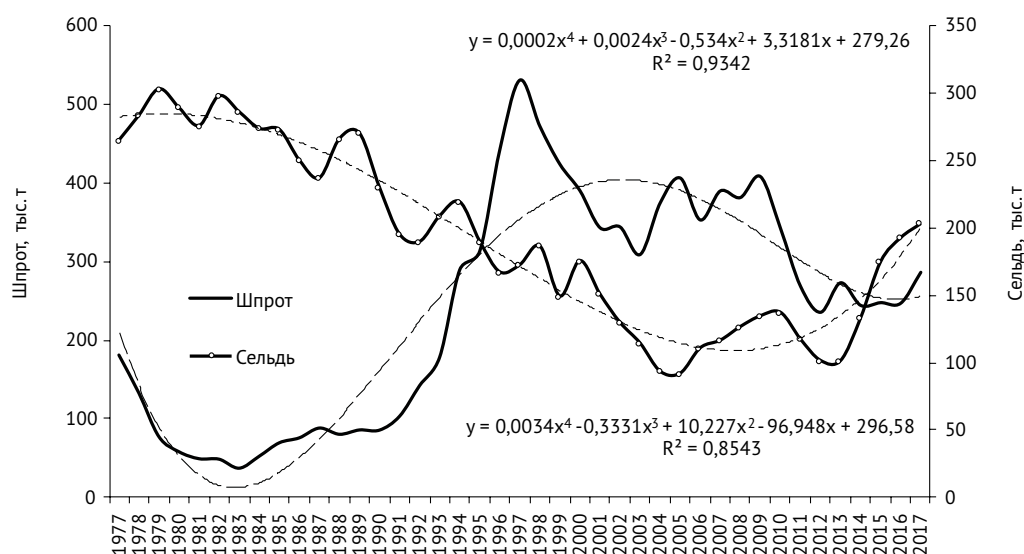


Рис. 8. Уловы сельди и шпрота в Балтийском море (сплошная линия) и их долгопериодные составляющие (пунктирная линия) за 1977–2017 гг. [Педченко, Бойцов, 2018]

востоке. Таким образом, можно констатировать, что в мелководных районах рассматриваемой акватории Балтийского моря темпы увеличения температуры в 1988–2018 гг. были выше, чем в глубоководной части моря. Это согласуется с оценками зарубежных экспертов [HELCOM, 2013], по мнению которых средняя годовая температура поверхности моря повысилась до $1\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ с 1990 по 2008 год, при этом наибольшее её увеличение отмечалось в северной части Ботнического, в Финском и Рижском заливах и северной части центральной Балтики.

Динамика температуры воды Балтийского моря хорошо согласуется с колебаниями вылова сельди и шпрота (1977–2017 гг.), которые доминируют в ихтиоценозе центрального бассейна Балтики и его заливах (рис. 8). Степень корреляционной связи температуры (май–октябрь) и вылова сельди составила минус 0,76, вылова шпрота — 0,54, что подтверждает закономерности, выявленные ранее [Дубравин, Педченко, 2010].

Результаты наших исследований показали, что с 1977 г. по 1988 г. средний вылов сельди в Балтийском море был на достаточно высоком уровне (рис. 9). В этот период доминировал восточный (Е) перенос воздушных масс, а средняя температура воды

была близка к среднесуточной величине. Затем повторяемость западного типа (W) атмосферной циркуляции стала превышать повторяемость восточного типа, в результате чего в Балтийском море увеличилась температура воды. В эти годы вылов сельди в море стал уменьшаться и достиг минимума в 2012–2013 гг. (110 тыс. т). Вероятно, увеличение температуры воды в сочетании с другими факторами создали недостаточно оптимальные условия для нереста сельди, развития её молоди и, следовательно, негативно отразились на пополнении её запаса, что подтверждается общим снижением запасов и уловов рыбы [ICES, 2012, 2013]. После 2013 г. повторяемость западного и восточного переноса воздушных масс в течение года стала примерно одинаковой, а также приостановился дальнейший рост температуры воды, что могло способствовать увеличению уловов сельди [ICES, 2017] (рис. 9).

Отмечено, что увеличение температуры воды привело к перераспределению концентраций скоплений сельдевых рыб. Это положение наглядно иллюстрируют данные осенних тралово-акустических съёмки в Балтийском море (рис. 10). Анализ этих материалов показал, что в последнее десятилетие, в период интенсивного потепления

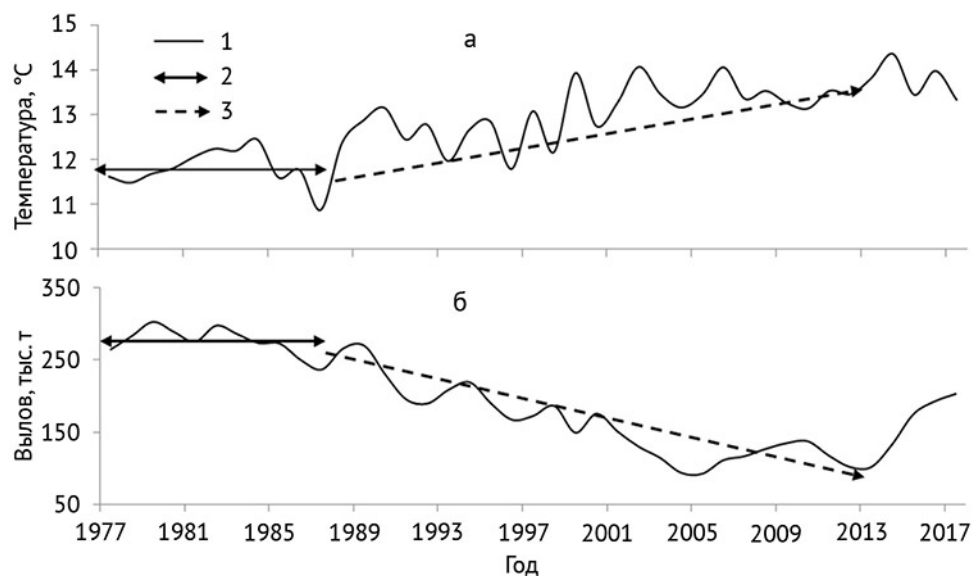


Рис. 9. Межгодовые колебания температуры воды поверхностного слоя Балтийского моря (а) и общего вылова сельди (б) в 1977–2017 гг. (1), их средние значения в 1977–1988 гг. (2) и линейные тренды в 1989–2013 гг. (3) [Педченко, Бойцов, 2018]

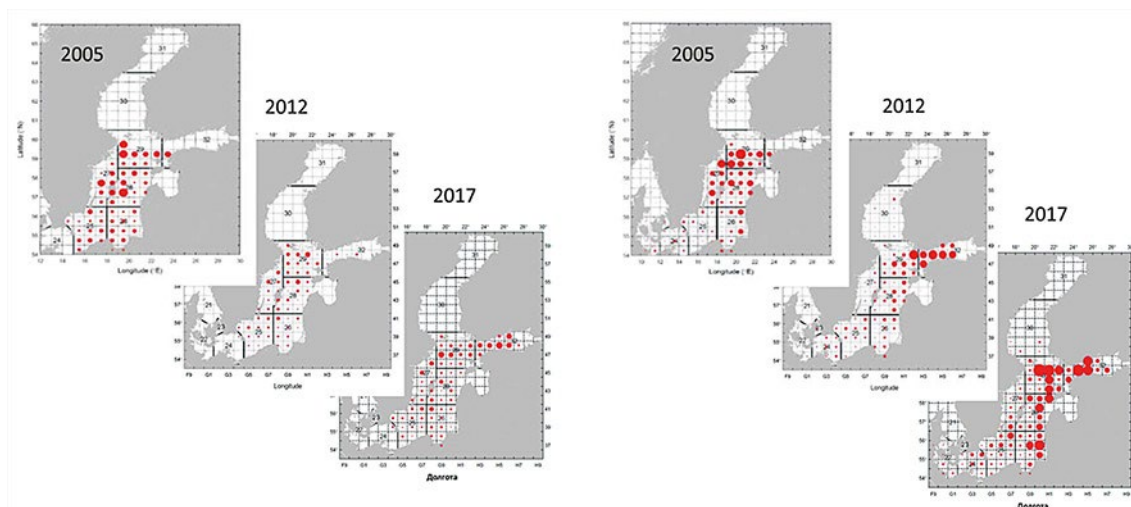


Рис. 10. Распределение сельди (слева) и шпрота (справа) в 25–29 и 32 подрайонах ИКЕС, за исключением подрайона 28.1 (Рижский залив), по данным акустических съёмок в 2005, 2012 и 2017 гг. [ICES, 2012, 2013, 2017]

вод (см. рис. 5), отчётливо прослеживалось смещение скоплений рыбы в северном и северо-восточном направлении [Амосова и др., 2018; ICES, 2012, 2013, 2017] и увеличение концентраций сельди и шпрота в 29 и 32 подрайонах ИКЕС в Балтийском море.

Выявленные закономерности были отмечены и другими экспертами [Horbowy, Luzenczyk, 2016], по мнению которых увеличилась также пространственная неоднородность распределения промысловых видов рыб.

Вероятно, длительное и значительное увеличение температуры в последние десятилетия сказалось на состоянии кормовой базы и биологии рыб, что в итоге обусловило их перераспределение по акватории и изменение уловов в центральной части акватории Балтийского моря (рис. 11).

Изучение материалов ресурсных исследований в Финском заливе показали, что динамика вылова сельди и шпрота в Финском заливе (рис. 12) хорошо согласуется с межгодовой изменчивостью вылова этих видов в центральном бассейне Балтийского моря (см. рис. 11).

Представленные материалы позволяют предположить, что увеличение запасов сельдевых рыб в восточной части Финского залива за счёт высоко- и среднеурожайных поколений балтийской сельди 2014 и 2015 гг. [Боркин и др., 2019] и перераспределение их

скоплений из центральной части Балтийского моря в северо-восточном направлении на фоне значительного потепления вод обусловили увеличение вылова салаки и шпрота в 32 подрайоне ИКЕС.

На фоне значительного потепления водных масс Балтийского моря в последнее десятилетие Финский залив стал свидетелем перестройки экосистемы, структуры и численности биологических ресурсов [The Gulf of ..., 2016]. Изменяется видовое разнообразие и численность промысловых рыб залива. Можно предположить, что поведение и распределение, а, следовательно, и промысел сельдевых рыб в дальнейшем будет зависеть от множества антропогенных воздействий, влияющих на среду обитания рыб в совокупности с изменением климата. Это обусловлено тем, что экологические вариации могут оказывать значительное и быстрое воздействие на рыбные сообщества, поскольку многие из них, в том числе и сельдевые рыбы, обитают в достаточно узких пределах толерантности факторов окружающей среды.

Анализ научных публикаций по Финскому заливу [День Балтийского моря, 2019] показал, что влияние антропогенных факторов в большей степени сказывается на запасах рыб мелководных участков Финского залива, где ведутся масштабные гидротехнические

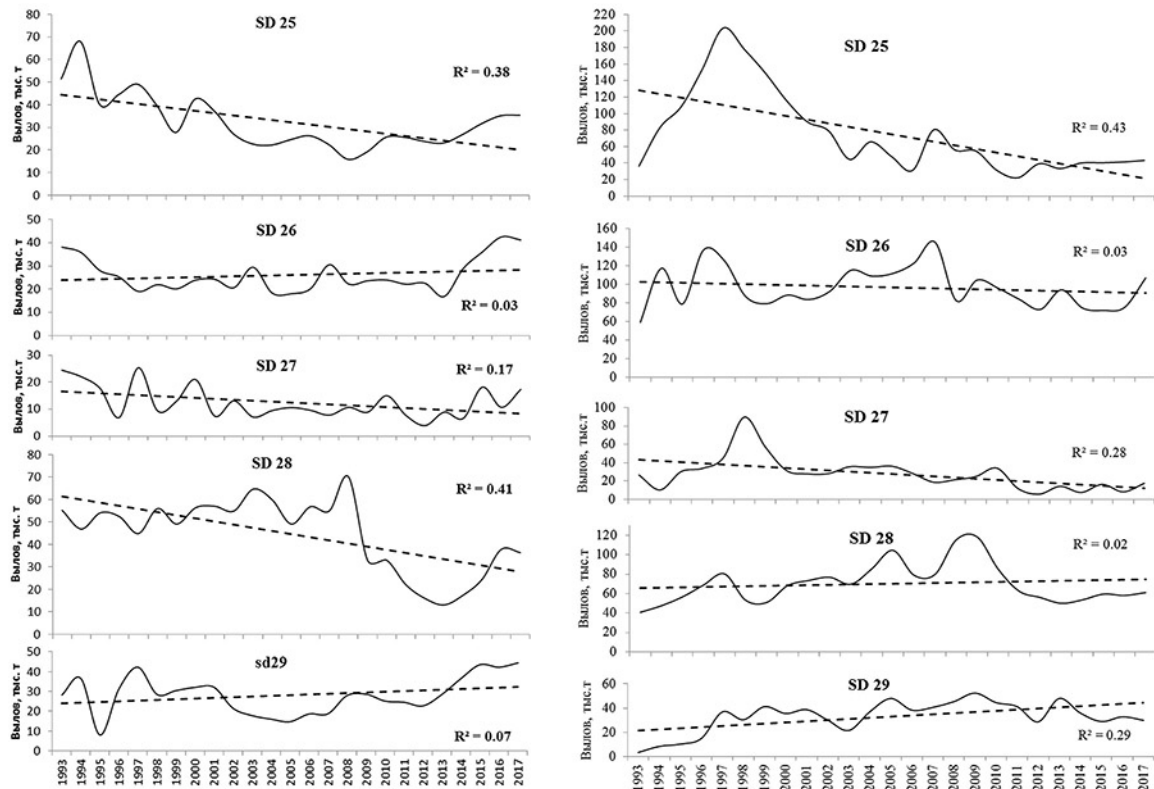


Рис. 11. Динамика вылова сельди (слева) и шпрота (справа) по подрайонам 25–29 и 32 ИКЕС Балтийского моря в 1993–2017 гг.

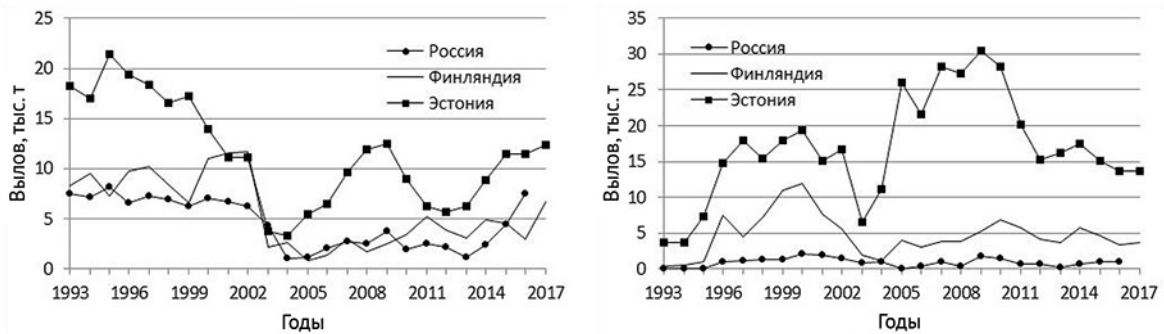


Рис. 12. Вылов сельди (слева) и шпрота (справа) в Финском заливе в 1993–2017 гг.

Примечание: Также промысел вели Швеция, Дания и Германия, однако их вклад в общий вылов был незначительный и здесь не представлен [Reports of WGBFAS ..., 2019]. Вылов России представлен по материалам [Шурухин и др., 2016; Боркин, Пожинская, 2017; Боркин и др., 2019; The Gulf of ..., 2016].

работы. Развитие этих работ на акватории залива требует детального изучения влияния природных и антропогенных факторов на его экосистему с учётом мероприятий пространственного морского планирования. Оценка роли климатических измене-

ний и природных факторов при разработке моделей динамики численности и промысла рыб будет усложняться необходимостью учитывать разнообразный и сложный характер антропогенного воздействия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В межгодовых колебаниях температуры воды поверхностного слоя центральной части Балтийского моря и Финского залива выделены две климатические фазы: близкая к норме (1949–1987 гг.) и тёплая, которая началась в 1988 г. и продолжалась до 2018 г. (средняя аномалия температуры воды поверхностного слоя составляла 1,01 и 1,10 °С, соответственно).

В современный период потепления скорость увеличения температуры воды в центральной части Балтийского моря составляла 0,42 °С/10 лет и 0,61 °С/10 лет в Финском заливе, что почти в 1,5 раза больше.

В 1988–2018 гг. наблюдалось увеличение скорости роста температуры с запада на восток как между рассматриваемыми районами Балтийского моря, так и в пределах каждого из них.

Начало и длительное сохранение во времени тёплой климатической фазы в последние три десятилетия могло быть вызвано ослаблением меридионального типа атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой и увеличением интенсивности западного (W) переноса воздушных масс. Это привело к увеличению температуры поверхностного слоя Балтийского моря, и как следствие, обусловило перераспределение их промысловых концентраций по акватории моря и изменение объёмов вылова сельди и шпрота в подрайонах ИКЕС.

Полученные результаты позволяют говорить о возможности использования выявленной цикличности и связи между температурой воды и выловом сельдевых рыб при разработке перспективных прогнозов промысла сельди и шпрота. В настоящее время такие прогнозы опираются, главным образом, на модели, не учитывающие взаимосвязи с абиотическими факторами.

По нашему мнению, существующие региональные модели оценки влияния климатических факторов на состояние запасов промысловых рыб Балтийского моря нуждаются в дополнительной настройке с учётом разнообразного характера антропогенного воздействия на его экосистему.

ЛИТЕРАТУРА

- Александров Е.И., Брызгин Н.Н., Дементьев А.А. 2003. Тенденция в изменениях температуры воздуха и атмосферных осадков Северной полярной области во второй половине XX века // Труды ААНИИ. Т. 446. С. 31–40.
- Амосова В.М., Васильева Т.Г., Зезера А.С. 2018. О перспективах развития отечественного промысла шпрота в Балтийском море до 2025 г. // Труды ВНИРО. Т. 171. С. 39–55.
- Антонов А.Е. 1987. Крупномасштабная изменчивость гидрометеорологического режима Балтийского моря и её влияние на промысел. Л.: Гидрометеиздат. 248 с.
- Антонов А.Е. 2007. Природная циклоэнергетика. Гидрометеорологическое и рыбопромысловое прогнозирование. СПб.: Гидрометеиздат. 216 с.
- Бойцов В.Д., Педченко А.П. 2018. Долгопериодная изменчивость температуры воздуха Балтийского моря в 1900–2016 гг. // Мат. XIX Межд. экологического форума «День Балтийского моря» (22–23 марта 2018 г., Санкт-Петербург). СПб.: Своё Издательство. С. 219–225.
- Боркин И.В., Пожинская И.А. 2017. Промысел и биология шпрота (кильки) *Sprattus sprattus balticus* в восточной части Финского залива // Труды V Балтийского морского форума. Всерос. науч. конф. «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоёмов». Калининград: КГТУ. С. 11–15.
- Боркин И.В., Шурухин А.С., Богданов Д.В. 2019. Промысел и современное состояние запаса балтийской сельди *Clupea harengus membras* (Linnaeus, 1758) в российских водах Финского залива // Рыбное хозяйство. № 1. С. 52–55.
- Вангенгейм Г.Я. 1952. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики // Труды ААНИИ. Т. 34. 314 с.
- День Балтийского моря. Коллекция сборников тезисов форума. Доступно через: http://www.helcom.ru/baltic_sea_day/bsd_thesis_collection. 10.10.2019.
- Дроздов В.В., Смирнов Н.П. 2008. Колебания климата и донные рыбы Балтийского моря. СПб.: РГГМУ. 249 с.
- Дубравин В.Ф., Педченко А.П. 2010. Долгопериодная изменчивость термохалинной структуры вод Балтийского моря и её влияние на динамику запасов и промысел пелагических рыб // Вопросы промысловой океанологии. № 7. Вып. 2. С. 57–79.
- Елизаров А.А. 2004. Единство Мирового океана. Межгодовые и многолетние изменения абиотических и биотических условий и возможности их прогнозирования // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 1. С. 110–125.
- Елизаров А.А. 2005. Проблемы промысловая океанология и пути их решения (от Г.К. Ижевского до наших дней) // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 2. С. 11–37.

- Каменкович В.М., Кошляков М.Н., Монин А.С. 1982. Синоптические вихри в океане. Л.: Гидрометеопиздат. 263 с.
- Кляшторин Л.Б., Любушин А.А. 2005. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности. М.: Изд-во ВНИРО. 235 с.
- Нестеров Е.С. 2013. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М.: Триада, ЛТД. 144 с.
- Педченко А.П., Бойцов В.Д. 2018. Долгопериодные колебания температуры воды Балтийского моря в 1900–2017 гг. // Труды II Всерос. конф. «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития» имени Л.Н. Карлина (19–20 декабря 2018 г.). Санкт-Петербург. С. 516–519.
- Промысловая океанография. 1986 / Под ред. Д.Е. Гершановича. М.: Агропромиздат. 336 с.
- Шунтов В.П. 2001. Биология дальневосточных морей России. Т. 1. Владивосток: ТИНРО-центр. 580 с.
- Шурухин А.С., Лукин А.А., Педченко А.П., Титов С.Ф. 2016. Современное состояние рыбного промысла и эффективность использования сырьевой базы в Финском заливе Балтийского моря // Труды ВНИРО. Т. 160. С. 60–69.
- BACC Author Team, 2008. Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Springer. 473 pp.
- Brohan, P., Kennedy, J.J., Harris, I., Tett, S.F.B. Jones, P.D. 2006. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850 // J. Geophysical Research, 111: D12106, doi:10.1029/2005JD006548.
- Hänninen J., Vuorinen I., Hjelt P. 2000. Climatic factors in the Atlantic control the oceanographic and ecological changes in the Baltic Sea // Limnology and Oceanography 45 (3): 703–710.
- HELCOM. 2013. Climate change in the Baltic Sea Area: HELCOM thematic assessment in 2013 Balt. Sea Environ. Proc. No. 137. 352 p.
- Horbowy J., Luzenczyk A. 2016. Effects of multispecies and density dependent factors on MSY reference points: Example of the Baltic Sea sprat // CIFAS — 2016–0220.R3: 1–27.
- ICES. 2012. Report of the ICES Advisory Committee 2012. ICES Advice, 2012. Book 8, 169 pp.
- ICES. 2013. Report of the Benchmark Workshop on Baltic Multispecies Assessments (WKBALT), 4–8 February 2013, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2013/ACOM:43. 399 pp.
- ICES. 2017. Report of the ICES Advisory Committee 2017. ICES Advice, 2012. Book 8, 177 pp.
- ICES. 2018. Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS), 6–13 April 2018, ICES HQ, Copenhagen, Denmark. 748 pp.
- Ivanov V.V., Vinogradov N.D. 1996. Meteorological forecasts // INSROP Working Paper No. 36–1996. 1.6.1: Operational Tools. Norway. P. 7–20.
- Knudsen M.F., Seidenkrantz M.S., Jacobsen B.H., Kuijpers A. 2011. Tracking the Atlantic Multidecadal Oscillation through the last 8,000 years // Nat. Commun. 2:178 doi: 10.1038/ncomms1186.
- Launiainen J., Vihma T. 1990. Meteorological, ice and water exchange conditions. Second periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1984–1988 // Baltic Sea Environment Proceedings 35 B: 22–33.
- Matthäus W., Schinke H. 1994. Mean atmospheric circulation patterns associated with major Baltic inflows // Deutsche Hydrographische Zeitschrift 46: 321–339.
- NOAA NCDC ERSST version4 selection. Accessible via: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/NOAA/NCDC/ERSST/version4/>. 12.10.2019.
- NOAA National Weather Service. Climate Prediction Center. Accessible via: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>. 26.11.2019.
- Reports of WGBFAS ICES1995–2018. Accessible via: <http://www.ices.dk/publications/library/Pages/default.aspx>. 12.10.2019.
- Schlesinger M.E., Ramankutty N. 1994. An oscillation in the global climate system of period 65–70 years // Nature 367(6465):723–726.
- The Gulf of Finland assessment. 2016. / Editors: Raateoja M., Setälä O. Finnish Environment Institute (SYKE), 2 / 27. 368 p.
- Users Guide. 2003. SeaSolve Software Inc. AutoSignal. Pioneering automated signal analysis and advanced filtering. Framingham. 479 p.

Поступила в редакцию 13.01.2020 г.
Принята после рецензии 03.02.2020 г.

Habitat of aquatic biological resources
Climatic factors of variability of environmental
conditions of fishery resources and marine
ecosystem functioning

**Peculiarity of long-term climate dynamics and its impact on the
distribution and fishing of herring fish species in the Baltic Sea**

A.P. Pedchenko¹, V.D. Boitsov²

¹ Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «VNIRO»), Moscow; Saint Petersburg scientific center of the RAS (SPb SC RAS), Saint Petersburg, Russia

² Novgorod branch of FSBSI «VNIRO» («NovgorodNIRO»), Novgorod, Russia

The features of the interannual dynamics of the surface water temperature in the Central part of the Baltic Sea and in the Gulf of Finland over the past 70 years were analyzed. The total effect of the linear trend and the long-period component on the dispersion of the initial water temperature values in the Central part of the Baltic Sea was 48.4%, and in the Gulf of Finland was 67.0%. These two components in 1949–2018 determined the duration of two climatic phases: moderate (1949–1987) with a heat content close to normal and warm (1988–2018). The average rate of temperature increase in the last 31-year period (1988–2018) in the Central part of the Baltic Sea was 0.42 °C per 10 years, while in the Gulf of Finland it was 1.5 times higher. The beginning of the modern period of warming of water masses coincided with the weakening of the meridional type of atmospheric circulation in the North Atlantic and the strengthening of air transport from its water area in the Eastern direction. The increase of water temperature may be one of the reasons for the redistribution of commercial concentrations of herring and sprat in the Baltic Sea, thereby the change in their annual catch in certain ICES sub-divisions of the Central part of the Baltic Sea and the Gulf of Finland was observed.

Keywords: Baltic Sea, water temperature, climate phases, current warming, distribution of herring fish species, fishing.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-180-44-59

REFERENCES

- Aleksandrov E.I., Bryazgin N.N., Dement'ev A.A.* 2003. Tendenciya v izmeneniyah temperatury vozduha i atmosferynyh osadkov Severnoj polyarnoj oblasti vo vtoroj polovine XX veka [Trend in changes of the air temperature and precipitation in the Northern polar region in the second half of the twentieth century] // Trudy AANII. T. 446. S. 31–40.
- Amosova V.M., Vasil'eva T.G., Zezera A.S.* 2018. O perspektivah razvitiya otechestvennogo promysla shprotu v Baltijskom more do 2025 g. [On the prospects for the development of domestic sprat fishing in the Baltic sea until 2025] // Trudy VNIRO. T. 171 S. 39–55.
- Antonov A.E.* 1987. Krupnomasshtabnaya izmenchivost' gidrometeorologicheskogo rezhima Baltijskogo morya i ee vliyanie na promysel [Large-scale variability of the hydrometeorological regime of the Baltic Sea and its impact on fishing]. L.: Gidrometeoizdat. 248 s.
- Antonov A.E.* 2007. Prirodnaya cikloenergetika. Gidrometeorologicheskoe i rybopromyslovoe prognozirovanie [Natural cycloaliphatic. Hydro-meteorological and fisheries forecasting]. SPb.: Gidrometeoizdat. 216 s.
- Boitsov V.D., Pedchenko A.P.* 2018. Dolgoperiodnaya izmenchivost temperaturi vozduha Baltiiskogo morya v 1900–2016 [Long-period variability of the Baltic Sea air temperature in 1900–2016] // Mat. XIX Mezhd. ekologicheskogo Forumu «Den Baltiiskogo morya» (22–23 marta 2018 g. Sankt-Peterburg). SPb.: Svoe Izdatelstvo. S. 219–225.

- Borkin I.V., Pozhinskaya I.A. 2017. Promysel i biologiya shprot (kil'ki) *Sprattus sprattus balticus* v vostochnoj chasti Finskogo zaliva [Fishing and biology of sprat (*sprat*) *Sprattus balticus* in the Eastern part of the Gulf of Finland] // Trudy V Baltijskogo morskogo foruma. Vseros. Nauch. Konf. «Vodnye bioresursy, akvakul'tura i ekologiya vodoemov», Kaliningrad: KGTU. S. 11–15.
- Borkin I.V., Shuruhin A.S., Bogdanov D.V., 2019. Promysel i sovremennoe sostoyanie zapasa baltijskoj sel'di *Clupea harengus membras* (Linnaeus, 1758) v rossijskih vodah Finskogo zaliva [Fishing and current state of the Baltic herring stock *Clupea harengus membras* (Linnaeus, 1758) in the Russian waters of the Gulf of Finland] // Rybnoe hozyajstvo. № 1. S. 52–55.
- Vangengejm G. Ya. 1952. Osnovy makrocirkulyacionnogo metoda dolgosrochnyx meteorologicheskix prognozov dlya Arktiki [Fundamentals of the macrocirculatory method of long-term meteorological forecasts for the Arctic] // Trudy AANII. T. 34. 314 s.
- Den' Baltijskogo morya. Kolleksiya sbornikov tezisov foruma. [Baltic Sea Day" Forum Thesis Collection] Accessible via: http://www.helcom.ru/baltic_sea_day/bsd_thesis_collection. 10.10.2019.
- Drozdov V.V., Smirnov N.P. 2008. Kolebaniya klimata i donnye ryby Baltijskogo moray [Climate fluctuations and bottom fish of the Baltic Sea]. SPb.: RGGMU. 249 s.
- Dubravina V.F., Pedchenko A.P. 2010. Dolgoperiodnaya izmenchivost' termohalinnoj struktury vod Baltijskogo morya i ee vliyanie na dinamiku zapasov i promysel pelagicheskix ryb [Long-term variability of the thermohaline structure of the Baltic Sea waters and its influence on the dynamics of pelagic fish stocks and fisheries] // Voprosy promyslovoj okeanologii. Vyp. 2. № 7. S. 57–79.
- Elizarov A.A. 2004. Edinstvo Mirovogo okeana. Mezhdogovye i mnogoletnie izmeneniya abioticheskix i bioticheskix uslovij i vozmozhnosti ih prognozirovaniya // Voprosy promyslovoj okeanologii [Unity of the World Ocean. Interannual and long-term changes in abiotic and biotic conditions and their prediction possibilities]. Vyp. 1. S. 110–125.
- Elizarov A.A. 2005. Problemy promyslovaya okeanologiya i puti ih resheniya (ot G.K. Izhevskogo do nashih dnei) [Problems of Fisheries Oceanology and ways to solve them (from G.K. Izhevsk to the present day)] // Voprosy promyslovoj okeanologii. Vyp. 2. S. 11–37.
- Kamenkovich V.M., Koshlyakov M.N., Monin A.S. 1982. Sinopticheskie vihri v okeane [Synoptic vortices in the Ocean]. L.: Gidrometeoizdat. 263 s.
- Klyashtorin L.B., Lyubushin A.A. 2005. Ciklicheskie izmeneniya klimata i ryboproduktivnosti [Cyclical changes in climate and fish production]. M.: Izd-vo VNIRO. 235 s.
- Nesterov E.S. 2013. Severoatlanticheskoe kolebanie: atmosfera i ocean [The North Atlantic oscillation: the atmosphere and the Ocean]. — M.: Triada, Ltd. 144 s.
- Pedchenko A.P., Boitsov V.D. 2018. Dolgoperiodnye kolebaniya temperatury vody Baltijskogo morya v 1900–2017 gg. [Long-term fluctuations in the Baltic Sea water temperature in 1900–2017] // Trudy II Vseros. konf. «Gidrometeorologiya i ekologiya: dostizheniya i perspektivy razvitiya» imeni L.N. Karlina (19–20 dekabrya 2018 g.). Sankt-Peterburg. S. 516–519.
- Promyslovaya okeanografija 1986. /Pod red. D.E. Gershanovicha [Fisheries Oceanography] M.: Agropromizdat. 336 s.
- Shuntov V.P. 2001. Biologiya dal'nevostochnyx morej Rossii. [Biology of the far Eastern seas of Russia] T. 1. Vladivostok: TINRO-centr. 580 s.
- Shuruhin A.S., Lukin A.A., Pedchenko A.P., Titov S.F. 2016. Sovremennoe sostoyanie rybnogo promysla i effektivnost' ispol'zovaniya syr'evoy bazy v Finskom zalive Baltijskogo moray [Current state of fisheries and efficiency of using raw materials in the Gulf of Finland of the Baltic Sea] // Trudy VNIRO. T. 160. S. 60–69.
- BACC Author Team, 2008. Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Springer. 473 pp.
- Brohan, P., Kennedy, J.J., Harris, I., Tett, S.F.B. Jones, P.D. 2006. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850 // J. Geophysical Research, 111: D12106, doi:10.1029/2005JD006548.
- Hänninen J., Vuorinen I., Hjelt P. 2000. Climatic factors in the Atlantic control the oceanographic and ecological changes in the Baltic Sea // Limnology and Oceanography 45 (3): 703–710.
- HELCOM. 2013. Climate change in the Baltic Sea Area: HELCOM thematic assessment in 2013. Balt. Sea Environ. Proc. No. 137. 352 p.
- Horbowy J., Luzencyk A. 2016. Effects of multispecies and density dependent factors on MSY reference points: Example of the Baltic Sea sprat // CIFAS — 2016–0220.R3: 1–27.
- ICES. 2012. Report of the ICES Advisory Committee 2012. ICES Advice, 2012. Book 8, 169 pp.
- ICES. 2013. Report of the Benchmark Workshop on Baltic Multispecies Assessments (WKBALT), 4–8 February 2013, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2013/ACOM:43. 399 pp.
- ICES. 2017. Report of the ICES Advisory Committee 2017. ICES Advice, 2017. Book 8, 177 pp.
- ICES. 2018. Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS), 6–13 April 2018, ICES HQ, Copenhagen, Denmark. 748 pp.
- Ivanov V.V., Vinogradov N.D. 1996. Meteorological forecasts // INSROP Working Paper No. 36–1996. 1.6.1: Operational Tools. Norway. P. 7–20.
- Knudsen M.F., Seidenkrantz M.S., Jacobsen B.H., Kuijpers A. 2011, Tracking the Atlantic Multidecadal

- Oscillation through the last 8,000 years // *Nat. Commun.* 2:178 doi: 10.1038/ncomms1186.
- Launiainen J., Vihma T.* 1990. Meteorological, ice and water exchange conditions. Second periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1984–1988 // *Baltic Sea Environment Proceedings* 35 B: 22–33.
- Matthäus W., Schinke H.* 1994. Mean atmospheric circulation patterns associated with major Baltic inflows // *Deutsche Hydrographische Zeitschrift* 46: 321–339.
- NOAA NCDCE ERSST version4 selection. Accessible via: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/NOAA/NCDC/ERSST/version4/>. 12.10.2019.
- NOAA National Weather Service. Climate Prediction Center. Accessible via: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>. 26.11.2019.
- Reports of WGBFAS ICES1995–2018.* Accessible via: <http://www.ices.dk/publications/library/Pages/default.aspx>. 12.10.2019.
- Schlesinger M.E., Ramankutty N.* 1994. An oscillation in the global climate system of period 65–70 years // *Nature* 367(6465):723–726.
- The Gulf of Finland assessment.* 2016. / Editors: Raateoja M., Setälä O. Finnish Environment Institute (SYKE), 2 / 27. 368 p.
- Users Guide.* 2003. SeaSolve Software Inc. AutoSignal. Pioneering automated signal analysis and advanced filtering. Framingham. 479 p.

TABLE CAPTIONS

Table. Average surface water temperature anomalies in the Central part of the Baltic Sea and the Gulf of Finland in 1949–2018, calculated from the norm of 1961–1990.

FIGURE CAPTIONS

- Fig. 1.** Position of the trapezoid centers (asterisk) of the regular grid $2^\circ \times 2^\circ$ in the Baltic Sea.
- Fig. 2.** Anomalies of the average May–October surface water temperature in the Central part of the Baltic Sea (a), in the Gulf of Finland (b) in 1949–2018 and its linear trends (dotted line).
- Fig. 3.** The difference between the initial values of surface water temperature and the linear trend in the Central part of the Baltic Sea (a), in the Gulf of Finland (b) in 1949–2018 and its nonlinear component (dotted line).
- Fig. 4.** Spectrum of fluctuations in the surface water temperature in the Baltic Sea in 1900–2017 [Pedchenko, Boitsov, 2018]. The period (years) is specified above the significant peaks of the spectral density
- Fig. 5.** The dynamics of the successively summed anomalies of the average surface water temperature for May–October in the Central part of the Baltic sea (1) and in the Gulf of Finland (2) in 1949–2018. Notation: arrow on the graph — the beginning of the period of modern climate warming
- Fig. 6.** Variability of average surface water temperature for May–October in the Central part of the Baltic sea (a), in the Gulf of Finland (b) in 1988–2018 and its linear trends (dotted line). Notation: the linear trend equations are shown at the bottom of the graphs, R^2 -indicator of the trend share (multiplied by 100%) in the variability of the source data.
- Fig. 7.** Anomalies of the North Atlantic Oscillation index (NAO) in 1949–2018. Symbols: dotted line shows a linear trend, vertical arrow — the beginning of the dominance of positive values of the NAO index.
- Fig. 8.** Herring and sprat catches in the Baltic Sea (solid line) and their long-period components (dotted line) in 1977–2017 [Pedchenko, Boitsov, 2018].
- Fig. 9.** Interannual fluctuations of the surface water temperature in the Baltic Sea (a), total herring catch (b) in 1977–2017 (1), their average values in 1977–1988 (2) and linear trends in 1989–2013 (3) [Pedchenko, Boitsov, 2018].
- Fig. 10.** Distribution of herring (left) and sprat (right) in 25–29 and 32 SD ICES, with the exception SD28.1 (the Gulf of Riga), according to acoustic surveys in 2005, 2012 and 2017 [ICES, 2012; ICES, 2013; ICES, 2017].
- Fig. 11.** Dynamics of catch of herring (left) and sprat (right) on 25–29 and 32 SD ICES of the Baltic Sea in 1993–2017.
- Fig. 12.** Herring (left) and sprat (right) catches in the Gulf of Finland in 1993–2017. Note: Sweden, Denmark and Germany also fished, but their contribution to the total catch was insignificant and is not represented here [Reports of WGBFAS ICES1995–2019] [The catch of Russia is presented by the materials [Shurukhin, 2016; Borkin, Pozhinskaya, 2017; Borkin et al., 2019; The Gulf of ..., 2016;].