

УДК 551.465: [57.045 + 504.61] (268.46)

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ «БЕЛОЕ МОРЕ – ВОДОСБОР»

Н. Н. Филатов¹, Л. Е. Назарова¹, П. В. Дружинин²

¹ *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»,
Петрозаводск, Россия*

² *Институт экономики КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*

Выполнены исследования изменчивости климата и оценено ее влияние на сток рек и некоторые экономические процессы на водосборе, в том числе на рыболовство – одно из основных занятий населения Беломорья. Отмечается, что потепление климата за последние 60 лет не привело к ощутимым изменениям (отсутствует значимый тренд) среднегодового стока рек, но выразилось в повышении температуры воды рек и Белого моря, оказывающем заметное влияние на его экосистемы. Наибольшее повышение температуры характерно для зимних месяцев, особенно для января (средние значения за 1991–2017 гг. превышают климатические нормы на 1,7–2,5 °С). Изменения стока за последние десятилетия (после 1977 г.) по отношению к предыдущему периоду для всех водотоков незначительны и разнонаправлены. В период наибольшего потепления климата на водосборе, с 1987 по 2015 г., суммарный сток варьировал в пределах 200–310 км³/год, при среднемноголетнем за это время около 230 км³/год. Увеличение температуры воды рек водосбора начиная с середины 1980-х годов наблюдается в среднем на 1 °С, эти изменения коррентны колебаниям температуры воздуха на водосборах рассматриваемых рек. Наблюдаемый прогрев вод Белого моря при потеплении климата неблагоприятно сказывается на продуктивности сельди и наваги – рыбы арктического происхождения. По большинству показателей (атмосферные выбросы, сброс сточных вод и др.) экологическая ситуация на водосборе улучшается с 1992 года за счет спада экономики, а в 2000-х годах – из-за изменения структуры экономики, а также инвестиций в модернизацию производств и природоохранные проекты.

Ключевые слова: море; водосбор; климат; экономика; экосистемы; сток рек; рыболовство.

N. N. Filatov, L. E. Nazarova, P. V. Druzhinin. INFLUENCE OF CLIMATIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE WHITE SEA – CATCHMENT SYSTEM

Variability of the regional climate is investigated, and its impact on river runoff and some economic processes in the catchment, including fisheries – one of the main livelihoods of the local population – is evaluated. Warming of the regional climate over the past 60 years has not led to any tangible change in mean annual river runoff (no significant trend observed), but was evident in the increase of the water temperature in rivers and the White Sea. The greatest temperature increase is typical for winter months, especially January (mean values over 1991–2017 exceed the climatic norms by 1.7–2.5 °C). The change in flow over the past decades (since 1997) as compared to the preced-

ing period is multidirectional and not significant. During the maximal climate warming in the catchment in 1987–2015, total river runoff varied within 200–310 km³/yr, the average over this period being ca. 230 km³/yr. The water temperature in rivers in the catchment has increased since the mid-1980's by an average of 1 °C; these variations are coherent to air temperature fluctuations over the catchments of the respective rivers. The observed excessive summer heating of the White Sea under climate warming unfavorably affects the productivity of herring and navaga, fish of the Arctic origin. Since the 1990's, ecological parameters such as atmospheric emissions and effluent discharges have changed for the better because of the regional economy decline, and since the 2000's – owing to changes in the structure of the economy and investments in technological upgrade and nature conservation measures.

Key words: sea; catchment; climate; economy; ecosystems; river runoff; fisheries.

Введение

Основная цель исследований – изучить влияние изменений климата и экономической деятельности на состояние Белого моря и водосбора (Беломорья), которые определяют условия проживания населения региона. Для этого необходимо провести системные эколого-социо-экономические исследования, создать информационную основу для разработки когнитивной модели. Предполагается разработать более совершенную, чем созданная ранее, когнитивную модель системы Беломорья [Меншуткин и др., 2018]. Важной задачей для создания такой модели (моделей) является сбор информации об изменении и изменчивости климата, стоке и температуре воды рек, влияющих на формирование гидрологического режима и экосистем моря. Важно также оценить влияние состояния экономики на окружающую среду Беломорья, развитие промышленности, лесного и сельского хозяйства, рыболовства – важных отраслей экономики региона, определяющих условия жизни населения.

Водосбор Белого моря составляет более 10 % Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) и занимает около 720 тыс. км², включает значительную часть территорий Мурманской, Архангельской, Вологодской областей, Республики Карелия и Республики Коми, а также небольшую часть Кировской области и Ненецкого автономного округа. При этом Вологодская, Кировская области и Республика Коми (за исключением города Воркуты) не входят в АЗРФ, но играют важную роль в формировании комплекса процессов на водосборе Белого моря. Анализ состояния экономики Беломорья в последние три десятилетия показал, что развитие региона сдерживается наличием большого количества проблем, обусловленных суровым климатом, относительной удаленностью от центра, высокими затратами на производство и социальную сферу и ограниченным локальным рын-

ком [Белое..., 2007; Лаженцев, 2013; Дружинин и др., 2018]. Это определяет низкую плотность населения, концентрированность его в небольшом количестве населенных пунктов, в основном на побережье Белого моря, где традиционным занятием поморов была рыбная ловля и ма-рикультура. Для устойчивого развития региона требуется соблюдение особого режима природопользования, при этом основные секторы экономики – добывающий и переработка ресурсов (металлургия, бумажная промышленность, деревообработка), в которые вкладываются основные инвестиции, являются главными источниками, негативно влияющими на состояние водосбора и экосистем Белого моря.

В последние 30 лет в этом богатом ресурсами регионе наблюдаются заметные изменения климата, а также серьезные кризисные явления в социально-экономических условиях, которые не связаны с оскудением природных ресурсов, а во многом обусловлены особенностями функционирования экономики в новых условиях, несовершенством современной законодательной базы, регламентирующей экономическую и природоохранную деятельность.

Данные и методы

Ранее Институтом водных проблем Севера КарНЦ РАН совместно с Институтом прикладных математических исследований и Институтом экономики КарНЦ РАН были созданы геоинформационные системы, базы данных, атлас Белого моря и водосбора [Филатов и др., 2014; Электронный..., 2017], оригинальные 3D математические модели термогидродинамики и экосистемы моря [Белое..., 2007; Чернов и др., 2016], модели для оценки состояния и прогноза развития экономики [Дружинин и др., 2018], начаты системные исследования социо-эколого-экономических процессов Беломорья с использованием когнитивных моделей [Меншуткин и др., 2018].

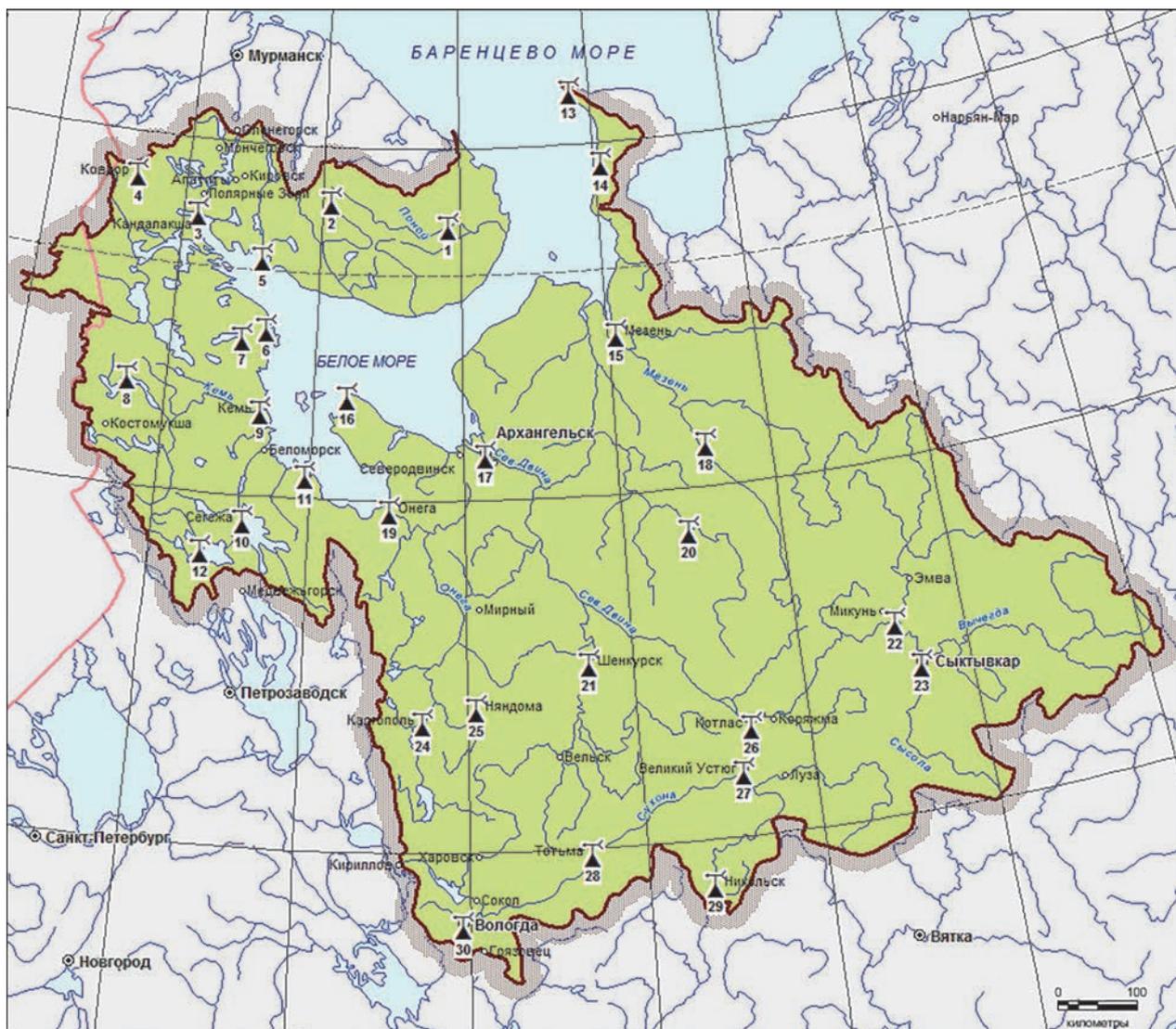


Рис. 1. Схема расположения метеорологических станций Беломорья:

1 – Каневка; 2 – Краснощелье; 3 – Кандалакша; 4 – Ковдор; 5 – Умба; 6 – Гридино; 7 – Энгозеро; 8 – Калевала; 9 – Кемь-порт; 10 – Сегежа; 11 – Колежма; 12 – Паданы; 13 – Канин Нос; 14 – Шойна; 15 – Мезень; 16 – Жижгин; 17 – Архангельск; 18 – Койнас; 19 – Онега; 20 – Сура; 21 – Шенкурск; 22 – Усть-Вымь; 23 – Сыктывкар; 24 – Каргополь; 25 – Няндомы; 26 – Котлас; 27 – Великий Устюг; 28 – Тотма; 29 – Никольск; 30 – Вологда.

Границы водосбора Белого моря выделены контуром

Fig. 1. The meteorological stations location in the White Sea:

1 – Kanevka; 2 – Krasnoshchelye; 3 – Kandalaksha; 4 – Kovdor; 5 – Uмба; 6 – Gridino; 7 – Engozero; 8 – Kalevala; 9 – Kem-port; 10 – Segezha; 11 – Kolezhma; 12 – Padany; 13 – Kanin Nose; 14 – Shoyna; 15 – Mezen; 16 – Zhizhgin; 17 – Arkhangelsk; 18 – Koynas; 19 – Onega; 20 – Sura; 21 – Shenkursk; 22 – Ust-Vym; 23 – Syktyvkar; 24 – Kargopol; 25 – Nyandoma; 26 – Kotlas; 27 – Veliky Ustyug; 28 – Totma; 29 – Nikolsk; 30 – Vologda.

The boundaries of the White Sea catchment are outlined

Изучение изменчивости климатического режима региона проводилось по данным наиболее длительных инструментальных наблюдений на метеорологических станциях (МС) и постах Федеральной службы РФ по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, расположенных на изучаемой территории, за период от начала наблюдений на станциях по 2017 г. включительно, представленным на сайте Все-

российского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ МЦД). Были использованы данные наблюдений на семи МС Карелии, пяти МС Мурманской области, десяти МС Архангельской и четырех – Вологодской областей, двух МС Ненецкого автономного округа и двух МС Республики Коми (рис. 1).

Для оценки возможных изменений климата и его влияния на экосистему Белого моря по данным о температуре воздуха, воды рек и моря, осадкам, водном стоке рек, впадающих в Белое море, также были использованы результаты длительных наблюдений, собранные на сети и в базе данных Росгидромета.

Для социо-экономических исследований субъектов РФ, входящих в Беломорье, использована информация из региональных и российских сборников [Охрана..., 2018] и с сайтов ФСГС и ее региональных подразделений, ведомств, научных институтов. Оценка состояния экономики была выполнена для каждого субъекта РФ, входящего в Беломорье, по единым требованиям федерального закона от 28 июня 2014 года № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» с учетом приказа Минэкономразвития России от 23 марта 2017 года № 132 «Об утверждении Методических рекомендаций по разработке и корректировке стратегии социально-экономического развития субъекта Российской Федерации и плана мероприятий по ее реализации» [Petrov et al., 2017].

Для оценки влияния развития экономики на окружающую среду использовались предложенные ранее мультипликативные модели и следующие показатели: динамика валового регионального продукта (ВРП), промышленного производства, инвестиций в экономику, природоохранных инвестиций, выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сбросов загрязненных сточных вод, потребления свежей воды и других [Дружинин и др., 2017]. Для оценки влияния климатических изменений на развитие таких секторов экономики, как лесное и сельское хозяйство, были построены модели, которые позволяют выявить оптимальные значения температуры и осадков для развития этих отраслей. Кроме того, использовались климатические, агротехнические и социально-экономические характеристики, в частности: температура воздуха, сумма активных температур и суммарные осадки в разные периоды, температура почвы, высота снежного покрова, количество минеральных и органических удобрений на гектар посевов, объем и динамика инвестиций в развитие сельского хозяйства, уровень развития экономики и другие [Дружинин и др., 2017, 2018; Прокопьев, Рослякова, 2017]. При создании базы данных основных экономических показателей для оценки динамики стоимостных показателей производился их перерасчет в сопоставимые цены через индексы цен, в некоторых расчетах использовались данные в процентах к опреде-

ленному 2015 году, значения показателей которого брались за 100 %. За отдельные годы информация по экономике отсутствовала, поскольку часть сведений оказались конфиденциальными [Дружинин и др., 2018]. Динамика рыболовства региона изучалась по литературным данным и сведениям ГБНУ «ВНИРО» «ГосНИОРХ».

Для расчетов использовалось лицензионное программное обеспечение Statistica 10 и Hydrostatcalc.

Результаты

Состояние и изменения климата Беломорья

Климат исследуемой территории можно охарактеризовать как субарктический на территории Ненецкого автономного округа; субарктический морской, имеющий черты континентального, – в Мурманской и северо-западной части Архангельской области; переходный от морского к континентальному – на территории Карелии и умеренно-континентальный – на территории Вологодской области и Республики Коми [Назарова, 2017].

Климатические нормы годовой температуры воздуха изменяются от 0 °С на побережье Баренцева и Белого морей, от –1 °С в районе Канина Носа и на северо-западе Архангельской области до –2 °С в центральной части и –3–4 °С в горных районах Кольского п-ова. Самые высокие значения нормы средней годовой температуры воздуха (+2,4...+2,6 °С) характерны для центральных районов Карелии и Вологодской области. Продолжительность безморозного периода увеличивается с севера на юг в среднем от 50–60 дней в Ненецком автономной округе и центральных районах Мурманской области до 120 дней на территории Вологодской области.

Однако если сравнить климатические нормы средней годовой температуры воздуха на водосборе Белого моря за стандартный климатический период 1961–1990 гг. и средние значения за 1991–2017 гг. для различных метеорологических станций, то можно сделать вывод, что в конце XX – начале XXI в. средние многолетние значения годовой температуры воздуха повсеместно превышают климатические нормы на 0,8–1,2 °С (рис. 2).

Также представляет интерес сравнение средних многолетних значений годовой температуры воздуха с нормами предыдущего стандартного периода 1931–1960 гг. для разных МС (табл. 1). Анализ представленных данных показывает, что в течение двух тридцатилетий под-

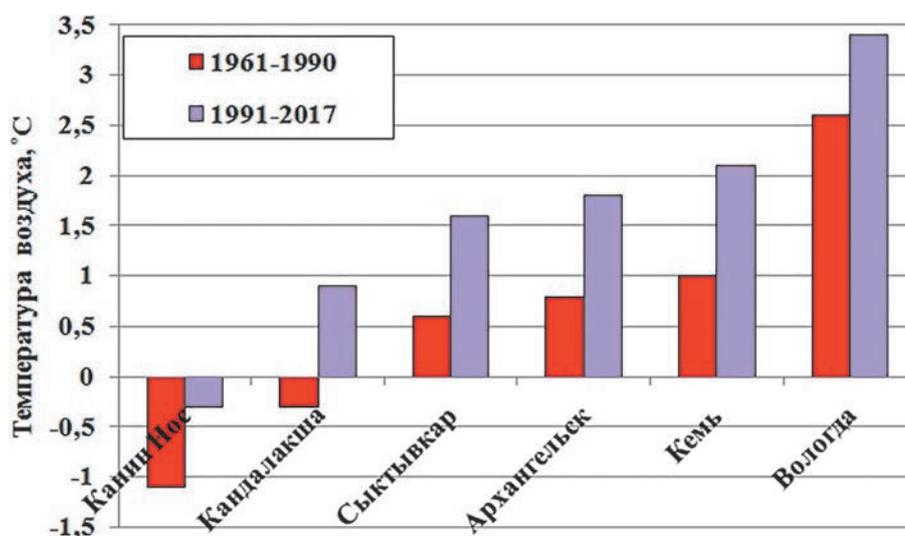


Рис. 2. Средняя годовая температура воздуха по данным метеорологических станций на водосборе Белого моря за периоды 1961–1990 и 1991–2017 гг.

Fig. 2. The average annual air temperature according to the meteorological stations of the White Sea catchment in 1961–1990 and 1991–2017.

ряд, 1931–1960 и 1961–1990 гг., климатические нормы менялись незначительно, а за период 1991–2017 гг. средние величины температуры воздуха возросли почти на 1 °С по сравнению с периодом 1931–1960 гг.

Анализ данных многолетних инструментальных наблюдений за приземной температурой воздуха на метеорологических станциях, расположенных на водосборе Белого моря, позволяет выявить общие черты и тенденции изменения средней годовой температуры в исследуемом районе в течение последнего десятилетия XIX – начале XXI в. Данные наблюдений свидетельствуют о почти синхронном характере изменчивости среднегодовой температуры воздуха по всему водосбору Белого моря (рис. 3).

Для анализа особенностей многолетней динамики значений годовой температуры воздуха

в исследуемом регионе данные наблюдений были представлены в виде аномалий (отклонений от климатической нормы). Результаты для отдельных станций приведены на рис. 4. С начала XX века изменения температуры воздуха не были однонаправленными. Рост температуры с начала века к середине 1950-х годов сменился похолоданием, в 1980-е годы тенденции начинают меняться, и начиная с 1989–1990 годов на территории водосбора Белого моря практически во все годы отмечаются положительные отклонения значений средней годовой температуры воздуха от климатической нормы. Для южных районов исследуемой территории (МС Вологда) в течение последнего десятилетия XIX и до конца XX в. указанные выше тенденции изменений были более сглажены, однако с начала XXI в. в этом районе также наблюдаются положительные аномалии температуры воздуха (рис. 4).

Оценка изменений средних многолетних значений температуры воздуха по месяцам показала, что для разных сезонов года температурный режим меняется неравномерно. Наибольшее повышение температуры характерно для зимних месяцев, особенно для января (средние значения за 1991–2017 гг. превышают климатические нормы на 1,7–2,5 °С) (табл. 2). Средние значения температуры воздуха по месяцам за последние 20 лет на территории водосбора Белого моря превышают климатическую норму во все месяцы, кроме ноября. В ноябре ряд станций (Вологда, Каргополь, Архангельск, Котлас, Сура, Шенкурск) не отмечают значи-

Таблица 1. Средняя годовая температура воздуха, °С
Table 1. Average annual air temperature, °С

Станция Station	1931–1960	1961–1990	1991–2017
Сыктывкар Syktyvkar	0,5	0,6	1,6
Архангельск Arkhangel'sk	1,4	0,8	1,8
Каргополь Kargopol	1,7	1,7	2,8
Онега Onega	1,7	1,5	2,6
Вологда Vologda	2,4	2,6	3,4

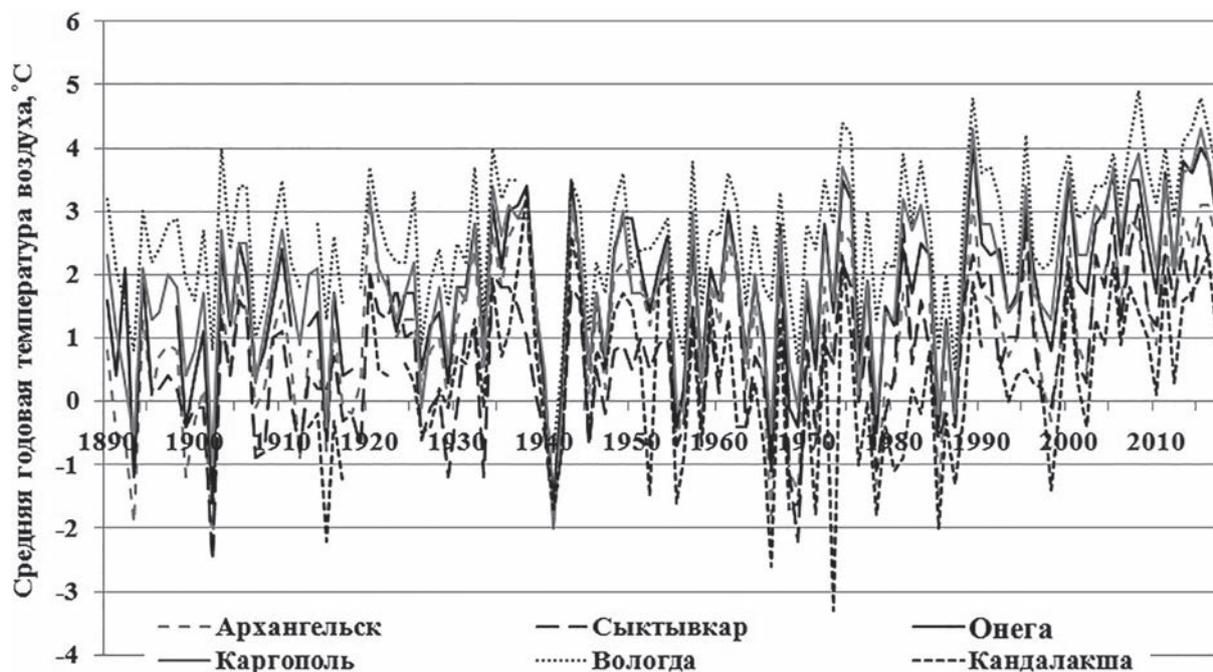


Рис. 3. Многолетняя динамика средней годовой температуры воздуха на водосборе Белого моря, °С. 1890–2017 гг.

Здесь и далее: по оси абсцисс – годы

Fig. 3. Long-term dynamics of the average annual air temperature of the White Sea catchment, °C. 1890–2017

Hereinafter: abscissa – years

мых изменений в температурном режиме этого месяца.

В зимние месяцы, для которых характерно наибольшее повышение средних месячных значений температуры воздуха, отмечается повсеместное уменьшение числа дней без оттепели. Днем без оттепели считается день с максимальной суточной температурой воздуха не выше 0 °С. Сокращение числа дней без

оттепели на 6–12 дней в течение зимнего сезона отмечается повсеместно на территории водосбора Белого моря. Тенденции к снижению числа дней без оттепели отмечаются с начала 2000-х годов.

Оттепели на территории водосбора Белого моря наблюдаются в холодный период года при прохождении циклонов, образовавшихся над Атлантикой. Усиление западного переноса

Таблица 2. Средняя месячная температура воздуха (°С)

Table 2. Average monthly air temperature (°C)

Месяц Month	Кандалакша Kandalaksha		Архангельск Arkhangelsk		Вологда Vologda	
	1961–1990	1991–2017	1961–1990	1991–2017	1961–1990	1991–2017
I	-13,5	-11,5	-14,5	-12,0	-12,8	-10,3
II	-12,9	-11,1	-12,2	-11,0	-10,8	-9,5
III	-7,7	-6,1	-6,2	-5,5	-4,6	-4,1
IV	-1,8	-0,7	-0,2	0,7	2,8	3,7
V	4,2	5,2	6,5	7,4	10,4	10,8
VI	10,1	11,4	12,6	13,1	14,8	15,2
VII	14,4	14,9	15,8	16,5	17,0	17,8
VIII	11,9	12,5	13,2	13,6	14,7	15,1
IX	6,7	7,6	7,8	8,7	9,0	9,7
X	0,9	1,4	1,6	2,5	3,0	3,4
XI	-5,6	-4,7	-4,6	-4,5	-3,4	-3,3
XII	-10,7	-8,4	-10,3	-8,4	-8,9	-7,4

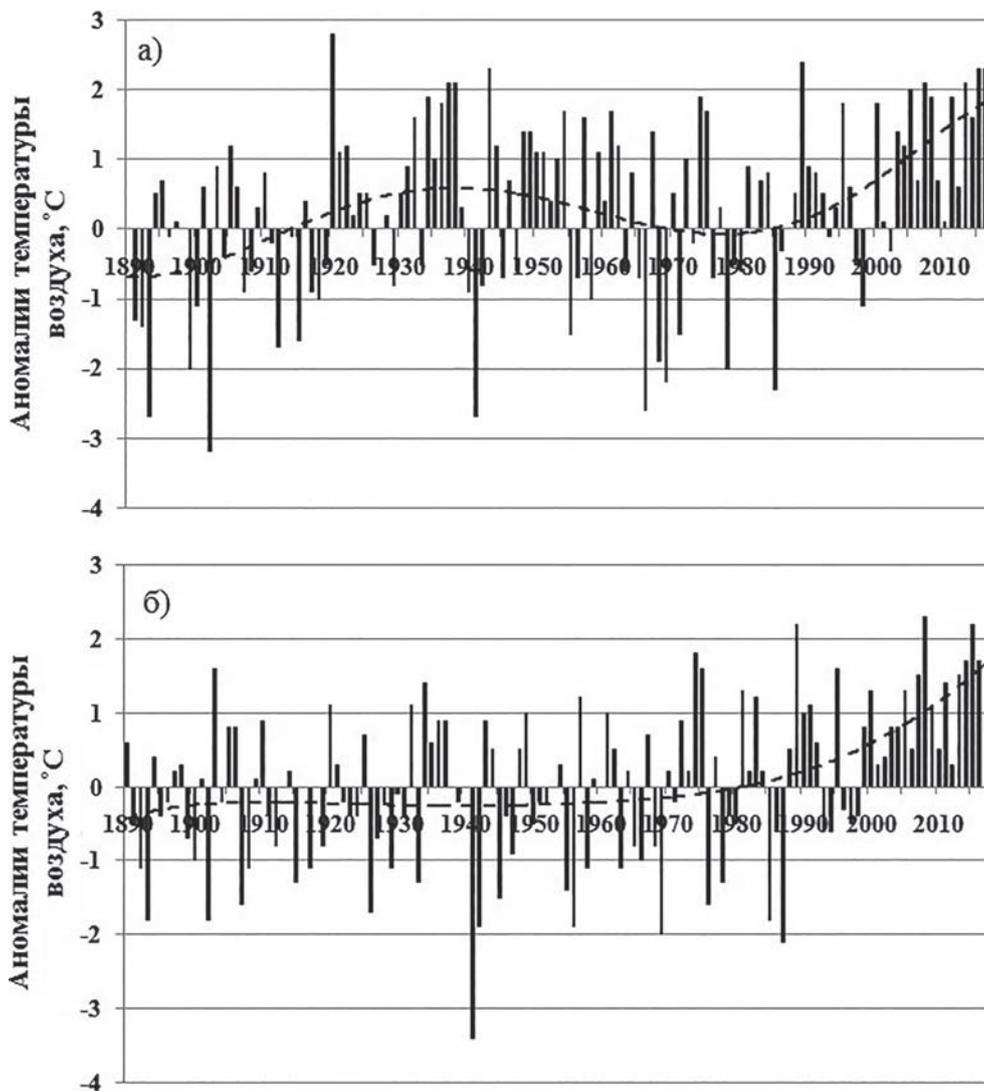


Рис. 4. Отклонения средней годовой температуры воздуха от климатической нормы (1961–1990), °С, МС Архангельск (а) и МС Вологда (б). Пунктирная линия – полиномиальный тренд 6-й степени. 1890–2017 гг.

Fig. 4. Deviations of the average annual air temperature from the climatic norm (1961–1990), °C, Arkhangelsk MS (a) and Vologda MS (b). The dotted line – polynomial trend of the 6th degree. 1890–2017

и циклонической активности определяет понижение атмосферного давления. Анализ данных наблюдений показывает, что именно в зимние месяцы отмечается понижение атмосферного давления относительно климатической нормы, что происходит в условиях поступления теплых и влажных атлантических воздушных масс [Назарова, 2017].

Вся территория водосбора Белого моря расположена в зоне избыточного увлажнения. Годовое количество осадков колеблется от 400 мм на севере Ненецкого автономного округа до 500–650 мм в Вологодской области и Карелии и 700 мм на территории Республики Коми. В горных районах Мурманской области

за год выпадает 900–1300 мм атмосферных осадков [Назарова, 2017].

Согласно данным Второго оценочного доклада Росгидромета об изменениях климата на территории Российской Федерации [IPCC, 2014], за период 1936–2010 гг. отмечается увеличение годовых сумм осадков практически на всей территории европейской части России (ЕЧР). На водосборе Белого моря средние значения годовых сумм атмосферных осадков за 1991–2017 гг. превышают климатические нормы на 40–80 мм. Однако по данным наблюдений отдельных метеорологических станций (Жижгин, Койнас, Тотьма, Вологда, Сура), в начале XXI века отмечалась слабая тенденция

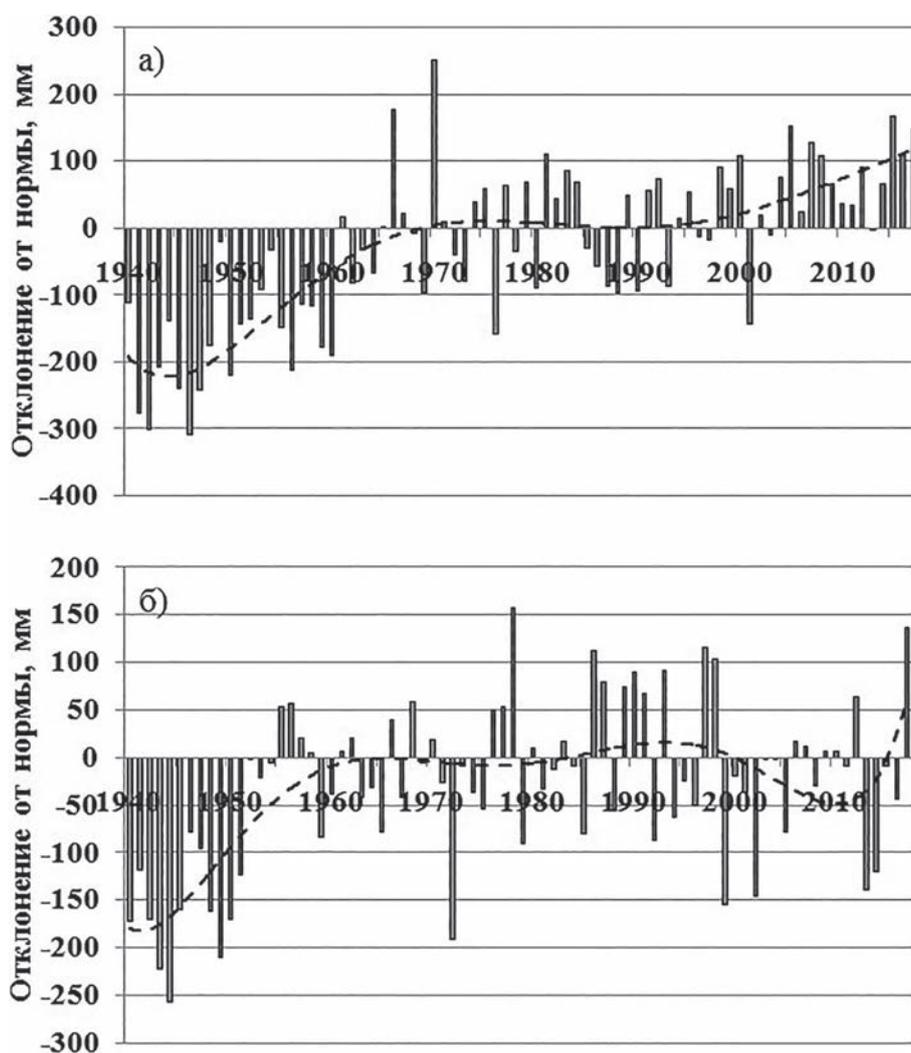


Рис. 5. Отклонения годовых сумм атмосферных осадков (мм) от климатической нормы (1961–1990 гг.), МС Кандалакша (а) и МС Вологда (б). 1940–2017 гг.

Fig. 5. Deviations of annual precipitation (mm) from the climatic norm (1961–1990), Kandalaksha MS (a) and Vologda MS (b). 1940–2017

к уменьшению средних многолетних годовых значений. Оценивая отклонения от нормы годовых сумм атмосферных осадков по данным измерений, проводившихся на метеостанциях, можно сделать следующие выводы. До 1960 г. годовые суммы измеренных осадков были значительно ниже нормы, что объясняется недоучетом осадков в этот период из-за существовавшей в то время практики измерений. В последние 17–20 лет, по данным наблюдений большинства станций (кроме указанных выше), преобладают положительные аномалии годовых сумм атмосферных осадков (рис. 5).

Количество твердых осадков за год (снег, крупа, снежные зерна, ледяной дождь, град), по данным наблюдений всех метеостанций, расположенных на водосборе Белого моря, значительно сократилось (в среднем на 30–50 мм).

При этом повсеместно возросла доля смешанных осадков (мокрый снег, дождь со снегом). Увеличение доли смешанных осадков хорошо согласуется с увеличением повторяемости оттепелей в течение холодного периода года.

Также отмечены изменения во внутригодовом режиме выпадения твердых осадков. Начало периода с твердыми осадками в осенний сезон сместилось на месяц позже. Окончание этого периода весной также отмечается на месяц раньше: для северных районов водосбора Белого моря – в мае, для южных – в апреле. Таким образом, продолжительность периода, в течение которого наблюдается выпадение твердых осадков, сократилась примерно на два месяца на всей территории Беломорья.

Сравнение данных наблюдений в течение 1991–2017 гг. с климатической нормой пока-

зывает, что в обозначенный период число дней со снежным покровом было несколько ниже или соответствовало средним многолетним значениям, средняя декадная высота снежного покрова также была в пределах климатической нормы.

Таким образом, анализ данных многолетних наблюдений за основными параметрами и характеристиками климата позволяет сделать следующие выводы. Начиная с 1989 года на территории водосбора Белого моря преобладают положительные аномалии средней годовой температуры воздуха (1–2 °С). Наиболее интенсивное потепление отмечается в зимние месяцы, что сопровождается частым наступлением оттепелей при прохождении циклонов, сформировавшихся над Атлантикой. Усиление западного переноса и циклонической активности является причиной понижения атмосферного давления, особенно в холодный период года. Анализ изменений количества осадков в районе исследований показывает, что в целом наблюдается рост годовых сумм выпавших атмосферных осадков (в среднем на 40–80 мм за год). Высота снежного покрова и продолжительность его залегания в основном находятся в пределах климатических норм. Все эти изменения должны сказываться на состоянии окружающей среды Беломорья.

Изменчивость стока и температуры воды рек бассейна Белого моря

По данным наблюдений за 1950–2015 гг. была изучена изменчивость стока и температуры воды рек Беломорья. Для выполнения гидрологических расчетов использовались ряды по стоку 24 рек – притоков Белого моря, наиболее изученных в гидрологическом отношении. Рассмотрен анализ изменчивости среднегодового стока, оценены линейные тренды и другие вероятностные характеристики. На рис. 6 представлены графики изменчивости и линейные тренды среднегодовых значений стока рек за период 1950–2015 гг.

Анализ данных показал, что колебания годового стока рек на водосборе Беломорья различны по цикличности, линейным трендам. Для большинства рек отмечено незначительное увеличение годового стока, а для рек Мезень и Сума – его уменьшение. Изменения стока за последние десятилетия (после 1977 г.) по отношению к предыдущему периоду для всех водотоков незначительны (в пределах ошибки их оценки) и разнонаправлены. В работе [Георгиевский, 2015] показано, что климатические изменения оказывают небольшое влия-

ние на многолетние колебания речного стока и очень значительное влияние на внутригодичное его распределение. Как и для преобладающей части стока рек ЕЧР, водность большинства рек на водосборе Беломорья несколько увеличилась. В этой же статье показано, что отмечаются значимые положительные тренды зимнего стока, при этом существенно увеличилась его изменчивость. Установлено, что повышение зимней температуры привело к уменьшению глубины промерзания почвы и увеличению ее дренирующих свойств, возрастанию количества и продолжительности зимних оттепелей, во время которых происходит снеготаяние и водоотдача из снежного покрова, пополнение запасов грунтовых вод и формирование поверхностного стока.

На рис. 7 представлен хронологический график изменчивости суммарного годового стока рек (по 24 рекам) в Белое море за период 1956–2015 гг., на котором прослеживается незначительный положительный линейный тренд.

В период наибольшего потепления климата с 1987 по 2015 гг. суммарный годовой сток на водосборе варьировал в пределах 200–310 км³/год при среднем многолетнем значении 230 км³/год.

Изменения климата отразились также и на изменении температуры воды рек, впадающих в Белое море. На рис. 8 показана изменчивость среднегодовой температуры воды в поверхностном слое рек по результатам наблюдений за 1960–2015 гг.

Прослеживается постепенное уменьшение температуры воды с 1960 по 1980 гг., а начиная с середины 1980-х годов (при потеплении климата) – ее увеличение в среднем на 1 °С. Изменения температуры поверхности воды (ТПВ) рек когерентны изменениям температуры воздуха на водосборах рассматриваемых рек (квадрат когерентности 0,80). Отмечаются также квазициклические, относительно короткопериодные (несколько лет) флуктуации, как и относительно короткопериодные изменения температуры воздуха.

Похожие тенденции отмечаются и в изменениях ТПВ Белого моря по данным измерений на гидрометеостанциях и постах [Белое..., 2007]. А. В. Толстиком [2016] были изучены особенности ТПВ Белого моря в интервалах межгодовой, внутригодовой, сезонной, синоптической и мезомасштабной изменчивости. Установлено, что основной вклад в изменчивость межгодовых колебаний вносят квазидвухлетние и квазипятилетние колебания.

Инструментальные измерения температуры воды, выполненные на постоянной вер-

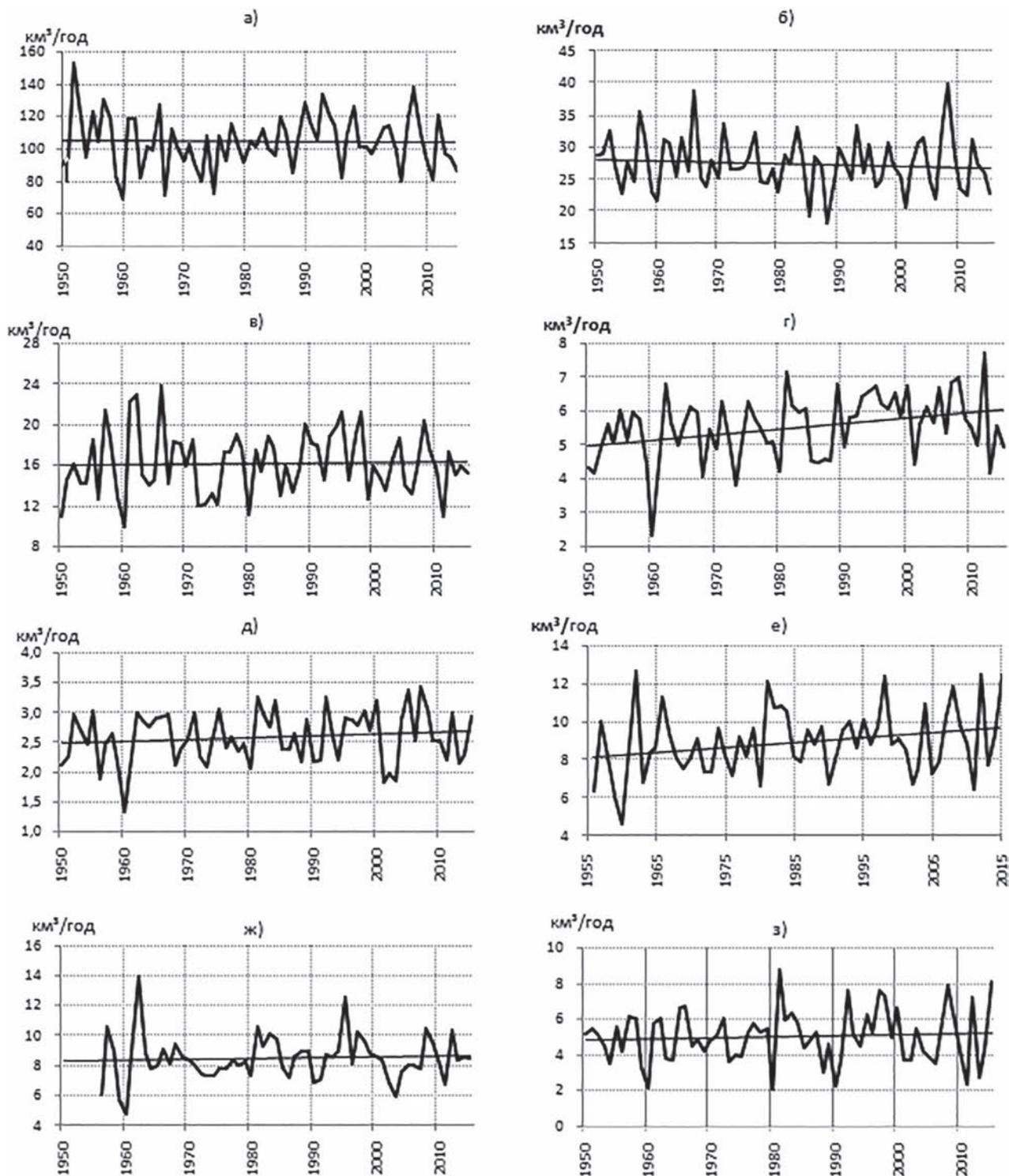


Рис. 6. Изменчивость среднегодовых значений стока рек Беломорья за 1950–2015 гг.:

а) Северная Двина; б) Мезень; в) Онега; е) Поной; д) Умба; е) Кемь; ж) Выг; з) Гридина. Линейные тренды показаны прямой линией

Fig. 6. Variability of the average annual White Sea rivers runoff in 1950–2015:

a) Northern Dvina; b) Mesen; c) Onega; e) Ponoj; e) Umba; e) Kem; g) Vyg; h) Gridina. Linear trends are shown by the straight line

тикали ЗИН РАН (станция Д-1, 66°19'50" N, 33°40'06" E) на горизонтах 0, 5, 10, 25, 50 и 65 м, показали, что наиболее низкие значе-

ния среднегодовой температуры воды Белого моря отмечались в середине 60-х и конце 70-х, а максимальные – в конце 80-х и сере-

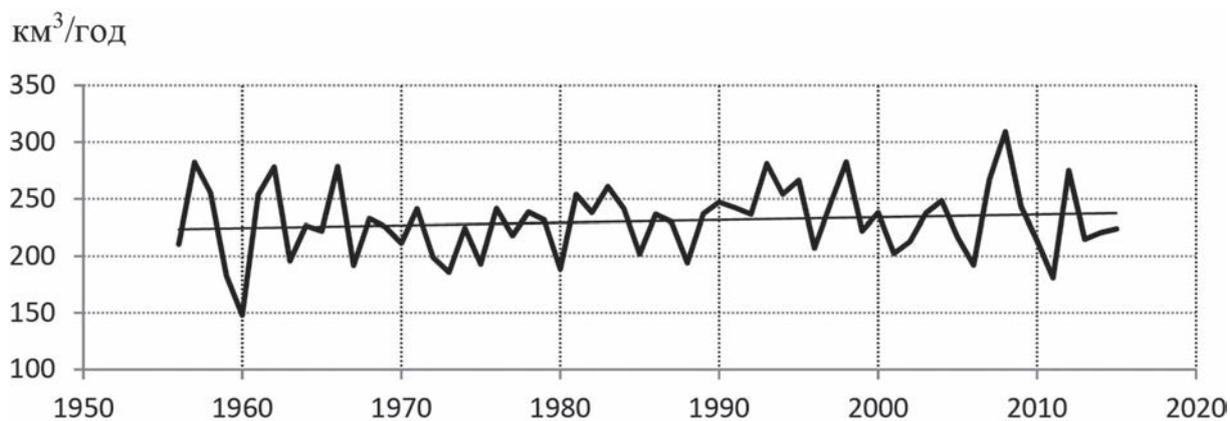


Рис. 7. Изменчивость и линейный тренд суммарного годового стока в Белое море за период 1956–2015 гг.

Fig. 7. Variability and the linear trend of the total annual runoff to the White Sea in 1956–2015

дине 90-х годов XX в. Изменения температуры воды в придонном горизонте на глубине 65 м за 1977–2008 гг. имеют заметный тренд, как и изменения температуры воздуха. В придонном горизонте отмечается увеличение температуры воды на 0,5 °С, что согласуется с тенденциями изменений климата [Толстикова, 2016].

Длительные измерения температуры воды всей толщи моря в других районах Белого моря отсутствуют. Для характеристики изменчивости температуры воды всей толщи вод Белого моря использовались также данные расчетов ТВ на 3D-модели JASMINE, верифицированной по данным измерений [Толстикова и др., 2018]. Это важно для того, чтобы оценить возможности влияния изменений температуры воды на экосистему, в особенности на рыб, обитающих не только в пелагиали, но и в бентали.

Изменения рыбного промысла под влиянием климата и экономики Беломорья

Рыболовство в Белом море начиная с XVI–XVII вв. является одной из основ развития экономики Поморья. На особенности развития рыбопромысловой отрасли региона оказывали и оказывают влияние не только природные климатические процессы, но и экономика. Последние 25–30 лет работа рыбопромысловой отрасли Беломорья подвержена весьма резким изменениям, происходящим из-за социально-экономических процессов и особенностей законодательства (лицензирование, квоты, запреты на вылов) [Фомин, 2016; Арктические..., 2018; Куценко, 2018]. К концу XX в. по сравнению с его началом численность населения Беломорского региона, занятого в рыбном промысле, сократилась почти на порядок [Стасенков, 2016]. По состоянию на 2010 г. морской промысел в Белом море осуществлялся более

чем 40 компаниями и индивидуальными предпринимателями. Суммарный улов составлял около 800 т/год, для сравнения – в 1950-х годах суммарные уловы одной только сельди составляли 4–4,5 тыс. т, а общие уловы наваги в начале 1980-х годов достигали 2,5 тыс. т/год. К тому же Росрыболовство периодически вводило и продолжает вводить сезонные ограничения на вылов различных промысловых рыб Белого моря с учетом рационального использования биологических ресурсов. Уловы пелагических и донных рыб подвержены значительной временной изменчивости. При этом рыбопромысловая отрасль Беломорья, как и ранее, имеет существенное значение для жизни населения прибрежных районов Белого моря. Специалисты отмечают [Дроздов и др., 2012; Стасенков, 2016; Тарвердиева и др., 2000], что установить закономерности, причины изменчивости объемов уловов промысловых рыб Белого моря с 1991 г. по настоящее время представляется затруднительным из-за недостатка продолжительных статистически достоверных данных об уловах. Лишь в последние годы отмечаются определенные положительные тенденции усиления внимания государства к освоению различных ресурсов Арктического региона местным населением [Куценко, 2018].

В работах [Дроздов и др., 2012; Состояние..., 2014; Филатов и др., 2014] исследуется влияние климатических факторов на рыболовство в Белом море. В работе [Дроздов и др., 2012] показано, что величины уловов основных промысловых рыб Белого моря демонстрируют статистически достоверную связь с динамикой показателей атмосферной циркуляции, которые в свою очередь оказывают определяющее влияние на температурный режим региона. При потеплении климата в регионе с запаздыванием от 2 до 4–5 лет отмечается увеличение уло-

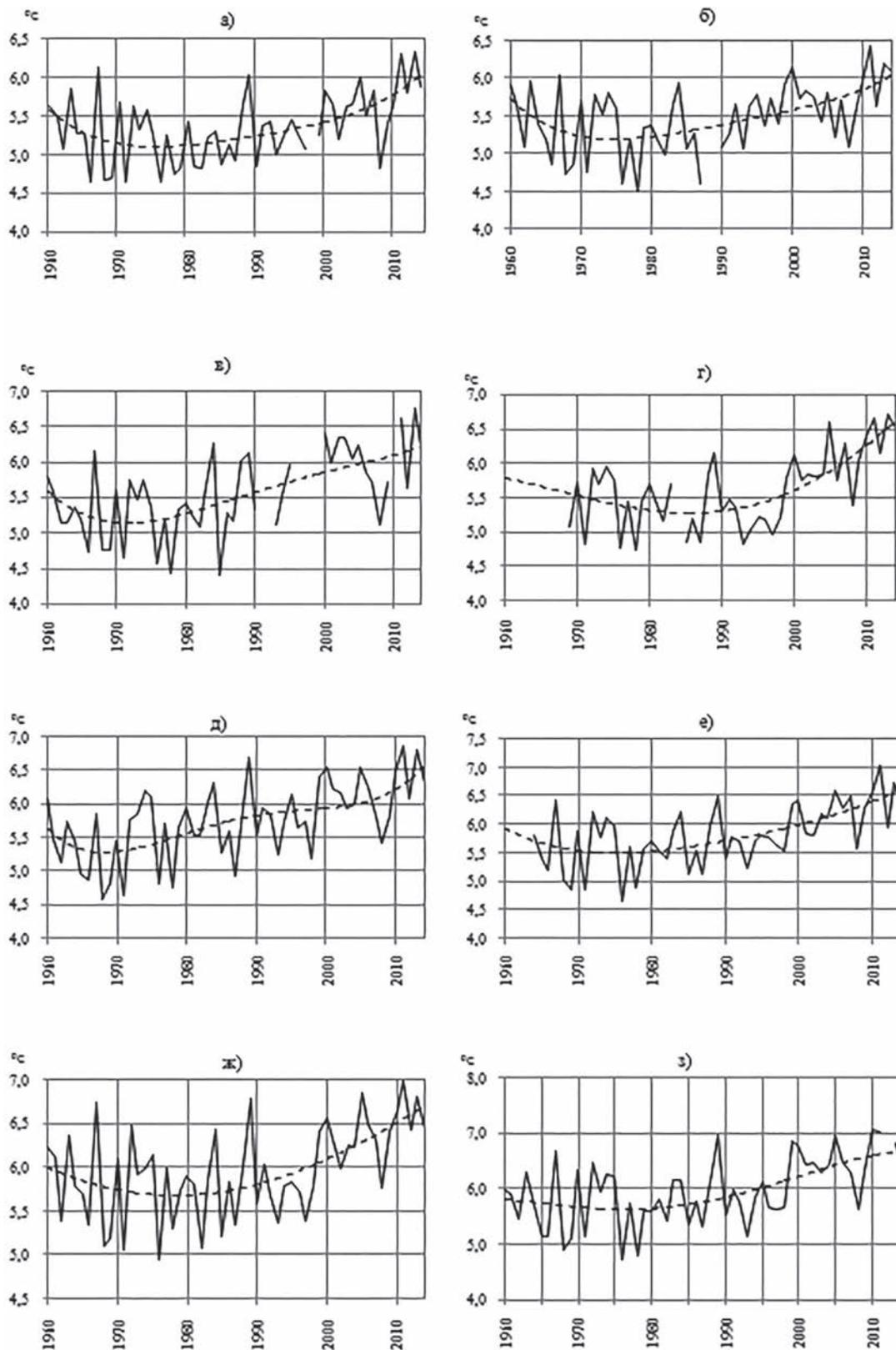


Рис. 8. Изменчивость среднегодовой температуры воды в поверхностном слое на реках Беломорья по данным наблюдений за 1960–2015 гг.:

а) Гридина, б) Кузема, в) Поньгома, г) Кемь, д) Шуя, е) Нижний Выг, ж) Сума, з) Нюхча

Fig. 8. Variability of the average annual water temperature in the surface layer of the White Sea rivers according to the observations in 1960–2015:

a) Gridina, б) Kuzema, в) Pongoma, г) Kem, д) Shuya, е) Lower Vyg, ж) Suma, з) Nyukhcha

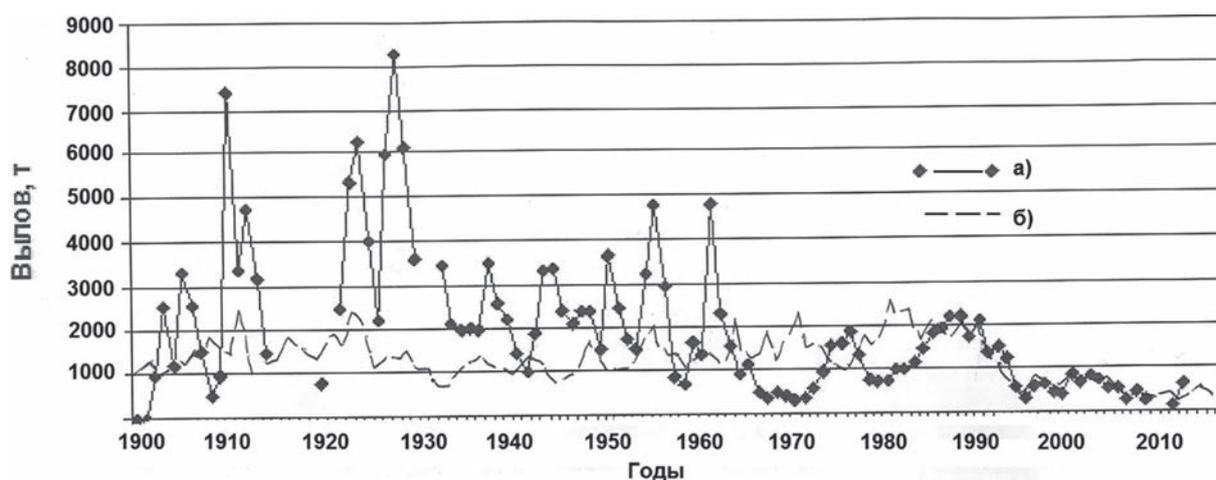


Рис. 9. Вылов сельди (а) и наваги (б) в Белом море с 1900 по 2013 г. (запас рассчитан на основании: до 1990 г. – фактических уловов, после 1990 г. – экспертных данных). По данным: [Стасенков, 2012, 2017]

Fig. 9. The catches of the herring (a) and navaga (b) in the White Sea from 1900 to 2013 (the stock was calculated on the basis of: before 1990 – actual catches, after 1990 – expert data). After: [Stasenkov et al., 2012, 2017]

ва рыб бореального происхождения – прежде всего сельдевых. Для промысловых холодолюбивых рыб арктического происхождения, среди которых навага и мойва, потепление сказывается на воспроизводстве и уловах неблагоприятно. А с середины 1990-х гг. уменьшение уловов объясняется не только климатическими причинами, но и неблагоприятными социально-экономическими условиями [Дроздов и др., 2012].

В настоящее время в Белом море промысловое значение имеют только примерно 10 видов рыб [Поморские..., 2011]. Основными объектами промысла являются пелагические рыбы, такие как навага, беломорская сельдь, корюшка, а также донные рыбы – треска, пинагор, полярная камбала и речная камбала. Запасы сельди испытывают резкие колебания [Тарвердиева и др., 2000; Стасенков, 2016] под влиянием циклических изменений как абиотических, так и биотических факторов среды, в первую очередь термического режима, наличия нерестового субстрата (зоостеры) и условий откорма (рис. 9, а).

Уловы сельди достигали максимальных значений в период Первой мировой войны (1914–1916 г.), в 30-х годах XX столетия во время интенсивного индустриального строительства, а также в 1960-х годах. При резком изменении экономики в 1991 г. резко упали уловы, которые с 1990 по 2012 г. сократились с 2000 до 143 т. Также сократилось число рыбаков при уменьшении населения рыбацких деревень к концу XX века в 6–8 раз [Стасенков, 2016]. Как видно из рис. 9, а и б, до начала 1990-х годов уловы наваги в Белом море были ниже уловов сельди, а после 1991 г. уловы этих рыб сопоставимы.

В начале 90-х годов XX в. практически по всем промысловым объектам произошло существенное снижение добычи при переходе на новые формы хозяйствования. Добыча многих объектов стала малорентабельной или убыточной. Число промысловых орудий при добыче наваги в Белом море сократилось, резко возросло браконьерство из-за новой системы хозяйствования, законодательной базы вылова (квоты, лицензии, сроки вылова) [Куценко, 2018]. Менее значительно сократился вылов в Онежском заливе, где на Карельском берегу места промысла располагаются в непосредственной близости от рынков сбыта и наиболее развита прибрежная транспортная инфраструктура.

По данным исследований [Чугайнова, 2014; Толстикова, 2016], в последние годы в Белом море наблюдается увеличение амплитуд межгодовой и сезонной изменчивости гидрометеорологических параметров. Это сказывается на особенностях изменений экосистем моря, что в дальнейшем повлияет на запасы донных и пелагических видов рыб [Дроздов и др., 2012; Чугайнова, 2014]. Из абиотических факторов наибольшее влияние на выловы рыб имеет изменчивость температуры воды. В целях выявления главной причины, воздействующей на скорость роста наваги Онежского и Двинского заливов, в качестве индикатора продолжительности сезона ее нагула в работе [Стасенков, 2016] была выбрана средняя температура поверхностного слоя воды в апреле, а индикатором, отражающим величину кормовой базы и доступность корма, – средняя температура воды за вегетационный период (май–сентябрь). Для наваги – рыбы арктического происхожде-

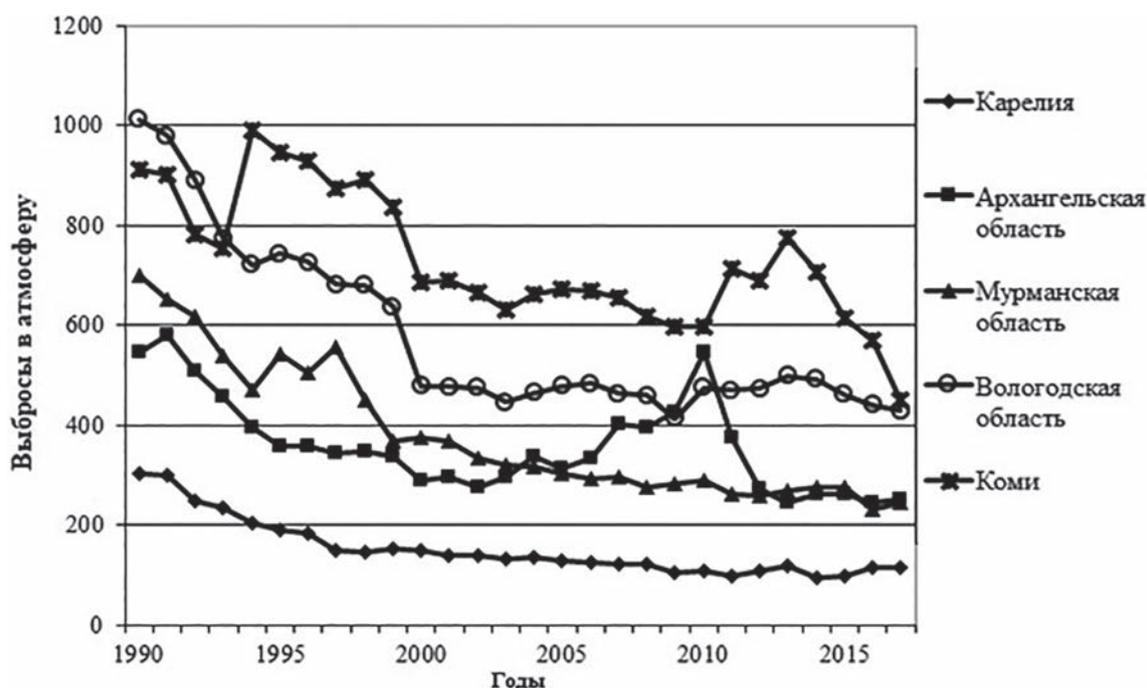


Рис. 10. Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников по регионам Беломорья (млн м³), по данным ФСГС

Fig. 10. Dynamics of pollutants emissions into the atmosphere from the stationary sources in the White Sea regions (mln m³) according to the Federal State Statistics Service

ния (условно холодолюбивой) – чрезмерный летний прогрев вод при потеплении климата в регионе неблагоприятно отражается на условиях откорма, т. к. ей приходится покидать мелководную прогреваемую зону моря с богатой кормовой базой и опускаться в более глубокие районы с низкими температурами воды и слабой кормовой базой [Стасенков, 2016].

В работах, посвященных улучшению ситуации с выловом рыб Белого моря и разработке мер по повышению промысловой продуктивности [Горнова, 2016; Стасенков, 2016; Фомин, 2016; Меншуткин и др., 2018], отмечается необходимость восстановления уровня воспроизводства, усиления борьбы с загрязнением, устранения препятствий на пути нерестовых миграций, создания и использования искусственных нерестовых субстратов и нерестилищ, мелиорации мест промысла макрофитов, интенсивного развития марикультуры, а также увеличения инвестиций в отрасль.

О влиянии изменений экономики на состояние водосбора

Ситуация с состоянием окружающей среды Беломорья заметно улучшилась в 1990-х годах за счет значительного спада производства, которое уменьшилось почти наполовину [Дружинин и др., 2017, 2018]. В период роста

экономики с 1999 г. уменьшение воздействия на окружающую среду продолжилось – например, выбросы в атмосферу от стационарных источников уменьшились за последние десять лет на 15 %. В результате объем выбросов в атмосферу на единицу продукции уменьшился относительно 1990 г. примерно в два раза в большинстве регионов. Сбросы загрязненных сточных вод уменьшились за десять лет немного больше, но ситуация в регионах разная.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу уменьшились во всех регионах (рис. 10). Наиболее заметное сокращение произошло в Мурманской области – в три раза и в Карелии – в 2,5 раза. В то же время в Республике Коми выбросы уменьшились лишь на треть, а поскольку объемы производства в регионе не достигли дореформенного уровня, то на единицу производства выбросы уменьшились лишь на пятую часть. Наибольшие выбросы в атмосферу – в небольших городах, промышленных центрах Воркуте, Усинске, Костомукше и Печенге. Отметим такую особенность структуры экономики северных регионов, как высокая доля добычи полезных ископаемых, металлургии, энергетики и производства бумаги, являющихся причиной значительных выбросов в атмосферу. Их величина на единицу продукции существенно превышает среднероссийский уровень.

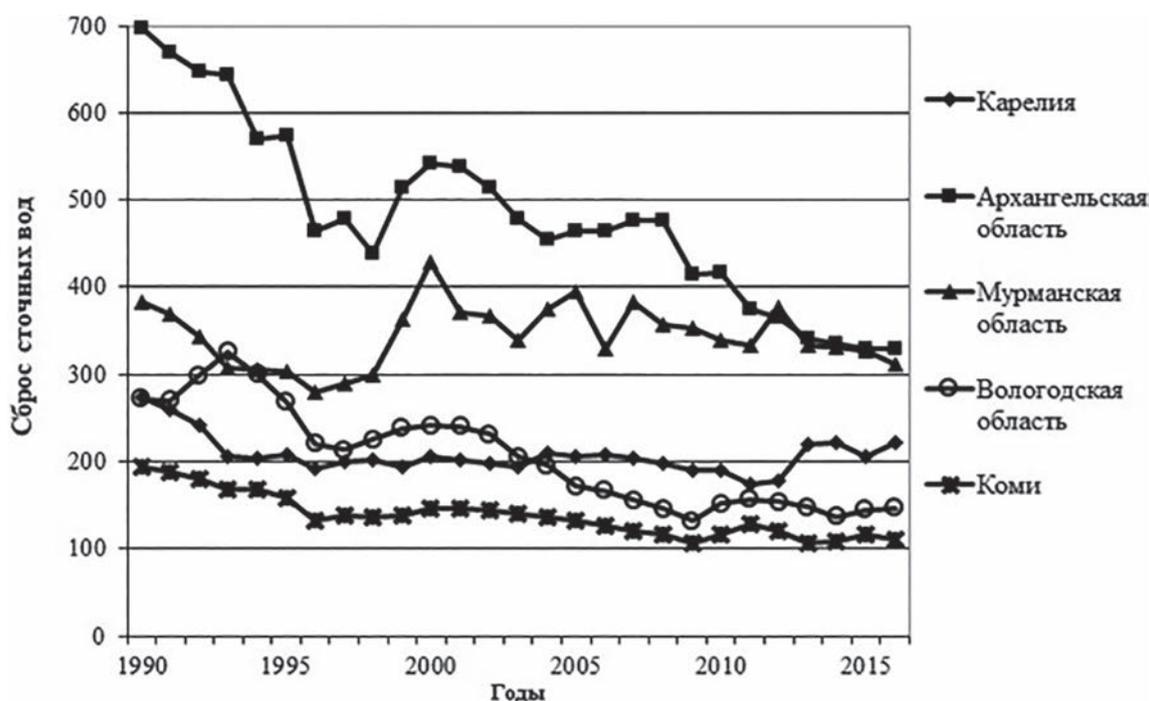


Рис. 11. Динамика сбросов загрязненных сточных вод по регионам Беломорья (млн м³), по данным ФСГС

Fig. 11. Dynamics of polluted wastewater discharges in the White Sea regions (mln m³) according to the Federal State Statistics Service

Спад экономики в начале 1990-х годов привел к значительному уменьшению сбросов загрязненных сточных вод, но с ростом экономики они снова стали увеличиваться, лишь с 2001 г. приход новых технологий привел к медленному улучшению ситуации (рис. 11). Примерно 2/3 сбросов загрязненных сточных вод приходится на два региона – Архангельскую и Мурманскую области, причем снижение сбросов в последнее десятилетие происходит только в Архангельской области. Соответственно, если в ней объем сбросов на единицу продукции снизился в два раза, то в других регионах он практически не уменьшился.

Водопотребление во всех регионах сокращается, более заметно в 1990-х годах, а в за 1990–2017 гг. оно уменьшилось почти в два раза. Анализ зависимости динамики загрязнений от изменения экономических показателей позволил выделить два периода – быстрый спад потребления воды при снижении валового национального продукта (ВВП) до 1999 г., а затем рост ВВП, который сопровождается небольшим снижением потребления воды. Аналогичные зависимости существуют и по двум другим показателям – выбросам в атмосферу и сбросам сточных вод (рис. 10, 11). Улучшение экологической ситуации в 1990-е годы происходило за счет спада экономики, а в 2000-х

годах – частично из-за изменения структуры экономики и природоохранных инвестиций, а в основном из-за модернизации экономики, роста инвестиций в новые современные производства. Фактически экономическое развитие регионов осуществлялось в эти годы на новой технологической основе, модернизировались действующие предприятия, строились новые на базе современных технологий, ускоренно развивалась сфера услуг. В результате происходило уменьшение воздействия на окружающую среду [Дружинин, 2014].

Среди секторов экономики последствия изменения климата в первую очередь заметны в сельском и лесном хозяйстве страны [Seo, 2013; Шкиперова, Дружинин, 2011]. Наши расчеты показали [Дружинин и др., 2018], что на водосборе Белого моря потепление приводит к росту урожайности большинства основных сельскохозяйственных культур, а также индексов производства, в отличие от более южных регионов ЕЧР. В то же время для лесного хозяйства и некоторых других отраслей потепление снижает доступность природных ресурсов и отрицательно сказывается на объемах производства. Ожидается, например, что потепление климата за последующие 30 лет приведет к увеличению продуктивности бореальных (таежных) лесов [Прокопьев, Рослякова, 2017].

Так, в Архангельской области прогнозируется увеличение радиальных приростов сосны, но при этом там же прогнозируется рост интенсивности усыхания ели. Бореальные леса будут расширяться на север и после 2050 г., заменяя до 50 % территории, занимаемой в настоящее время тундрой. В то же время потепление ведет к сокращению срока службы зимников и снижению доступности территорий, где лесозаготовки возможны только зимой, т. е. к экономическим потерям [Прокопьев, Рослякова, 2017]. Среди негативных эффектов изменения климата на лесное хозяйство отмечается проникновение новых лесных вредителей и болезней на территории с древостоями, не обладающими выработанными защитными механизмами [Королева и др., 2015]. Кроме лесного сектора к зависимым от погодных и климатических условий секторам экономики Российской Арктики относят добычу полезных ископаемых, энергетику, транспорт и туризм, которые в данный момент развиваются в Беломорье [Бугмырин и др., 2013; Назарова, 2017; Дружинин и др., 2018].

Заключение

По данным многолетних наблюдений за основными параметрами и характеристиками климата показано существенное потепление климата на водосборе Белого моря за последние 30 лет. Начиная с 1989 года на этой территории преобладают положительные аномалии средней годовой температуры воздуха (1–2 °С). Наиболее интенсивное потепление отмечается в зимние месяцы, что сопровождается частым наступлением оттепелей при прохождении циклонов, сформировавшихся над Атлантикой. Усиление западного переноса и циклонической активности является причиной понижения атмосферного давления, особенно в холодный период года. Анализ изменений количества осадков в районе исследований показывает, что в целом наблюдается рост годовых сумм выпавших атмосферных осадков (в среднем на 40–80 мм за год). Высота снежного покрова и продолжительность его залегания в основном находятся в пределах климатических норм. При потеплении климата не обнаружено значительных изменений (отсутствует значимый тренд) среднегодового стока рек, но оказалось заметным повышение температуры воды рек и Белого моря, что должно отражаться на его экосистемах [Белое..., 2007].

Анализ данных показывает, что колебания годового стока для разных рек на водосборе различны по цикличности, направлению линии

трендов. Для большинства рек с 1950 по 2015 г. отмечено небольшое увеличение годового стока, а для таких рек, как Мезень, Сума, – его уменьшение. Изменения стока рек за последние десятилетия (после 1977 г.) по отношению к предыдущему периоду для всех водотоков незначительны (в пределах ошибки их оценки) и разнонаправлены.

Результаты исследования изменчивости среднегодовой температуры воды в поверхностном слое на реках Беломорья показывают ее постепенное уменьшение с 1960 по 1980 г., начиная с середины 1980-х годов при потеплении климата на водосборе – ее увеличение в среднем на 1 °С. Изменения температуры воды когерентны изменениям температуры воздуха на водосборах рассматриваемых рек (квадрат когерентности 0,80).

Наиболее низкие значения среднегодовой температуры воды Белого моря отмечались в середине 60-х и конце 70-х, а максимальные – в конце 80-х и середине 90-х годов XX в. Изменения температуры воды в придонном горизонте на глубине 65 м имеют заметный тренд, как и изменения температуры воздуха, за период с 1977 по 2008 г. В придонном горизонте отмечается увеличение температуры воды на 0,5 °С, что согласуется с тенденциями изменений климата.

С середины 1990-х годов уменьшение уловов в Белом море объясняется не только климатическими причинами, но и неблагоприятными социально-экономическими условиями [Дроздов и др., 2012; Фомин, 2016; Дружинин и др., 2018]. Последние 25–30 лет работа рыбопромышленной отрасли Беломорского региона подвержена весьма резким изменениям, происходящим из-за социально-экономических процессов и особенностей законодательства (лицензирование, квоты, запреты на вылов). Отмечается, что величины уловов основных промысловых рыб Белого моря демонстрируют статистически достоверную связь с изменениями климата, и в первую очередь с температурным режимом региона. При потеплении климата в регионе с запаздыванием на несколько лет отмечается увеличение улова рыб бореального происхождения – прежде всего сельдевых. Из абиотических факторов наибольшее влияние на выловы наваги и сельди – основных объектов промыслового лова – имеет температура воды. Потепление климата и повышение температуры воды в море неблагоприятно сказываются на продуктивности наваги – рыбы арктического происхождения, поскольку ей приходится покидать мелководную прогреваемую зону моря с богатой кормовой базой и опу-

скаются в более глубокие районы с низкими температурами воды и слабой кормовой базой.

По данным государственной статистики, по большинству показателей экологическая ситуация в Беломорье за последние 30 лет улучшалась. В 1990-е годы – за счет спада экономики, а в 2000-х годах – из-за изменения структуры экономики, а также инвестиций в модернизацию производств и природоохранные мероприятия.

Полученные выше данные используются для разработки когнитивной модели региона, включающей в себя оценку влияния рыболовства на проживание населения в условиях климатических изменений и разных сценариев развития экономики.

Работа выполнена по гранту РФФИ «Арктика» № 18-05-60296.

Благодарим за помощь сотрудников ИВПС КарНЦ РАН А. П. Георгиева, А. В. Толстикова, А. Ф. Балаганского, В. А. Карпечко, В. Н. Коваленко, Н. И. Махальскую, а также сотрудников ИЭ КарНЦ РАН М. В. Морошкину, Г. Т. Шкиперову, А. Е. Курило, Е. А. Прокопьева.

Литература

Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию: материалы I международного молодежн. науч.-практ. конф. (26–28 апреля 2018). Т. 1.; Сев. (Арктич.) федер. ун-т. Архангельск: САФУ, 2018. 362 с.

Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов / Отв. ред. Н. Н. Филатов, А. Ю. Тержевик. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 335 с.

Бергер В. Я. Продукционный потенциал Белого моря. Исследования фауны морей. СПб.: ЗИН РАН, 2007. Т. 60(68). 292 с.

*Бугмырин С. В., Назарова Л. Е., Беспятова Л. А., Иешко Е. П. К вопросу о северной границе распространения *Ixodes persulcatus* (Acari: Ixodidae) в Карелии // Изв. РАН. Сер. биол. 2013. № 2. С. 240–244.*

Георгиевский И. Ю. Водные ресурсы рек Российской Федерации // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Труды Четвертой Всерос. науч. конф. с междунар. участием. М.: ИВП РАН, 2015. С. 5–8.

Горнова А. М. О состоянии рыболовства в арктических акваториях // Арктика и Север. 2016. № 25. С. 196–210.

Дроздов В. В., Смирнов Н. П., Косенко А. В. Многолетняя динамика уловов промысловых рыб Белого моря в зависимости от климатических колебаний и состояния рыбопромысловой отрасли // Уч. зап. РГГМУ. 2012. № 27. С. 148–164.

Дружинин П. В. Моделирование структуры промышленности по технологическим уровням // Друковский вестник. 2014. № 4. С. 41–51.

Дружинин П. В., Филатов Н. Н., Морошкина М. В., Дерусова О. В., Поташева О. В. Моделирование и пространственный анализ эколого-экономического состояния водосбора Белого моря // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2018. Т. 24, № 1. С. 297–309.

Дружинин П. В., Шкиперова Г. Т. Влияние природоохранной деятельности на состояние окружающей среды // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2017. № 12 (ч. 7). С. 805–809. URL: https://docs.wixstatic.com/ugd/dcaed9_6cb77455ccd748c3bf882be13b157f4b.pdf (дата обращения: 15.07.2019).

Королева Т. С., Константинов А. В., Шунькина Е. А. Угрозы и социально-экономические последствия изменения климата для лесного сектора // Труды СПбНИИЛХ. 2015. № 3. С. 55–71.

Куценко С. Ю. Развитие рыболовства на прибрежных территориях Арктической зоны РФ как фактор закрепления населения (на примере Архангельской области) // Вестник МФЮА. 2018. № 2. С. 200–217.

Лаженцев В. Н. Север России: альтернативы на будущее // Современные производительные силы. 2013. № 2. С. 115–124.

Меншуткин В. В., Филатов Н. Н., Дружинин П. В. Состояние и прогнозирование социо-эколого-экономической системы водосбора Белого моря с использованием когнитивного моделирования // Арктика. Экология. Экономика. 2018. № 2(30). С. 79–85. doi: 10.25283/2223-4594-2018-2-4-17.

Назарова Л. Е. Современные климатические условия водосбора Белого моря // Известия РГО. 2017. Т. 149, вып. 5. С. 16–24.

Охрана окружающей среды в России. 2018: Стат. сб. М.: Росстат, 2018. 125 с.

Поморские рыбные промыслы / Отв. ред. В. А. Стасенков. Архангельск: СевПИНРО, 2011. 264 с.

Прокопьев Е. А., Рослякова Н. А. Оценка влияния изменения климата на экономику Севера (обзор литературы) // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2017. № 10. С. 8.

Рябова Л. А., Ключникова Е. М. Социальные последствия изменения климата в российской Арктике: изученность проблемы и задачи новых исследований // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2018. № 3. С. 91–111.

Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата: сб. тезисов Всерос. конф. с междунар. участием / Сост. С. В. Рябченко; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М. В. Ломоносова. Архангельск: ИД САФУ, 2014. 199 с.

*Стасенков В. А. Многолетняя динамика биологических показателей наваги *Eleginus nawaga* (Walbaum, 1792) Белого моря в связи с изменениями температурного режима водоема // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2017. Т. 20, № 2. С. 370–380.*

Стасенков В. А. Навага // Биологические ресурсы Белого моря: изучение и использование / Ред. Н. В. Аржанова, О. Н. Пугачев. СПб.: ЗИН РАН, 2012. С. 164–173.

Стасенков В. А. О промысле наваги // Вестник рыбохозяйственной науки. 2016. Т. 3. № 2(10). С. 18–26.

Татаркин А. И., Логинов В. Г. Оценка природно-ресурсного и производственного потенциала северных и арктических районов: состояние и перспективы использования // Проблемы прогнозирования. 2015. № 1. С. 33–44.

Тарвердиева М. И., Подражанская С. Г., Гнетнева Л. В. Питание сельди (*Clupea harengus maris-albi* Berg) в разных районах Белого моря // Морские гидробиологические исследования (Сб. науч. трудов). М.: ВНИРО, 2000. С. 170–185.

Толстикова А. В. Изменчивость температуры поверхностного слоя Белого моря. М.: ГЕОС, 2016. 212 с.

Толстикова А. В., Филатов Н. Н., Богданова М. С., Литвиненко А. В., Карпечко В. А., Дерусова О. В., Балаганский А. Ф. Электронный атлас Белого моря и его водосбора // Реестр баз данных. Рег. номер: 2017620252. Дата регистрации: 20170301. Номер заявки: 2016621480. Дата подачи заявки: 20161107.

Толстикова А. В., Чернов И. А., Мартынова Д. М. Решение проблемы необходимых данных для численного моделирования процессов в Белом море в интересах развития арктической зоны Российской Федерации // Арктика: экология и экономика. 2018. № 2(30). С. 45–55. doi: 10.25283/2223-4594-2018-2-45-55

Федеральный закон «О стратегическом планировании в Российской Федерации» от 28 июня 2014 года № 172-ФЗ с учетом приказа Минэкономразвития России от 23 марта 2017 № 132 // Законодательство РФ: Сб. основных федеральных законов РФ [Электронный ресурс]. URL: <https://fzrf.su/zakon/o-strategicheskom-planirovanii-172-fz/> (дата обращения: 15.07.2019).

Филатов Н. Н. Опыт информационного обеспечения регионов Севера РФ о состоянии и изменениях водных объектов и водосборов под влиянием климатических и антропогенных факторов // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2017. № 23. С. 130–142. doi: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-130-142

Филатов Н. Н., Толстикова А. В., Богданова М. С., Литвиненко А. В., Меньшуткин В. В. Создание инфор-

мационной системы и электронного атласа по состоянию и использованию ресурсов Белого моря и его водосбора // Арктика: экология и экономика. 2014. № 3(15). С. 18–29.

Фомин А. В. Есть ли будущее у рыбной отрасли // Состояние и перспективы развития рыбной промышленности Северного бассейна в меняющихся условиях: Сб. материалов V науч.-практ. конф. (Мурманск, 19 января 2016 г.). Мурманск: Изд-во МГТУ, 2016. 229 с.

Чернов И. А., Толстикова А. В., Яковлев Н. Г. Комплексная модель Белого моря: гидротермодинамика вод и морского льда // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 8. С. 116–128. doi: 10.17076/mat397

Чугайнова В. А. Сезонная и межгодовая изменчивость океанологических условий Белого моря в 2001–2013 гг. // Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата: сб. тезисов Всерос. конф. с междунар. участием / Сост. С. В. Рябченко; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М. В. Ломоносова. Архангельск: ИД САФУ, 2014. С. 31–33.

Шкиперова Г. Т., Дружинин П. В. Оценка влияния развития экономики территории на окружающую среду (на примере Республики Карелия) // Экология промышленного производства. 2011. № 4. С. 15–19.

IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland. 151 p.

Lee C., Schlemme C., Murray J., Unsworth R. The cost of climate change: Ecosystem services and wildland fires // Ecol. Econ. 2015. Vol. 116. P. 261–269.

Petrov A. N., BurnSilver S., Chapin III F. S., Fondahl G., Graybill J. K., Keil K., Nilsson A. E., Riedlsperger R., Schweitzer P. Arctic sustainability research: Past, present and future. Routledge, 2017. 110 p.

Seo S. N. An essay on the impact of climate change on US agriculture: weather fluctuations, climatic shifts, and adaptation strategies // Climatic Change. 2013. No. 121(2). P. 115–124.

Поступила в редакцию 01.08.2019

References

Arkticheskie issledovaniya: ot ekstensivnogo osvoeniya k kompleksnomu razvitiyu: mat. I mezhdunar. molo-dezhn. nauch.-prakt. konf. (26–28 aprelya 2018 g.) [Study of the Arctic: from extensive reclamation to complex development: Proceed. I int. youth sci.-pract. conf. (April 26–28, 2018)]. Vol. 1.; Sev. (Arktich.) feder. un-t. Arkhangel'sk, 2018. 362 p.

Beloe more i ego vodosbor pod vliyaniem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov [The White Sea and its catchment under climatic and man-induced impact]. Eds. N. N. Filatov, A. Yu. Terzhevnik. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. 335 p.

Berger V. Ya. Produktsionnyi potentsial Belogo morya. Issledovaniya fauny morei [Productional potential of the White Sea. Study of sea fauna]. St. Petersburg: ZIN RAN, 2007. Vol. 60(68). 292 p.

Bugmyrin S. V., Nazarova L. E., Bespyatova L. A., Ieshko E. P. K voprosu o severnoi granitse rasprostraneniya *Ixodes persulcatus* (Acari: Ixodidae) v Karelii [Concerning the problem of the northern limit of *Ixodes persulcatus* (Acari: Ixodidae) distribution in Karelia]. *Izv. RAN. Ser. biol.* [Biol. Bull.]. 2013. No. 2. P. 240–244.

Chernov I. A., Tolstikov A. V., Yakovlev N. G. Kompleksnaya model' Belogo morya: gidrotermodynamika vod i morskogo l'da [Comprehensive model of the White Sea: hydrothermodynamics of water and sea ice]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2016. No. 8. P. 116–128. doi: 10.17076/mat397

Chugainova V. A. Sezonnaya i mezhdogovaya izmenchivost' okeanologicheskikh uslovii Belogo morya v 2001–2013 gg. [Seasonal and interannual variability of oceanologic conditions of the White Sea

in 2001–2013]. *Sostoyanie arkticheskikh morei i territorii v usloviyakh izmeneniya klimata*: sb. tezisov vseross. konf. s mezhdunar. uchastiem [State of the Arctic oceans and territories under climate change conditions: Abs. All-Russ. conf. with int. part.]. Ed. S. V. Ryabchenko; Sev. (Arktich.) feder. un-t im. M. V. Lomonosova. Arhangel'sk: SAFU, 2014. P. 31–33.

Drozhdov V. V., Smirnov N. P., Kosenko A. V. Mno-goletnyaya dinamika ulovov promyslovykh ryb Belogo morya v zavisimosti ot klimaticheskikh kolebanii i so-stoyaniya rybopromyslovoi otrasli [Long-term variability of stocks of the food fishes in the White Sea under the influence on climatic changes and fishery branch activity]. *Uch. zap. RGGMU* [Proceed. RSHU]. 2012. No. 27. P. 148–164.

Druzhinin P. V. Modelirovanie struktury promyshlennosti po tekhnologicheskim urovniam [Modeling the structure of industry in the technological level]. *Drukerovskii vestnik* [Drukerovskij vestnik]. 2014. No. 4. P. 41–51.

Druzhinin P. V., Filatov N. N., Moroshkina M. V., Derusova O. V., Potasheva O. V. Modelirovanie i pro-stranstvennyi analiz ekologo-ekonomicheskogo so-stoyaniya vodosbora Belogo morya [Modeling and dimensional analysis of ecological and economical state of the White Sea catchment]. *InterKarto. InterGIS*. 2018. Vol. 24, no. 1. P. 297–309.

Druzhinin P. V., Shkiperova G. T. Vliyanie prirodokhrannoi deyatel'nosti na sostoyanie okruzhayushchei sredy [The impact of environmental activities on the state of the environment]. *Konkurentosposobnost' v global'nom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii* [Competitiveness in the global world: economics, science, technology]. 2017. No. 12, pt. 7. P. 805–809. URL: https://docs.wixstatic.com/ugd/dcaed9_6cb77455ccd-748c3bf882be13b157f4b.pdf (accessed: 15.07.2019).

Federal'nyi zakon "O strategicheskoy planirovani v Rossiiskoi Federatsii" ot 28 iyunya 2014 goda № 172-FZ s uchetom prikaza Minekonomrazvitiya Rossii ot 23 marta 2017 N 132 [The Federal law No. 172-FZ On strategic planning in the Russian Federation dated 28.06.2014 in accordance with the Order No. 132 of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation dated 23.03.2017]. *Zakonodatel'stvo RF: Sb. osnovnykh federal'nykh zakonov RF* [Legislation of the Russian Federation: Collection of the main federal laws of the RF]. URL: <https://fzrf.su/zakon/o-strategicheskoy-planirovani-172-fz/> (accessed: 15.07.2019).

Filatov N. N., Tolstikov A. V., Bogdanova M. S., Litvinenko A. V., Menshutkin V. V. Sozdanie informatsionnoi sistemy i elektronnoy atlasy po sostoyaniyu i ispol'zovaniyu resursov Belogo morya i ego vodosbora [Development of information system and electronic atlas on the status and use of resources of the White Sea and its catchment]. *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: Ecology and Economy]. 2014. No. 3(15). P. 18–29.

Filatov N. N. Opyt informatsionnogo obespecheniya regionov Severa RF o sostoyanii i izmeneniyakh vodnykh ob'ektov i vodosborov pod vliyaniem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov [Dataware of regions of the North of the Russian Federation on the state and changes of water bodies and catchments under

the influence of climatic and man-induced impact]. *InterKarto. InterGIS*. 2017. Vol. 23. P. 130–142. doi: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-130-142

Fomin A. V. Est' li budushchee u rybnoi otrasli [Does fishing industry have future?]. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya rybnoi promyshlennosti Severnogo basseina v menyayushchikhsya usloviyakh*: Sb. mat. V nauch.-prakt. konf. (Murmansk, 19 yanvarya 2016 g.) [State and prospects of fishing industry development in the Northern basin under changing conditions: Proceed. V sci.-pract. conf. (Murmansk, Jan. 19, 2016)]. Murmansk: Izd-vo MGTU, 2016. 229 p.

Georgievskii I. Yu. Vodnye resursy rek Rossiiskoi Federatsii [Water resources of rivers in the Russian Federation]. *Fund. probl. vody i vodnykh resursov*: Trudy Chetvertoi Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem [Fund. issues of water and water resources: Proceed. 4th All-Russ. sci. conf. with int. part.]. Moscow: IVP RAN, 2015. P. 5–8.

Gornova A. M. O sostoyanii rybolovstva v arkticheskikh akvatoriyakh [On the state of fishery in the Arctic water areas]. *Arktika i Sever* [Arctic and North]. 2016. No. 25. P. 196–210.

Koroleva T. S., Konstantinov A. V., Shun'kina E. A. Ugrozy i sotsial'no-ekonomicheskie posledstviya izmeneniya klimata dlya lesnogo sektora [Threats and socio-economic consequences of climate change for the forest sector]. *Trudy SPbNILKh* [Proceed. St. Petersburg Forestry Research Inst.]. 2015. No. 3. P. 55–71.

Kutsenko S. Yu. Razvitie rybolovstva na pribrezhnykh territoriyakh Arkticheskoi Zony RF kak faktor zakrepleniya naseleniya (na primere Arhangel'skoi oblasti) [Development of fishery on the coastal territories of the Arctic Zone of the Russian Federation as a factor of consolidating population (case of the Arkhangelsk Region)]. *Vestnik MFYuA* [Herald of MUFL]. 2018. No. 2. P. 200–217.

Lazhentsev V. N. Sever Rossii: al'ternativy na budushchee [North of Russia: alternative prospects]. *Sovr. proizvoditel'nye sily* [Current Productive Forces]. 2013. No. 2. P. 115–124.

Menshutkin V. V., Filatov N. N., Druzhinin P. V. Sostoyanie i prognozirovaniye sotsio-ekologo-ekonomicheskoi sistemy vodosbora Belogo morya s ispol'zovaniem kognitivnogo modelirovaniya [The current state and forecasting of the socio-ecological-economic system of the White Sea watershed with the use of cognitive simulation]. *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: Ecology and Economy]. 2018. No. 2(30). P. 79–85. doi: 10.25283/2223-4594-2018-2-4-17

Nazarova L. E. Sovremennyye klimaticheskie usloviya vodosbora Belogo morya [Current climatic conditions of the White Sea catchment]. *Izv. RGO* [The RGS Herald]. 2017. Vol. 149, iss. 5. P. 16–24.

Okhrana okruzhayushchei sredy v Rossii [Environmental protection]. 2018: Stat. coll. Moscow: Rosstat, 2018. 125 p.

Pomorskie rybnye promysly [Pomor fishery]. Ed. V. A. Stasenkov. Arhangel'sk: SevPINRO, 2011. 264 p.

Prokop'ev E. A., Roslyakova N. A. Otsenka vliyaniya izmeneniya klimata na ekonomiku Severa (obzor literatury) [Assessment of climate change impact on the North economics (a literature review)]. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami: elektronnyi nauch. zhurn.* [Man-

agement of Economic Systems: Electronic Sci. J.]. 2017. No. 10. P. 8.

Ryabova L. A., Klyuchnikova E. M. Sotsial'nye posledstviya izmeneniya klimata v rossiiskoi Arktike: izuchennost' problemy i zadachi novykh issledovaniy [Social consequences of climate change in the Russian Arctic: Background knowledge of the problem and the agenda for new research]. *Sever i rynek: formirovaniye ekonomicheskogo poryadka* [The North and the Market: Forming the Economic Order]. 2018. No. 3. P. 91–111.

Shkiperova G. T., Druzhinin P. V. Otsenka vliyaniya razvitiya ekonomiki territorii na okruzhayushchuyu sredu (na primere Respubliki Kareliya) [Assessment of economics development impact on the environment (the case of the Republic of Karelia)]. *Ekol. promyshl. proizvodstva* [Ecol. of comm. production]. 2011. No. 4. P. 15–19.

Sostoyaniye arkticheskikh morei i territorii v usloviyakh izmeneniya klimata: sb. tezisov vsereoss. konf. s mezhdunar. uchastiem [State of the Arctic seas and territories under climate change: Abs. All-Russ. conf. with int. part.]. Ed. S. V. Ryabchenko; Sev. (Arktich.) feder. un-t im. M. V. Lomonosova. Arhangel'sk: SAFU, 2014. 199 p.

Stasenkov V. A. O promysle navagi [On navaga fishing]. *Vestnik rybokhozyaistvennoi nauki* [The Bull. of Fisheries Sci.]. 2016. Vol. 3, no. 2(10). P. 18–26.

Stasenkov V. A. Navaga [The navaga]. *Biol. resursy Belogo morya: izuchenie i ispol'zovanie* [Biol. resources of the White Sea: study and use]. St. Petersburg: ZIN RAN, 2012. P. 164–173.

Stasenkov V. A. Mnogoletnyaya dinamika biologicheskikh pokazatelei navagi *Eleginus nawaga* (Walbaum, 1792) Belogo morya v svyazi s izmeneniyami temperaturnogo rezhima vodoema [Long-term dynamics of biological indicators of navaga *Eleginus nawaga* (Walbaum, 1792) of the White Sea in relation to changes of the reservoir temperature regime]. *Vestnik Murmanskogo gos. tekhn. un-ta* [MSTU Vestnik]. 2017. Vol. 20, no. 2. P. 370–380.

Tatarkin A. I., Loginov V. G. Otsenka prirodno-resursnogo i proizvodstvennogo potentsiala severnykh i arkticheskikh raionov: sostoyaniye i perspektivy ispol'zovaniya [Estimation of potential for natural resources and production in northern and Arctic areas: Conditions and prospects for use]. *Probl. prognozirovaniya* [Studies on Russ. Economic Development]. 2015. No. 1. P. 33–44.

Tarverdieva M. I., Podrazhanskaya S. G., Gnetneva L. V. Pitaniye sel'di (*Clupea harengus maris-albi* Berg) v raznykh raionakh Belogo morya [Herring (*Clupea harengus maris-albi* Berg) feeding in different areas of the White Sea]. *Morskije gidrobiol. issled.* (Sb. nauch. trudov) [Marine Research (Proceed.)]. Moscow: VNIRO, 2000. P. 170–185.

Tolstikov A. V. Izmenchivost' temperatury poverkhnostnogo sloya Belogo morya [Variability of the surface layer temperature in the White Sea]. Moscow: GEOS, 2016. 212 p.

Tolstikov A. V., Chernov I. A., Martynova D. M. Resheniye problemy neobkhodimykh dannykh dlya chislennogo modelirovaniya protsessov v Belom more v interesakh razvitiya arkticheskoi zony Rossiiskoi Federatsii [Sources of data for numerical simulation of the White Sea for developing the Russian Arctic area]. *Arktika: ekologiya i ekonomika* [The Arctic: Ecology and Economy]. 2018. No. 2(30). P. 45–55. doi: 10.25283/2223-4594-2018-2-45-55

Tolstikov A. V., Filatov N. N., Bogdanova M. S., Litvinenko A. V., Karpechko V. A., Derusova O. V., Balaganskii A. F. Elektronnyi atlas Belogo morya i ego vodosbora [Electronic atlas of the White Sea and its catchment]. *Reestr baz dannykh* [Databases register]. Filing number: 2017620252. Registration date: 20170301. Application number: 2016621480. Application date: 20161107.

IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.

Lee C., Schlemme C., Murray J., Unsworth R. The cost of climate change: Ecosystem services and wildland fires. *Ecol. Econ.* 2015. Vol. 116. P. 261–269.

Petrov A. N., BurnSilver S., Chapin III F. S., Fondahl G., Graybill J. K., Keil K., Nilsson A. E., Riedlsperger R., Schweitzer P. Arctic sustainability research: Past, present and future. Routledge, 2017. 110 p.

Seo S. N. An essay on the impact of climate change on US agriculture: weather fluctuations, climatic shifts, and adaptation strategies. *Climatic Change*. 2013. No. 121(2). P. 115–124.

Received August 01, 2019

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Филатов Николай Николаевич

директор ИВПС КарНЦ РАН, чл.-корр. РАН,
д. г. н., проф.
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: nfilatov@rambler.ru

CONTRIBUTORS:

Filatov, Nikolai

Northern Water Problems Institute,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: nfilatov@rambler.ru

Назарова Лариса Евгеньевна

заместитель директора ИВПС КарНЦ РАН, к. г. н.
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: nazarova@nwpi.krc.karelia.ru

Дружинин Павел Васильевич

ведущий научный сотрудник, руководитель отдела
моделирования и прогнозирования регионального
развития, д. э. н.
Институт экономики КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: pdruzhinin@mail.ru
тел.: (8142) 571525

Nazarova, Larisa

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: nazarova@nwpi.krc.karelia.ru

Druzhinin, Pavel

Institute of Economics, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky Pr., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: pdruzhinin@mail.ru
tel.: (8142) 571525