

ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ОХРАНА ЛАНДШАФТОВ

Научная статья

УДК 551.582:574.5

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-6-29

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА КОМПОНЕНТЫ ЭКОСИСТЕМ ВНУТРЕННИХ МОРЕЙ ЕВРОПЫ И ИХ ПОБЕРЕЖЬЯ

Дроздов В. В.

Российский государственный гидрометеорологический университет,
192007, г. Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79, Российская Федерация;
E-mail: vladidrozдов@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-2412-7682

Поступила в редакцию 28.11.2023

После доработки 12.01.2024

Принята к публикации 22.01.2024

Аннотация

Цель. Установление степени и характера влияния климатических изменений на абиотические и биотические компоненты экосистем внутренних морей Европы и их побережий для совершенствования мероприятий по рациональному природопользованию.

Процедура и методы. Использовались корреляционный, кластерный, спектральный и регрессионный методы анализа многолетних климатических, океанологических и промыслового-гидробиологических данных.

Результаты. Обосновано, что рост интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой приводит к потеплению над акваториями Балтийского и Белого морей, росту объема стока рек в бассейнах данных морей. Одновременно с этим над акваториями Чёрного и Азовского морей возможны похолодание и уменьшение объемов речного стока в их бассейнах. В соответствии с этим наблюдается изменение значений экологических факторов, оказывающих влияние на биологическую продуктивность морских организмов, в частности, на промысловых рыб и на их ареалы: солёности и температуры воды, интенсивности водообмена со смежными морскими акваториями и концентрации растворённого кислорода на различных глубинах. Оценена роль антропогенного влияния на показатели урожайности популяций донных и пелагических промысловых рыб на основе анализа величин промысловой смертности.

Теоретическая и/или практическая значимость. Установлены и обоснованы сложные причинно-следственные связи между динамикой климатических, океанологических, гидрологических и биотических компонентов морских экосистем.

Ключевые слова: колебания климата, океанологические условия и речной сток, экосистемы Балтийского, Белого, Чёрного и Азовского морей и их побережья

© СС ВУ Дроздов В. В., 2024.

Благодарности. Исследование выполнено при частичной поддержке гранта Российского научного Фонда № 22-27-20145, а также Санкт-Петербургского научного фонда, софинансировавшего данный проект. Исследования за счёт данного гранта были выполнены в 2022–2023 гг. и касались изучения изменчивости климата и его экологических последствий в регионе восточной части Балтийского моря, включая акватории и прибрежные территории Ленинградской области.

Original Research Article

REGIONAL FEATURES OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON COMPONENTS OF ECOSYSTEMS OF THE INLAND SEAS OF EUROPE AND THEIR COASTS

V. Drozdov

*Russian State Hydrometeorological University,
ul. Voronezhskaya 79, St. Petersburg 192007, Russian Federation;
E-mail: vladidrozdov@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-2412-7682*

Received 28.11.2023

Revised 12.01.2024

Accepted 22.01.2024

Abstract

Aim. Establishing the degree and nature of the impact of climate change on the abiotic and biotic components of the ecosystems of the inland seas of Europe and their coasts to improve measures for rational environmental management.

Procedure and methods. Correlation, cluster, spectral and regression methods were used to analyze long-term climatic, oceanological and commercial hydrobiological data.

Results. It has been substantiated that an increase in the intensity of atmospheric circulation over the North Atlantic leads to warming over the waters of the Baltic and White Seas and an increase in the volume of river runoff in the basins of these seas. At the same time, cooling and a decrease in river flow volumes in their basins can be expected over the waters of the Black and Azov Seas. In accordance with this, there is a change in the values of environmental factors that influence the biological productivity of marine organisms, in particular, commercial fish and their habitats: salinity and water temperature, the intensity of water exchange with adjacent sea areas and the concentration of dissolved oxygen at different depths. The role of anthropogenic influence on the productivity of demersal and pelagic commercial fish populations was assessed based on an analysis of fishing mortality values.

Research implications. of the study lies in the establishment and substantiation of complex cause-and-effect relationships between the dynamics of climatic, oceanological, hydrological and biotic components of marine ecosystems.

Keywords: climate fluctuations, oceanological conditions and river flow, ecosystems of the Baltic, White, Black and Azov seas and their coasts

Acknowledgments. The research was carried out with partial support from a grant from the Russian Science Foundation no. 22-27-20145, as well as the St. Petersburg Science Foundation, which co-financed the project. Research supported by this grant was carried out in 2022–2023 and concerned the study of climate variability and its environmental consequences in the region of the eastern Baltic Sea, including the waters and coastal areas of the Leningrad region.

Введение

Одним из приоритетов Всемирной климатической программы является реализация проекта CLIVAR (*Climate Variability and Predictability*) с целью анализа причин изменчивости климата и оценки различных возникающих последствий, в т. ч. экологических¹. Климатические изменения могут оказывать влияние на функционирование морских экосистем, в т. ч. на биологическое разнообразие и биологическую продуктивность. Для экосистем внутренних морей Европы свойственны достаточно сложные исторические пути формирования состава фауны и флоры, которые в настоящее время представлены различными зоогеографическими комплексами [4; 8; 10; 12; 14; 18].

Характеризуясь, в целом, значительной биологической продуктивностью и рыбными запасами, внутренние моря по причине замедленного водообмена с океаном являются уязвимыми к влиянию меняющегося климата и деятельности человека. Высокая численность промысловых рыб достаточно часто сменяется упадком их численности, вплоть до сокращения доступных запасов в несколько раз и введения запрета на промысел [8; 11; 19]. Необходимо повысить эффективность управления морской хозяйственной деятельностью, связанной с промышленным рыболовством во внутренних морях на фоне климатических колебаний, для предотвращения истощения морских биологических ресурсов.

Данная статья частично основана на обобщении полученных автором

результатов применительно к исследованию динамики экосистем внутренних морей Европы, в т. ч. Балтийского моря, в связи с изменениями климата [7; 8; 9; 10].

Для достижения цели исследования проанализированы многочисленные опубликованные материалы по исследуемой проблеме, а также сведения и данные, представленные на сайтах профильных российских и иностранных организаций в сети Интернет: Единой системы информации о Мировом океане (ЕСИМО)²; Федерального агентства по рыболовству Российской Федерации³; Всемирной продовольственной организации (FAO)⁴; Международного совета по исследованию моря (ICES)⁵; Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA)⁶; Постоянной службы определения среднего уровня моря (PSMSL)⁷; Уни-

² Единая система информации о Мировом океане. Проект ЕСИМО: [сайт]. URL: <http://www.esimo.ru> (дата обращения: 10.09.2023).

³ Федеральное агентство по рыболовству Российской Федерации: [сайт]. URL: <https://fish.gov.ru/> (дата обращения: 10.08.2023).

⁴ FAO. Состояние морского рыболовства и аквакультуры 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/3/ca9229ru/online/ca9229ru.html> (дата обращения: 18.09.2023).

⁵ ICES. Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS)/ [Электронный ресурс]. URL: https://ices-library.figshare.com/articles/report/Baltic_Fisheries_Assessment_Working_Group_WGBFAS_/19793014 (дата обращения: 15.08.2023).

⁶ National Aeronautics and Space Administration Goddard Institute for Space Studies. GISS Surface Temperature Analysis [Электронный ресурс]. URL: https://data.giss.nasa.gov/gistemp/station_data_v4_globe/ (дата обращения: 30.08.2023).

⁷ Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.psmsl.org>. (дата обращения: 12.11.2022).

¹ Program CLIVAR (Climate and Ocean: Variability, Predictability and Change) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.clivar.org> (дата обращения: 10.09.2023).

верситета восточной Англии¹. Для решения аналитических расчётных задач применительно к массивам многолетних данных использован пакет вычислительных программ Statistica 10.0.

Научно-теоретическую основу исследований составили труды сотрудников российских организаций: Московского государственного университета [2], Зоологического института РАН [4], Мурманского морского биологического института РАН и Южного научного центра РАН [3; 14; 18], Института морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН [3], Атлантического филиала Всероссийского института рыбного хозяйства и океанографии [11; 12], Санкт-Петербургского государственного университета [13], Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации [15], Российского государственного гидрометеорологического университета [16] и др.

Циркуляция атмосферы над Северной Атлантикой и Европой

Климат и погода Северной Атлантики и прилегающих к ней районов Европы во многом зависят от интенсивности и направленности атмосферной циркуляции, которая представлена системами низкого и высокого давления. Центр циклонической системы пониженного давления расположен к юго-западу от о. Исландия и носит название Исландского минимума давления (ИМД). К югу, в районе Азорских островов, находится центр антициклонической системы повышенного давления, именуемый Азорским мак-

симумом давления (АзМД). Благодаря взаимодействию между этими системами в умеренных широтах над Северной Атлантикой постоянно осуществляется перенос воздушных масс, тепла и влаги с запада на восток. При этом интенсивность данного переноса демонстрирует значительные колебания во времени в силу того, что положение в пространстве и степень выраженности ИМД и АзМД варьируются [17]. За показатель интенсивности западного переноса воздушных масс принимают разность атмосферного давления на станциях, расположенных вблизи центров действия атмосферы – ИМД и АзМД. Эту разность давления, определяемую обычно в среднем за зимние месяцы, называют Североатлантическим колебанием (North Atlantic Oscillation – NAO) [8; 15; 16].

Используются различные варианты индекса NAO. Наиболее часто в исследованиях применяется разность давления между Азорскими островами (Понта-Делгада) и Исландией (Акурейри), осреднённая за 3 зимних месяца (декабрь–февраль) – индекс NAO 1. Представляют его непосредственно в единицах давления (гПа) или в виде отклонения от среднего в долях дисперсии. В климатических исследованиях применяют также разности атмосферного давления между пунктами Лиссабон (Португалия) и Стиккисхоульмюр (Исландия), осреднённые за 4 зимних месяца (декабрь–март) – NAO 2. Для характеристики Североатлантического колебания может быть также использована разность давлений непосредственно между центрами действия атмосферы – NAO 3, а также разности давления на меридиане, между точками с координатами 45° с.ш., 30° з.д. и 60° с.ш.,

¹ University of East Anglia [Электронный ресурс]. URL: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/nao/> (дата обращения: 03.04.2023).

30° з.д., осреднённые за 3 зимних месяца (декабрь–февраль) – НАО 4 [16].

Главной особенностью многолетней динамики интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, выражаемой в виде индексов НАО, является её ослабление в 1960-е гг. и рост в конце 1980-х – начале 1990-х гг. В 1960-е гг. существенно снизился западный перенос в умеренных широтах. Во второй половине 1980-х гг. наблюдалось возрастание интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, которое ранее, за последнее столетие, аналогично не проявлялось. Выше средней многолетней нормы значения данных индексов атмосферной циркуляции были также в 1995, в 1999–2000 гг., а также в 2003 г. Выполненный спектральный анализ изменчивости индекса НАО 1 показал, что наиболее значимыми периодами колебаний являются (в порядке снижения значимости) – 22, 10, 7,7, 36 и 4,5 года.

Формы типизации атмосферной циркуляции Вангенгейма-Гирса [5] (Вангенгейм, 1952) и Б. Л. Дзердзеевского [6] также демонстрируют эффективность во многих климатических исследованиях. Типизация крупномасштабных атмосферных процессов предложена Г. Я. Вангенгеймом для северной части Восточного полушария и в последующем была усовершенствована им совместно с А. А. Гирсом для Западного полушария. Данная типизация основана на понятии элементарного синоптического процесса, в течение которого в данном районе сохраняются основные направления воздушных течений и знак барического поля. Атмосферные процессы для Восточного полушария были подраз-

делены на 3 формы атмосферной циркуляции: западная (W), восточная (E) и меридиональная (C).

Типизация атмосферных процессов Б. Л. Дзердзеевского была разработана в отделе климатологии Института географии РАН. В отличие от других рассмотренных выше типизаций форм циркуляционных атмосферных процессов в данном случае комплексно учитываются крупномасштабные процессы в пределах всего Северного полушария. Это позволяет оценить ход развития крупномасштабных климатообразующих процессов обобщённо, в т. ч. динамику и взаимодействие между собой различных центров действия атмосферы. Следует заметить, что применительно к объектам настоящего исследования, которыми являются экосистемы Белого, Балтийского, Чёрного и Азовского морей, использование типизации Б. Л. Дзердзеевского представляется весьма целесообразным, т. к. формирование и изменчивость климата над их бассейнами является результатом совместного воздействия арктических, умеренных и южных воздушных масс.

Многолетние изменения температуры воздуха, воды и объёмов речного стока в связи с изменениями крупномасштабной атмосферной циркуляции

Выполнен анализ многолетней изменчивости температуры воздуха в 32 пунктах наблюдений на побережьях Чёрного, Азовского, Белого и Балтийского морей, а также температуры воды в поверхностном, промежуточном и глубинном слоях в ряде районов расположения крупнейших популяций промысловых рыб. На рисунке 1 пред-

ставлена многолетняя изменчивость температуры воздуха на станциях на побережьях Белого и Балтийского морей в сравнении с динамикой индекса атмосферной циркуляции NAO 1 по данным University of East Anglia... На рисунке 2 представлена многолетняя динамика температуры воздуха по данным National Aeronautics and Space... на станциях на побережьях Азовского и Чёрного морей в сравнении с динамикой индекса атмосферной циркуляции NAO 1.

Для большинства используемых станций наблюдений на побережье Чёрного и Азовского морей установлена статистически достоверная корреляционная связь между динамикой значений индекса интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой NAO 1 и значениями температуры воздуха за зиму, а также в среднем за год, однако данная связь существенно менее тесная, чем для побережий Балтийского и Белого морей. Для района Сочи было характерно похолодание в середине 1980-х гг., здесь, а также на станциях наблюдений в Турции на Черноморском побережье корреляционная связь меняет свой характер с прямой на обратную. Как видно из рисунка 1, с начала 1990-х гг. на станциях побережий Белого и Балтийского морей возникла тенденция к потеплению, что подтверждается значимыми полиномиальными трендами.

Установлена статистически достоверная корреляционная связь между изменчивостью индекса интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантики NAO 1 и значениями температуры воздуха за зиму ($r =$ от 0,53 до 0,58 при $P = 99\%$) и в среднем за год ($r =$ от 0,51 до 0,55 при $P = 99\%$).

Как видно из рисунка 2, динамика средней годовой температуры воздуха на побережьях Азовского и Чёрного морей также демонстрирует значимые положительные тренды за рассматриваемый период времени. Однако здесь потепление началось несколько раньше – с конца 1980-х гг.

Таким образом, по-видимому, на фоне активизации циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой основной поток тепла и атмосферной влаги с океана направляется на северо-восток Европы, тогда как юго-восточные области начинают испытывать соответствующий дефицит.

Выполнен кластерный анализ данных с 1950 по 2022 гг. для уточнения специфики региональной динамики температуры воздуха, результаты которого представлены на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3а), применительно к побережьям Балтийского моря выделяется 3 основных региональных кластера. Первый, наиболее выраженный, кластер соответствует районам Хапаранда и Соданкюля около северного побережья Ботнического залива. Второй кластер свойственен району Копенгагена. Третий кластер объединяет районы Стокгольма, Калининграда и Риги. Результаты кластерного анализа, представленные на рисунке 3б), позволяют говорить о наличии 3 основных кластеров в серии анализируемых данных для побережий Чёрного моря. Первый, наиболее выраженный, кластер соответствует району Одессы. Второй кластер соответствует районам Констанцы и Феодосии. Третий, менее выраженный, кластер включает станции турецкого черноморского побережья и Сочи.

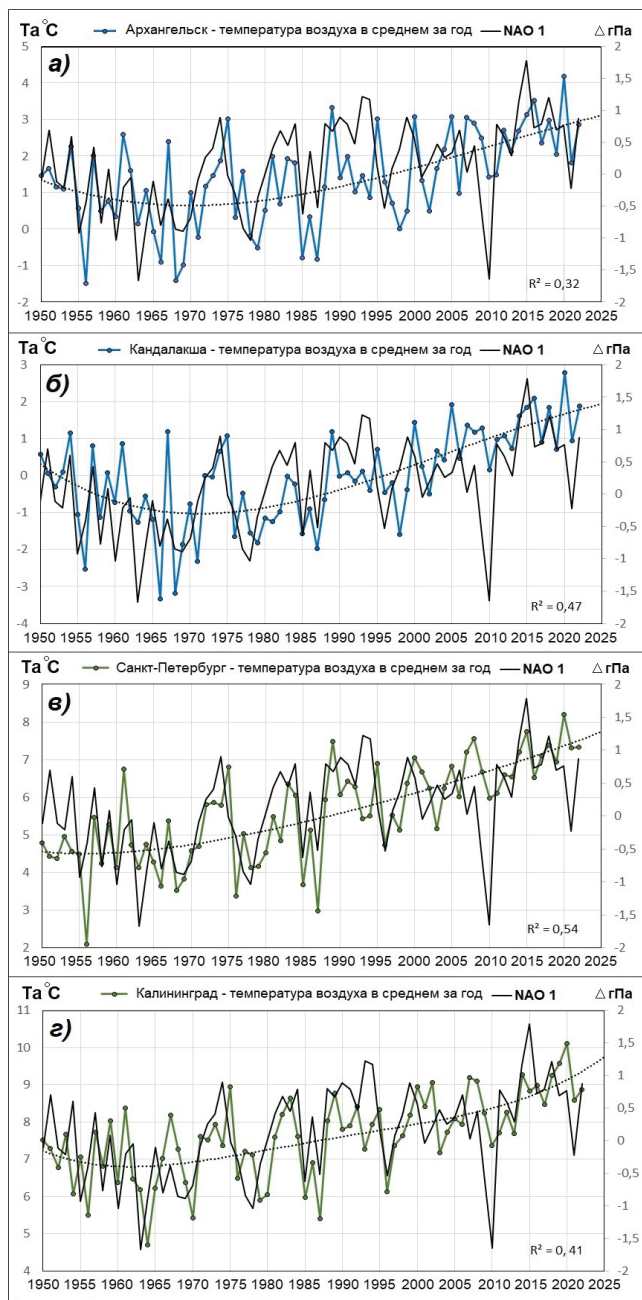


Рис. 1 / Fig. 1. Многолетняя динамика температуры воздуха на станциях на побережьях Белого и Балтийского морей в сравнении с динамикой индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO 1. Пунктирной линией показан полиномиальный тренд по 4-летиям / Long-term dynamics of air temperature at stations on the coasts of the White and Baltic Seas in comparison with the dynamics of the atmospheric circulation index over the North Atlantic NAO 1. The dotted line shows a polynomial trend over 4 years

Источник: составлено автором

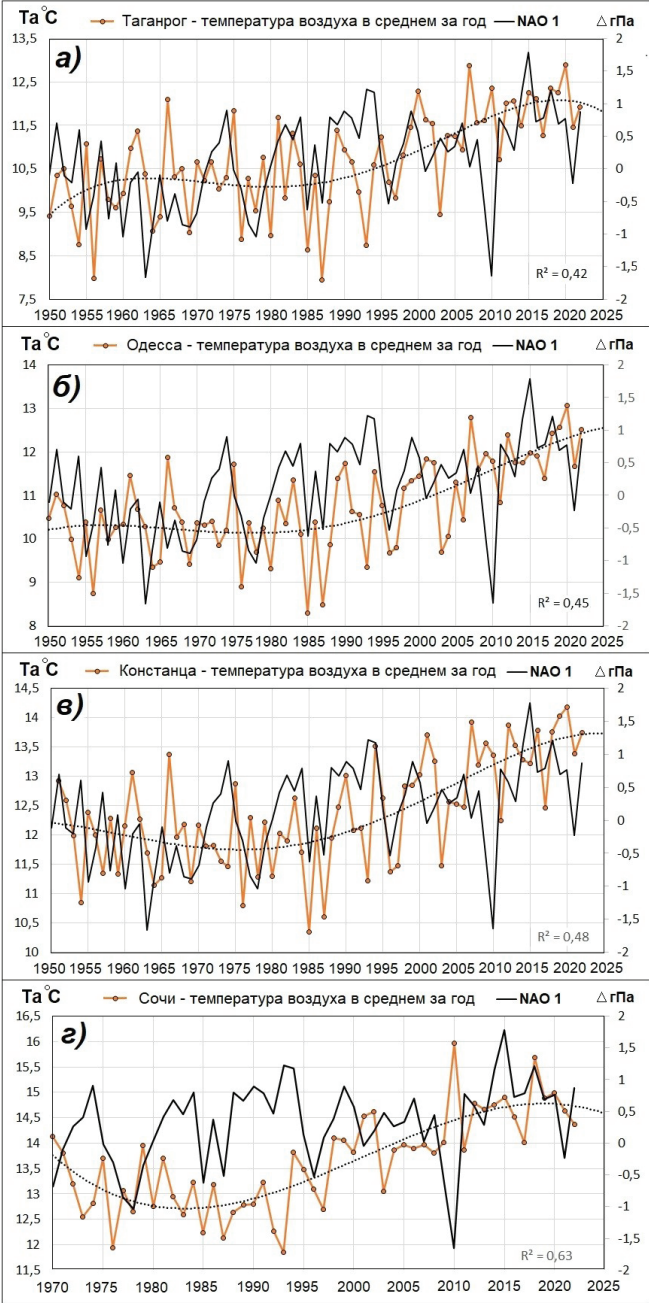


Рис. 2 / Fig. 2. Многолетняя динамика температуры воздуха на станциях на побережьях Азовского и Чёрного морей в сравнении с динамикой индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO 1. Пунктирной линией показан полиномиальный тренд по четырёлетиям / Long-term dynamics of air temperature at stations on the coasts of the Azov and Black Seas in comparison with the dynamics of the atmospheric circulation index over the North Atlantic NAO 1. The dotted line shows a polynomial trend over 4 years

Источник: составлено автором

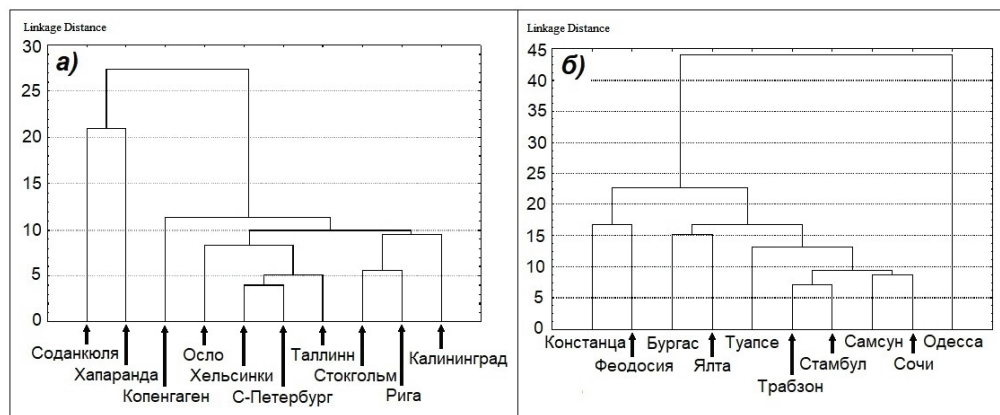


Рис. 3 / Fig. 3. Результаты кластерного анализа многолетних данных о средней годовой температуре воздуха на побережьях Балтийского (а) и Чёрного моря (б) / Results of cluster analysis of long-term data on average annual air temperature on the coasts of the Baltic (a) and Black Sea (b)

Источник: составлено автором

На побережьях Белого моря наиболее чётко выраженный кластер применительно к изменчивости температуры воздуха соответствует Соловецкому архипелагу в центральной части моря. Второй по значимости кластер включает о. Мудьюг и ст. Разноволок в восточных районах. Третий кластер объединяет станции наблюдений, расположенные в Горле на севере Белого моря – Сосновец и Моржовец [8].

Установлен статистически достоверный положительный характер связи между значениями индекса интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой и температурой воды на поверхности Белого и Балтийского морей ($r =$ от 0,42 до 0,52 при P от 95 до 99%). Однако соответствующая связь применительно к температуре воды в большинстве районов в Чёрном море имеет обратный характер, что может свидетельствовать о возникновении относительного похолодания на фоне роста значений Северо-атлантического колебания.

Основываясь на результатах выполненных экспериментальных исследований, направленных на определение групп циркуляции атмосферы в типизации Б. Л. Дзердзеевского, наиболее эффективно отражающих тенденции динамики температурного режима Беломорского региона, установлено, что потепление может наблюдаться при росте повторяемости типов ЭЦМ, входящих в группу меридиональных южных (типы ЭЦМ 13 и обобщённые меридиональные южные), а похолодание – при росте повторяемости суммарных зональных ЭЦМ.

На рисунке 4 представлено сравнение динамики средних годовых значений стока р. Дон в нижнем течении (створ Раздорская) и стока р. Северная Двина в нижнем течении (створ Усть-Пинега) со значениями индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO 1. Установлен прямой характер корреляционной связи значений индекса NAO 1 с динамикой стока

Северной Двины и обратный характер связи со стоком р. Дон.

Рост интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, выражаемой в виде индексов NAO, сопровождается снижением температуры воды и воздуха в бассейне Азовского моря, уменьшением коли-

чества атмосферных осадков и объёма стока крупнейших рек.

На фоне развития атмосферной циклонической циркуляции над Северной Атлантикой наблюдается снижение расходов р. Дунай. По-видимому, это может объясняться тем, что при росте градиентов атмосферного дав-

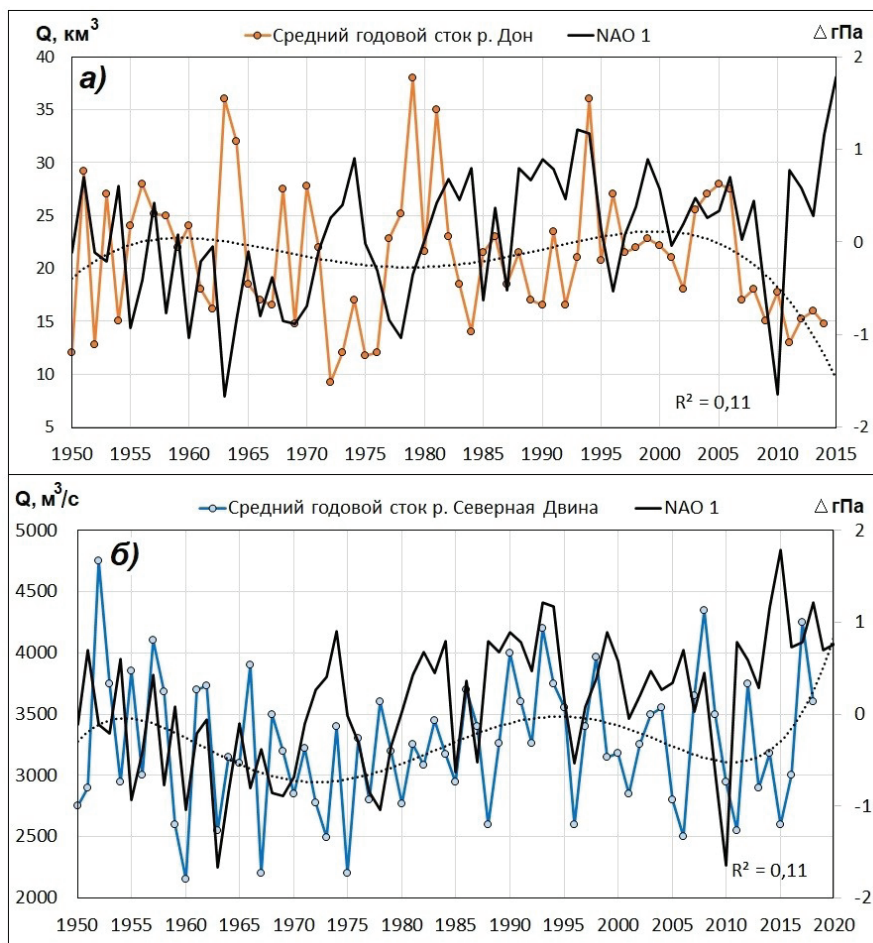


Рис. 4 / Fig. 4. Сравнение динамики средних годовых значений стока рек Дон (а) в нижнем течении (створ Раздорская) и стока р. Северная Двина (б) в нижнем течении (створ Усть-Пинега) со значениями индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO 1 / Comparison of the dynamics of the average annual runoff values of the Don (a) rivers in the lower reaches (Razdorskaya section) and the runoff of the river. Northern Dvina (b) in its lower reaches (Ust-Pinega section) with values of the atmospheric circulation index over the North Atlantic NAO 1

Источник: составлено автором

ления между Исландским минимумом и Азорским максимумом происходит смещение на северо-восток траекторий основных циклонических вихрей, несущих влажный воздух с океана в сторону Европы. Сток второй по водности реки Черноморского бассейна – Днестра – также демонстрирует значимую связь отрицательного характера с НАО. Характер связи стока р. Днестр с крупномасштабными показателями атмосферной циркуляции в основном аналогичен стоку Дуная, т. к. бассейны этих двух рек соседствуют.

В целом, можно говорить о существовании разнонаправленных региональных тенденций изменений климата и вызываемых ими последствиях применительно к Беломорско-Балтийскому и Азово-Черноморскому регионам.

Многолетняя динамика показателей биологической продуктивности ихтиофауны внутренних морей в связи с изменениями климата и океанологических условий

В данном исследовании в качестве показателей многолетней динамики урожайности рыб используются данные о выживаемости икры на нерестилищах, о численности поколений молодых особей рыб в возрасте 1–2 лет, биомассы нерестового стада, а также данные по величинам уловов.

В Балтийском море солёность по причине своей весьма значительной региональной и временной изменчивости относится к числу основных экологических факторов, влияющих на жизнедеятельность и пространственное распределение организмов и их сообществ, в частности, рыб [1; 8;

11; 12]. К их числу принадлежат важные промысловые пелагические виды, такие, как балтийская сельдь (*Clupea harengus membras* L.), шпрот (*Sprattus sprattus balticus* L.), а также массовый хищный донный вид – балтийская треска (*Gadus morhua callaris* L.). Существенную долю в общих уловах составляют камбаловые: речная камбала (*Pleuronectes flesus* L.), морская камбала (*Platessa platessa* L.), лиманда (*Limanda limanda* L.) и крупная камбала-тюрьбо (*Rhombus maximus* L.) [1; 8; 9; 12]. Кроме того, весьма важным экологическим фактором, прежде всего, для распределения и воспроизводства донных рыб является содержание растворённого кислорода в придонных слоях глубоководных впадин – Борнхольмской, Гданьской и Готландской, которые являются основными нерестилищами для популяций трески и камбалообразных в центральной и южной частях моря [8; 11; 13].

На рисунке 5 представлены многолетние данные о численности молоди в возрасте 2 лет восточно-балтийской популяции трески, располагающейся в подрайонах ICES № 25–29 в центральной части моря. Возрастание солёности, концентрации кислорода и температуры воды в Готландской впадине сопровождаются закономерным увеличением численности молодого поколения восточно-балтийской трески в возрасте 2 лет. Наибольшая теснота связи динамики численности рекрутов установлена с солёностью в придонном горизонте ($r = 0,72$ при $P = 99\%$). Иллюстрация данной связи представлена на рисунке 5a).

Возникновение весьма урожайных поколений восточно-балтийской трески в 1972 и 1973 гг., в 1976 и 1977 гг.,

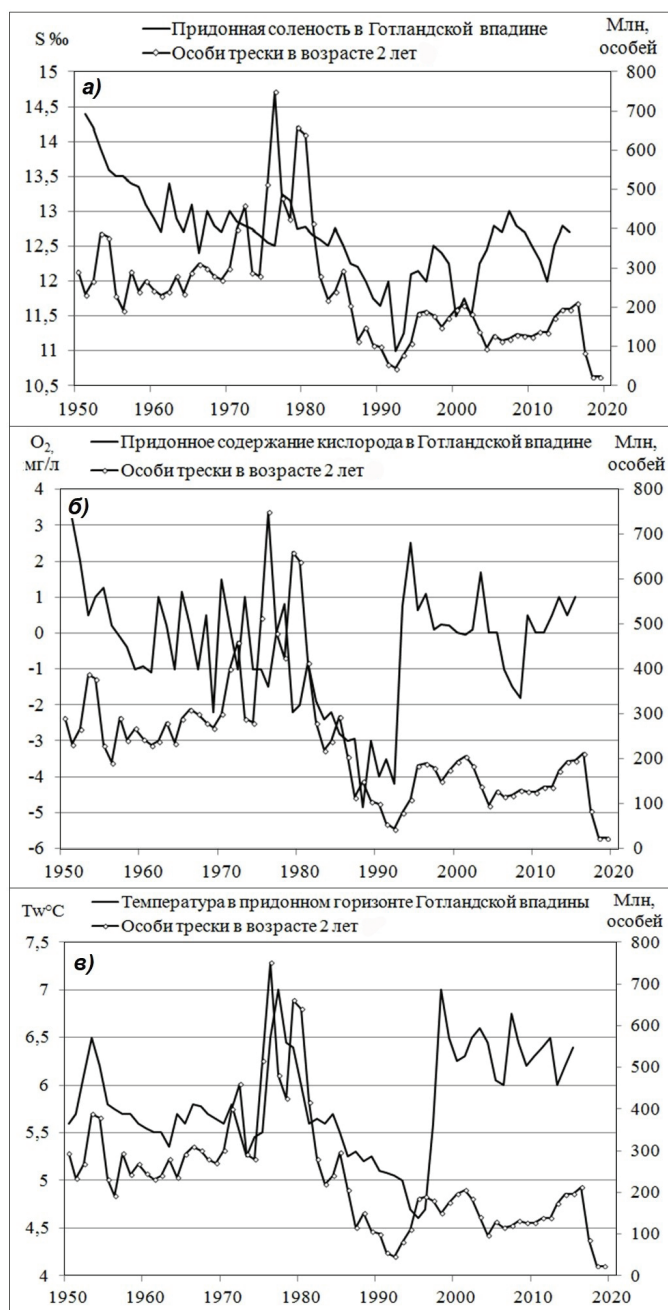


Рис. 5 / Fig. 5. Характер зависимости численности молодого поколения восточно-балтийской популяции трески от значений солёности воды (а), содержания растворённого кислорода (б) и температуры воды (в) в придонном горизонте Готландской впадины / Nature of Dependence of the Young Generation of the East Baltic Cod Population on the Values of Water Salinity (a), Dissolved Oxygen Content (b) and Water Temperature (c) in the Bottom Horizon of the Gotland Depression

Источник: составлено автором

а также в 1979 и 1980 гг. имело место на фоне увеличения солёности воды в придонном горизонте Готландской впадины до 12,8–13,2%. Но в дальнейшем, со второй половины 1980-х гг., возникла выраженная тенденция к снижению солёности. Зависимость численности молоди в возрасте 2 лет восточно-балтийской трески от концентрации кислорода в придонном горизонте Готландской впадины достаточно существенная ($r = 0,55$ при $P = 99\%$) Графически данная связь представлена на рисунке 5б).

Между температурой воды в промежуточном горизонте Готландской впадины и численностью молоди трески в возрасте 2 лет в центральной части моря также обнаружена значимая тесная корреляционная связь ($r = 0,72$ при $P = 99\%$). Молодь трески находится в большей зависимости от влияния солёности, концентрации кислорода и температуры воды именно в придонном горизонте Готландской впадины, чем в промежуточном. Это связано с успехом прохождения критического для выживания периода зимовки, когда молодые особи удаляются от побережья и формируют скопления именно в глубинных и придонных горизонтах при повышенной солёности.

Построено уравнение множественной регрессии

$$\text{ЧМПТ} = -2706,2 + 82,2 S\% + 199,5 T_w \text{ } ^\circ\text{C} - 22,05 O_2\%,$$

где:

$S\%$ – солёность воды;

$T_w \text{ } ^\circ\text{C}$ – температура воды;

$O_2\%$ – концентрация растворённого кислорода ($R^2 = 0,75$, средняя ошибка аппроксимации составляет 5%) [8].

Многолетняя динамика численности молоди западно-балтийской трески также демонстрирует значительные межгодовые колебания. Наибольшие значения в 190–230 млн особей отмечались в начале 1970-х гг.

В сентябре 2003 г. на заседании 29 Сессии Международной комиссии по рыболовству в Балтийском море (IBSFC – *International Baltic Sea Fishery Commission*), которая проходила в г. Вильнюс, было принято решение о частичном запрете на вылов балтийской трески всеми странами с 16 июня по 15 августа, т. е. в период наиболее интенсивного икрометания восточно-балтийской популяции. Сохранение тенденции к дальнейшему снижению запаса привело к необходимости снизить величину допустимых уловов в 2012 г. по сравнению с периодом 1996–1997 гг. более чем в 3 раза – со 180 тыс. тонн до 52 тыс. тонн. В последующие годы величины общих допустимых уловов продолжили снижение.

Произведён анализ влияния различных экологических факторов морской среды на показатели биологической продуктивности балтийской сельди и шпрота. На рисунке 6 показано сравнение многолетней динамики показателей урожайности балтийской сельди – уловов, биомассы нерестового стада и численности особей в возрасте 1 года в подрайонах ICES 25-29 и 32 с солёностью воды на поверхности Готландской впадины. Увеличение температуры поверхностного слоя воды в центральной (район Готландской впадины), южной (район Гданьской впадины) и юго-западной частях акватории Балтийского моря сопровождается снижением величин биомассы нерестового стада и уловов сельди

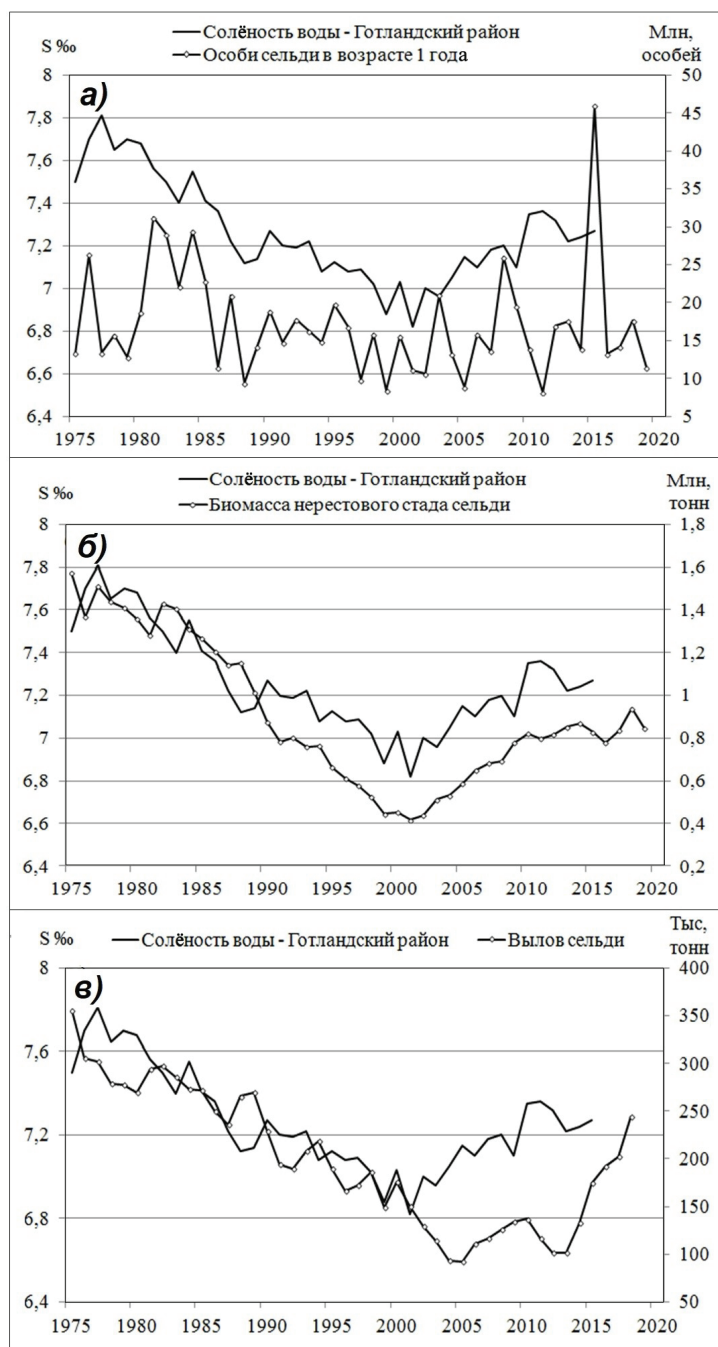


Рис. 6 / Fig. 6. Сравнение многолетней динамики показателей урожайности балтийской сельди – уловов (а), биомассы нерестового стада (б) и особей в возрасте 1 года (в) в под-районах ICES 25-29 и 32 с солёностью воды на поверхности Готландской впадины / Comparison of long-term dynamics of Baltic herring yield indicators - catches (a), spawning herd biomass (b) and individuals aged 1 year (c) in subareas ICES 25-29 and 32 with water salinity on the surface of the Gotland Depression

в статистических подрайонах ICES № 25–29+32 (исключая Рижский залив), расположенных в данных частях моря. Аналогичный характер связи установлен также и для численности молодого поколения сельди в возрасте 1 года [9].

Рост значений солёности воды на поверхности Готландской впадины (рис. 7), а также на поверхности Гданьской и Борнхольмской впадин приводит росту значений, используемых показателей урожайности сельди в подрайонах ICES № 25–29+32 (исключая Рижский залив). Увеличение солёности воды положительно сказывается на воспроизводстве и численности поколений сельди также и в южных акваториях Балтики ($r =$ от 0,65 до 0,72 при $P = 99\%$).

В соответствии с Приказами Федерального агентства по рыболовству Российской Федерации «О распределении общих допустимых уловов водных биологических ресурсов Западного рыбохозяйственного бассейна, а также квот добычи (вылова) водных биологических ресурсов, представленных РФ в районах действия международных договоров России в области рыболовства и сохранения водных биологических ресурсов, применительно к видам квот их добычи (вылова) № 651 от 04.12.2019, № 635 от 30.11.2020, № 741 от 01.12.2021, № 695 от 25.11.2022, соответственно на 2020–2023 гг., установлены следующие величины квот добычи (вылова) водных биологических ресурсов применительно к Балтийскому морю и заливам¹:

– на 2020 г.: сельдь балтийская (салака) – 25 478,65 т, шпрот (килька) – 41 674,9 т, треска – 5 388,28 т, камбала речная – 5 388,28 т;

– на 2021 г.: сельдь балтийская (салака) – 24 878,65 т, шпрот (килька) – 44 674,9 т, треска – 2 888,28 т, камбала речная – 1 513,29 т;

– на 2022 г.: сельдь балтийская (салака) – 24 278,700 т, шпрот (килька) – 43 374,9 т, треска – 1 888 т, камбала речная – 1 213,210 т; на 2023 г.: сельдь балтийская (салака) – 24 072 т, шпрот (килька) – 44 268,5 т, треска – 1 496,5 т, камбала речная – 1 509,1 т.

Заметно, что в последние годы продолжается тенденция в отношении падения запасов балтийской трески и речной камбалы, возникшая с середины 1990-х гг. на фоне чрезмерных объёмов промыслового изъятия без должного учёта степени благоприятности условий среды для воспроизводства на их нерестилищах [8]. Поэтому, с учётом сложной специфики пространственной и временной изменчивости климатических, океанологических и экологических условий в регионе Балтийского моря, оценке и прогнозу значений факторов среды, определяющих успех воспроизводства промысловых рыб на нерестилищах, особенно донных, следует уделять повышенное внимание.

В состав ихтиофауны Белого моря входит около 60 видов рыб. При этом только около 10 видов имеют в настоящее время существенное промысловое значение: беломорская сельдь (*Clupea pallasii maris-albi* Berg), беломорская корюшка (*Osmerus eperlanus eperlanus n. dvinensis*), а также донные рыбы, такие, как треска (*Gadus morhua maris-albi*), навага из семейства тресковые

¹ Федеральное агентство по рыболовству Российской Федерации: [сайт]. URL: <https://fish.gov.ru> (дата обращения: 06.03.2024).

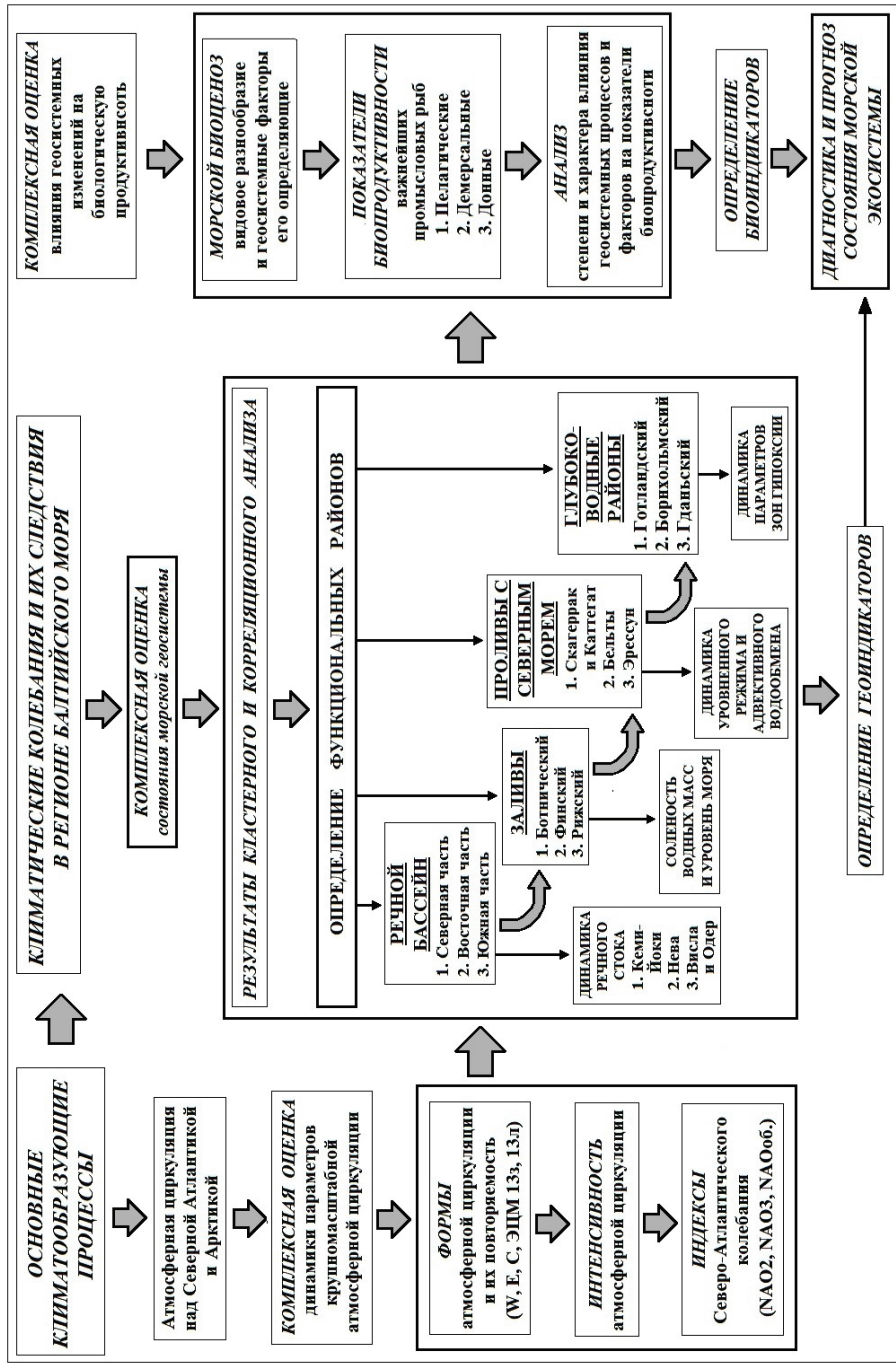


Рис. 7 / Fig. 7. Обобщённая логическая модель оценки влияния климата на компоненты экосистемы Балтийского моря / Generalized logical model for assessing the impact of climate fluctuations on the components of the Baltic Sea ecosystem

Источник: [8]

(*Eleginus navaga* Pallas), уловы которой составляют не менее половины общего вылова рыб в море, полярная камбала (*Liopsetta glacialis* Pallas) и речная камбала (*Pleuronectes flesus* L.). В Белом море сформировались уникальные самовоспроизводящиеся популяции этих рыб, которые обладают рядом экологических адаптаций к местным условиям [4].

Установлено, что для величин уловов наваги, корюшки и речной камбалы, расположенных в Онежском и Двинском заливах Белого моря, связь с обобщённым индексом NAO об. и W-формой атмосферной циркуляции Вангенгейма-Гирса имеет положительный характер. Однако для соответствующих популяций, расположенных в Мезенском заливе, располагающемся в северо-восточной части моря, корреляционная связь меняет свой характер на обратный, оставаясь статистически значимой. По-видимому, популяции рыб, располагающиеся в относительно тёплых южных заливах – Онежском и Двинском, адаптированы к жизни и воспроизводству при более высокой среднегодовой и сезонной температуре воды. В более тёплых условиях, очевидно, сокращается период развития икринок наваги и корюшки. Самая низкая температура на поверхности Белого моря наблюдается в Воронке и Горле, при этом район близлежащего Мезенского залива также находится под регулярным влиянием арктического воздуха и поверхностных холодных водных масс. По причине более суровых температурных условий в Мезенском заливе у местных популяций рыб выработались свои особенные адаптации к температурному режиму. Начало развития икринок наваги происходит

здесь при температуре воды от -1,5 до +1°C и длится значительно дольше, чем в южных заливах – от 2,5 до 3 месяцев. Таким образом, благоприятные условия для воспроизводства и дальнейшего пополнения нерестового и промыслового стада рыб, обитающих в более тёплых Онежском и Двинском заливах, создаются при умеренном потеплении, что имеет место на фоне роста значений NAO, а в Мезенском заливе в это время условия для воспроизводства пелагических рыб становятся неблагоприятными в силу пониженного температурного оптимума, сформировавшегося как результат адаптации к местным условиям [8].

Однако выраженное похолодание на севере Белого моря и в регионе в целом способно привести к ухудшению условий для воспроизводства пелагических промысловых рыб, в т. ч. по причине снижения скорости круговорота биогенных веществ в море с последующим уменьшением продукции кормового планктона.

В состав ихтиофауны Белого моря входит около 180 видов рыб, в т. ч. более 30 промысловых [19]. В значительной зависимости от динамики климатообусловленных природных условий находятся популяции донных и демерсальных рыб. Повышение температуры воды в придонных и промежуточных слоях шельфовой зоны Чёрного моря оказывает отрицательное влияние на величины уловов демерсальных холодолюбивых хищников – мерланга и ставриду и придонных бентофагов – палтуса и кефалей [10]. Сезонная и многолетняя изменчивость температуры поверхностного слоя моря, которая демонстрирует выраженные колебания, определяет начало и ин-

тенсивность нерестовых миграций пелагических сельдевых рыб [2].

В Азовском море и в его бассейне возрастание интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой приводит к понижению температуры воды и воздуха, уменьшению величин атмосферных осадков и стока крупнейших рек – Дона и Кубани. При этом приток высокосолёных водных масс в Азовское море из Чёрного увеличивается по причине некоторого снижения уровня Азова на фоне уменьшения речного стока [10]. Выявленные особенности функционирования и динамики абиотических процессов позволят в дальнейшем обеспечить оценку устойчивости рассматриваемых внутренних морей Европы к климатическим изменениям [7].

Функциональные связи в морских экосистемах

Обобщение полученных результатов статистического анализа многолетних данных применительно к различным акваториям внутренних морей и районам их речных бассейнов позволило сформировать логические модели структурных связей между природными процессами.

На рисунке 7 представлены соответствующие связи для Балтийского моря. Для каждого морского бассейна и морской экосистемы установлены формы и индексы климатообразующих процессов – индексов и форм атмосферной циркуляции Вангенгейма-Гирса, Б. Л. Дзердзеевского, а также Северо-атлантического колебания (NAO), которые с наибольшей достоверностью способны отражать влияние климатических изменений на компоненты морских гео- и экосистем.

На основе полученных результатов статистического анализа обоснованы функциональные геоэкологические районы, изменения в которых под воздействием климата способны повлиять в дальнейшем на функционирование значительной части или всей гео- и экосистемы моря, в т. ч. оказать прямое и значительное воздействие на состояние экосистем и их биологическую продуктивность [8].

В экосистеме Балтийского моря функциональными геоэкологическими районами являются: северная, восточная и южная части речного бассейна; заливы – Ботнический, Финский, Рижский; проливы – Скагеррак и Каттегат, Зунд, Бельты; глубоко-водные районы – Готландский, Борнхольмский, Гданьский, а также устьевые зоны крупнейших рек – р. Нева и Невская губа в пределах Санкт-Петербурга, р. Висла, Одер и Кеми-Йоки (Северная Финляндия).

Заключение

Полученные результаты анализа многолетних данных, отражающие динамику функционирования компонентов морских и прибрежных экосистем, позволяют сформулировать следующие основные выводы.

1. Циркуляция атмосферы над Северной Атлантикой, интенсивность которой зависит от градиентов атмосферного давления между центрами действия атмосферы – Азорским максимумом и Исландским минимумом, количественно достоверно выражаются в виде значений индексов Северо-атлантического колебания (NAO), по которым имеются продолжительные многолетние данные. Рост интенсивности циркуляции атмосферы

сопровождается смещением траекторий северо-атлантических циклонов, переносящих тепло и влагу на северо-восток Европы, что приводит к потеплению над акваториями и речными бассейнами Белого и Балтийского морей, возрастанию количества атмосферных осадков и водности большинства впадающих рек. В то же время над акваториями и бассейнами Чёрного и Азовского морей наблюдается относительно похолодание и снижение объёмов речного стока.

Снижение интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой приводит к смещению траекторий северо-атлантических циклонов по направлению к юго-восточной Европе, что сопровождается похолоданием над акваториями Белого и Балтийского морей, и снижению водности большинства рек северо-востока Европы. При этом происходит относительное потепление и увеличение объёмов атмосферных осадков и речного стока в бассейнах Чёрного и Азовского морей.

2. В Балтийском море, в пределах его бассейна и на побережьях, рост интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, наиболее эффективно выражаемый в виде значений индексов NAO 2, NAO 3 и NAO об., приводит к повышению температуры воздуха в среднем за год и в среднем за зиму в районах городов Калининград, Балтийск, Рига, Таллинн, Санкт-Петербург, на побережьях Финляндии и Швеции, а также г. Кингисепп, Выборг и других в Ленинградской области. Потепление происходит при значениях индексов NAO выше средней многолетней нормы. Наблюдается повышение температуры поверхности открытого моря, заливов и

внутриконтинентальных водных объектов, значительное уменьшение ледовитости акваторий. Например, зимой 2019–2020 гг. ледовый покров в Балтийском море занимал не более 37 тыс. км², что составляет только 8% от общей площади моря и является абсолютным минимумом с начала периода спутниковых наблюдений за ледовитостью с конца 1970-х гг.

Наблюдается возрастание объёмов атмосферных осадков и расходов р. Одер, Висла, Даугава, Преголь, Луга, Волхов и других, а также рек Финляндии и Швеции, впадающих в Балтику. При этом наблюдается снижение значений средней годовой солёности воды на поверхности в прибрежной зоне Финского, Рижского и Ботнического заливов на 2–3 г/л. Установлено, что на фоне увеличения повторяемости типов ЭЦМ типизации Б. Л. Дзердзеевского, входящих в группу меридиональных южных (типы ЭЦМ 13 и обобщённые меридиональные южные), в регионе Балтийского моря происходит потепление, а похолодание – при росте повторяемости меридиональных северных (ЭЦМ 8–12 и обобщённые меридиональные северные). Снижение солёности воды в поверхностном слое отрицательно влияет на урожайность и уловы пелагических солоновато-водных рыб, прежде всего, балтийской сельди. Снижение солёности в придонных горизонтах, в т. ч. в центральных и южных районах моря, до значений менее 11 г/л по причине снижения притока более солёных вод в Балтику из Северного моря на фоне роста объёмов поступающих речных вод и подъёма в связи этим уровня моря в Датских проливах отрицательно влияет на воспроизводство донных

ценных промысловых рыб – трески, морской камбалы и камбалы-лиман-ды. Произошедшее в конце 1980-х и в начале 1990-х гг. наиболее выраженное снижение урожайности и уловов донных балтийских рыб в 5–7 раз по сравнению с периодом 1970-х гг. являлось следствием весьма неблагоприятных климато-обусловленных условий среды для их размножения – резкого снижения солёности воды и концентрации растворённого кислорода на нерестилищах в придонных горизонтах впадин в центральной и южной Балтике при длительном отсутствии мощных затоков водных масс из Северного моря на фоне усиления антропогенного изъятия промыслом.

4. В Белом море, в пределах его бассейна и на побережьях, рост интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, наиболее эффективно отражаемый в виде индексов NAO 1, NAO 4 и NAO об., приводит к увеличению температуры воздуха и температуры водных объектов в поверхностном слое. Наблюдается возрастание объёмов атмосферных осадков и расходов р. Северной Двины, Онеги, Мезени и других. При этом наблюдается снижение значений средней годовой солёности воды на поверхности в прибрежной зоне Онежского, Двинского и Мезенского заливов на 2–5 г/л, что в наибольшей мере было характерно для конца 1980-х – начала 1990-х гг. Развитие зональной W-формы циркуляции атмосферы Вангенгейма-Гирса сопровождается потеплением, а увеличение повторяемости E-формы – приводит к похолоданию. Потепление наблюдается также при росте повторяемости типов ЭЦМ Б. Л. Дзердзеевского, входящих в груп-

пу меридиональных южных (типы ЭЦМ 13 и обобщённые меридиональные южные), а похолодание – на фоне роста повторяемости суммарных зональных ЭЦМ. Для промысловых холодолюбивых рыб арктического происхождения, среди которых навага и мойва, потепление сказывается на воспроизводстве и уловах в целом неблагоприятно, особенно для популяций, расположенных в северном Мезенском заливе, в то время как популяции, обитающие южнее, в относительно более теплых Двинском и Онежском заливах, увеличивают свою урожайность и уловы.

5. В Чёрном море, в районах его бассейна и на побережьях, возрастание интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, наиболее эффективно отражаемое при использовании индексов NAO 1, NAO 2 и NAO об., и W-формы атмосферной циркуляции, приводит к относительному похолоданию, снижению объёмов атмосферных осадков и расходов крупнейших рек бассейна моря – Дуная, Днепра, Днестра. При этом наблюдается возрастание солёности воды в северо-восточной части моря. Потепление наблюдается при значениях индексов NAO ниже средней многолетней нормы, а также при росте повторяемости типов ЭЦМ Б. Л. Дзердзеевского входящих в группу меридиональных южных (типы ЭЦМ 13 и обобщённые меридиональные южные) в северо-западном, западном и юго-западном районах черноморского побережья, а похолодание в тех же районах – на фоне роста повторяемости суммарных зональных форм циркуляции атмосферы. Рост температуры воды, по-видимому, способен

оказать неблагоприятное влияние на урожайность и величины уловов рыб – холодолюбивых хищников – мерланга и ставриду и придонных бентофагов – палтуса и кефалей. Численность молодого поколения, биомасса и уловы сельдевых черноморских рыб, в том числе шпрота, находятся в прямой зависимости от динамики величин стока Дуная и Днестра. По-видимому, увеличение водности рек приводит к возрастанию в северо-западном районе моря и в смежных районах концентраций биогенных веществ, обеспечивающих развитие фито- и зоопланктона, что создаёт благоприятные условия для питания молоди пелагических видов рыб.

6. В Азовском море, в районах его бассейна и на побережьях, увеличение интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой сопровождается снижением температуры воды и воздуха, уменьшением количества атмосферных осадков и стока крупнейших рек – Дона и Кубани. В тоже время приток более солёных водных масс из Чёрного моря увеличивается по причине некоторого снижения уровня в Азовском море на фоне сокращения поступления речных вод. В результате увеличения солёности Азовского моря, прежде всего, в его придонных слоях, создаются условия выраженной плотностной стратификации водных масс, что приводит к дефициту содержания кислорода и возрастанию случаев заморов, способных привести к гибели донных организмов. Кроме того, повышение солёности воды может привести к изменениям в видовом составе фитопланктона и уровне первичной биологической продукции экосистемы. В целом, среди всех рассматриваемых внутренних

морей именно Азовское море, по-видимому, имеет самую низкую устойчивость к воздействию климатических изменений по причине своего наименьшего объёма, значительному поступлению речного стока, колебания которого способны быстро отразиться на уровнённом режиме моря, повлиять на водообмен с Чёрным морем и солёность воды, что, в свою очередь, приведёт к существенным изменениям в видовом составе и продуктивности компонентов морского биоценоза.

7. В регионе восточной Балтики, в Финском заливе и на его побережьях, в т. ч. в Ленинградской области, тенденция к потеплению климата, наблюдаемая с начала 1990-х гг., выражается в увеличении средней годовой и средней за зиму температуры воздуха, существенном снижении ледовитости в восточной части Финского залива и в Невской губе, что повышает безопасность навигации в зимний период. Однако за последние 30 лет участились нагонные наводнения, приводящие к нарушениям береговой зоны, в т. ч. в Курортном районе Санкт-Петербурга. Возросли на 20% объёмы атмосферных осадков. При этом осадки выпадают теперь большую часть года преимущественно в жидком виде, что, в свою очередь, приводит к постепенному изменению водного режима некоторых рек от типа с половодьем весной на паводочный тип, более свойственный рекам Южного федерального округа. Участившиеся интенсивные ливни в Ленинградской области и в Санкт-Петербурге угрожают объектам жилищно-коммунального хозяйства, а также объектам историко-культурного наследия.

В целом, на основе полученных результатов в дальнейшем будут раз-

работаны регионально-ориентированные программы адаптации отраслей хозяйственной деятельности, в т. ч. в Ленинградской области, к климати-

ческим изменениям для обеспечения экологической безопасности экосистем и рационального использования биологических ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амосова В. М., Зезера А. С., Голубкова Т. А. Влияние факторов среды на величины запасов рыб в Балтийском море // Труды ВНИРО. 2022. Т. 187. С. 110–127.
2. Архипкин В. С., Косарев А. Н., Гиппиус Ф. Н. Сезонная изменчивость климатических полей температуры, солености и циркуляции вод Черного и Каспийского морей // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2013. № 5. С. 33–44.
3. Балыкин П. А., Куцын Д. Н., Орлов А. М. Изменения солености и видового состава ихтиофауны в Азовском море // Океанология. 2019. Т. 59. № 3. С. 396–404. DOI: 10.31857/S0030-1574593396–404
4. Исследования фауны морей. Т. 69. Биологические ресурсы Белого моря: изучение и использование / гл. ред. О. Н. Пугачев. СПб.: ЗИН РАН. 2012. 376 с.
5. Вангенгейм Г. Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики. Л.; М.: Главсевморпуть, 1952. 313 с.
6. Конова Н. К. Классификации циркуляционных механизмов Северного полушария по Дзердзеевскому Б. Л. М.: Воентехиздат, 2009. 370 с.
7. Дроздов В. Оценка устойчивости экосистем Балтийского и Белого морей для обеспечения экологической безопасности освоения ресурсов шельфа с учетом гидрометеорологических условий // Экология и промышленность России. 2021. № 25. С. 21–27. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-1-21-27
8. Дроздов В. В. Влияние колебаний климата на динамику экосистем Балтийского и Белого морей. СПб.: Изд. РГГМУ, 2015. 235 с.
9. Дроздов В. В. Динамика продуктивности популяций сельдевых рыб Балтийского моря – балтийской сельди (салаки) *Clupea harengus membras* и шпрота (кильки) *Sprattus sprattus balticus* в связи с факторами среды и промыслом // Вопросы рыболовства. 2017. Т. 18. № 1. С. 52–64.
10. Дроздов В. В. Влияние колебаний климата на динамику экосистем Черного и Азовского морей. СПб.: РГГМУ, 2019. 230 с.
11. Карасева Е. М., Ежова Е. Е., Кречик В. А. Влияние абиотических факторов среды на численность икры и личинок трески в юго-восточной Балтике в 2016 г. // Океанология. 2020. Т. 60. № 5. С. 729–739. DOI: 10.31857/S0030157420040115
12. Карпушевский И. В., Зезера А. С., Иванович В. М. Адаптационные особенности популяций пелагических и демерсальных рыб в пространственной и временной динамике фактора солености вод Балтийского моря // Труды Зоологического института РАН. Приложение № 3. 2013. Т. 317. С. 128–135.
13. Литина Е. Н., Захарчук Е. А., Тихонова Н. А. Динамика гипоксических зон в Балтийском море на рубеже XX и XXI веков // Водные ресурсы. 2020. № 47. С. 322–329. DOI: 10.31857/S0321059620030098
14. Матишов Г. Г., Гаргопа Ю. М., Бердников С. В. и др. Закономерности экосистемных процессов в Азовском море. М.: Наука, 2006. 304 с.
15. Нестеров Е. С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М.: Триада, 2013. 144 с.
16. Смирнов Н. П., Воробьев В. Н., Кочанов С. Ю. Северо-Атлантическое колебание и климат. СПб.: Изд-во РГГМУ, 1998. 122 с.

17. Трешников А. Ф. Центры действия атмосферы и гидросферы // Проблемы Арктики и Антарктики. 1974. Т. 43–44. С. 153–170.
18. Экосистемные исследования Азовского, Чёрного, Каспийского морей и их побережий Т. IX. / Г. Г. Матишов, О. С. Безуглова, В. В. Приваленко и др. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2007. 315 с.
19. The State of Mediterranean and Black Sea Fisheries. General Fisheries Commission for the Mediterranean / A. Srouf, M. Bernal, A. Carlson, P. Carpentieri, et al. Rome, 2018. 172 p.

REFERENCES

1. Amosova V. M., Zezera A. S., Golubkova T. A. [Influence of environmental factors on the values of fish stocks in the Baltic Sea]. In: *Trudy VNIRO* [Proceedings of VNIRO], 2022, vol. 187, pp. 110–127.
2. Arkhipkin V. S., Kosarev A. N., Gippius F. N. [Seasonal variability of climatic fields of temperature, salinity and water circulation of the Black and Caspian Seas]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Episode 5: Geography], 2013, no. 5, pp. 33–44.
3. Balykin P. A., Kutsyn D. N., Orlov A. M. [Changes in salinity and species composition of ichthyofauna in the Sea of Azov] In: *Okeanologiya* [Oceanology], 2019, vol. 59, no. 3, pp. 396–404. DOI: 10.31857/S0030-1574593396–404
4. Pugachev O. N., ed. *Issledovaniya fauny morey. T. 69. Biologicheskiye resursy Belogo morya: izucheniye i ispolzovaniye* [Research of the fauna of the seas. Vol. 69. Biological resources of the White Sea: study and use]. St. Petersburg, ZIN RAS Publ., 2012. 376 p.
5. Vangengeim G. Ya. *Osnovy makrotsirkulyatsionnogo metoda dolgosrochnykh meteorologicheskikh prognozov dlya Arktiki* [Fundamentals of the macrocirculation method of long-term meteorological forecasts for the Arctic]. Leningrad, Moscow, Glavsevmorput Publ., 1952. 313 p.
6. Konova N. K. *Klassifikatsiya tsirkulyatsionnykh printsipov Severnogo polushariya po Dzerdzhevskomu B. L.* [Classification of circulation mechanisms of the Northern Hemisphere according to Dzerdzhevsky B. L.]. Moscow, Voentehizdat Publ., 2009. 370 p.
7. Drozdov V. [Assessing the sustainability of the ecosystems of the Baltic and White Seas to ensure the environmental safety of the development of shelf resources taking into account hydrometeorological conditions]. In: *Ekologiya i promyshlennost Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2021, no. 25, pp. 21–27. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-1-21-27
8. Drozdov V. V. *Izmeneniye klimata na dinamiku ekosistemy Baltiyskogo i Belogo morya* [The influence of climate fluctuations on the dynamics of ecosystems of the Baltic and White Seas]. St. Petersburg, Izd. RGGMU Publ., 2015. 235 p.
9. Drozdov V. V. [Dynamics of productivity of herring fish populations in the Baltic Sea – Baltic herring (herring) *Clupea harengus membras* and sprat (sprat) *Sprattus sprattus balticus* in connection with environmental factors and fishing]. In: *Voprosy rybolovstva* [Questions of Fisheries], 2017, vol. 18, no. 1, pp. 52–64.
10. Drozdov V. V. *Izmeneniye klimata na dinamiku ekosistemy. Issledovaniye Chernogorii i Azovskogo morya* [The influence of climate fluctuations on the dynamics of ecosystems of the Black and Azov Seas]. St. Petersburg, RGGMU Publ., 2019. 230 p.
11. Karaseva E. M., Ezhova E. E., Krechik V. A. [The influence of abiotic environmental factors on the number of eggs and larvae of cod in the south-eastern Baltic in 2016]. In: *Okeanologiya* [Oceanology], 2020, vol. 60, no. 5, pp. 729–739. DOI: 10.31857/S0030157420040115
12. Karpushevsky I. V., Zezera A. S., Ivanovich V. M. [Adaptation features of pelagic and demersal fish populations in the spatial and temporal dynamics of the salinity factor in the waters of the Baltic Sea]. In: *Trudy Zoologicheskogo instituta RAN. Prilozheniye № 3* [Pro-

- ceedings of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences. Appendix No. 3], 2013, vol. 317, pp. 128–135.
13. Litina E. N., Zakharchuk E. A., Tikhonova N. A. [Dynamics of hypoxic zones in the Baltic Sea at the turn of the 20th and 21st centuries]. In: *Vodnyye resursy* [Water Resources], 2020, no. 47, pp. 322–329. DOI: 10.31857/S0321059620030098
 14. Matishov G. G., Gargopa Yu. M., Berdnikov S. V., et al. *Zakonomernost ekosistemnykh protsessov v Azovskom more* [Patterns of ecosystem processes in the Sea of Azov]. Moscow, Nauka Publ., 2006. 304 p.
 15. Nesterov E. S. *Severoatlanticheskoye soyedineniye: atmosfera i okean* [North Atlantic Oscillation: Atmosphere and Ocean]. Moscow, Triada Publ., 2013. 144 p.
 16. Smirnov N. P., Vorobyov V. N., Kochanov S. Yu. *Severo-Atlanticheskoye soyedineniye i klimat* [North Atlantic Oscillation and climate]. St. Petersburg, Izd-vo RGGMU Publ., 1998. 122 p.
 17. Treshnikov A. F. [Centers of action of the atmosphere and hydrosphere]. In: *Problemy Arktiki i Antarktiki* [Problems of the Arctic and Antarctic], 1974, vol. 43–44, pp. 153–170.
 18. Matishov G. G., Bezuglova O. S., Privalenko V. V., et al. *Ekosistemnyye issledovaniya Azovskogo, Chornogo, Kaspiyskogo morey i ikh poberezhnykh T. IX* [Ecosystem studies of the Azov, Black, Caspian seas and their coasts Vol. IX]. Apatity, Izd. KNTS RAN Publ., 2007. 315 p.
 19. Srouf A., Bernal M., Carlson A., Carpentieri P., et al. *The State of Mediterranean and Black Sea Fisheries. General Fisheries Commission for the Mediterranean*. Rome, 2018. 172 p.
-

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Дроздов Владимир Владимирович – кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой геоэкологии, природопользования и экологической безопасности экологического факультета и заведующий лабораторией «Экология и климат» Российского государственного гидрометеорологического университета;
e-mail: vladidrozдов@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vladimir V. Drozdov – PhD (Geography), Assoc. Prof., Departmentally Head, Department of Geoecology, Environmental Management and Environmental Safety, Faculty of Ecology, Head of the Laboratory "Ecology and Climate", Russian State Hydrometeorological University;
e-mail: vladidrozдов@yandex.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Дроздов В. В. Региональные особенности влияния изменений климата на компоненты экосистем внутренних морей Европы и их побережья // Географическая среда и живые системы. 2024. №1. С. 6–29.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-6-29

FOR CITATION

Drozdov V. V. Regional features of the impact of climate change on components of ecosystems of the inland seas of Europe and their coasts. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 1, pp. 6–29.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-6-29