



Среда обитания водных биологических ресурсов

Сравнительный анализ межгодовой изменчивости температуры воды поверхности юго-западной части Баренцева моря и на разрезе «Кольский меридиан»

В.Д. Бойцов¹, В.В. Гузенко²

¹ Новгородский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («НовгородНИРО»), ул. Октябрьская, д. 38, к. 2, г. Великий Новгород, 173002

² Санкт-Петербургское морское собрание, Английская набережная, д. 42, г. Санкт-Петербург, 190000

E-mail: vboitsov@mail.ru

Цель работы: определить район Баренцева моря, изменчивость годовой температуры поверхности (SST) которого имеет высокий уровень статистической сопряженности с таковой в слоях 0–50 и 0–200 м на разрезе «Кольский меридиан», пересекающего поток атлантических вод Мурманского течения.

Используемые методы: анализ выборок температуры воды на наличие трендов, циклических компонент, корреляционно-регрессионный анализ, расчёты статистических характеристик проводились с помощью пакета MS Excel 2007. Для исследования частотной структуры межгодовых колебаний температуры воды использовался спектральный анализ, реализованный в программном комплексе «AutoSignal».

Новизна: по данным 1951–2017 гг. выявлен полигон в юго-западной части Баренцева моря с координатами 71–73° с.ш. и 31–33° в.д., средняя SST которого имеет высокую корреляционную связь с температурой воды слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» ($r = 0,92$). Это позволяет использовать температуру поверхности для оценки её межгодовой изменчивости и для восстановления пропусков данных на разрезе.

Результат: спектральные составы колебаний температуры воды атлантического генезиса, полученной разными методами, имеют незначительные различия во всех частотных диапазонах, что определяет их тесную сопряженность. За рассмотренный 67-летний временной диапазон в 90% случаев аномалии SST на выявленном полигоне и средней температуры в слое 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» совпадали по знаку, а у 81% лет их разность по абсолютной величине не превышала 0,3 °С. С 1996 г. в период современного потепления вод моря в течение 22 лет отклонения температуры от норм на полигоне и разрезе были только положительными, а разность аномалий оказалась менее 0,2 °С.

Практическая значимость: с помощью данных SST на выбранном участке Баренцева моря можно восстанавливать пропуски температуры воды на разрезе «Кольский меридиан», анализировать особенности ее межгодовой изменчивости и прогнозировать динамику климата моря.

Ключевые слова: Баренцево море, SST, разрез «Кольский меридиан», корреляция.

Comparative analysis of interannual variability of water temperature on the surface of the southwestern part of the Barents Sea and on the Kola Section

Vladimir D. Boitsov¹, Vladimir V. Guzenko²

¹ Novgorod Branch of VNIRO («NovgorodNIRO»), 38 f. 2, Oktyabrskaya St., Veliky Novgorod, 173002, Russia

² St. Petersburg Maritime Assembly, English embankment 42, Saint-Petersburg, 190000, Russia

Objective: to determine the area of the Barents Sea, the variability of which annual sea surface temperature (SST) has a high level of statistical correlation with that in the layers 0–50 and 0–200 m in the Kola Section, which crosses the flow of Atlantic waters of the Murmansk current.

Using methods: analysis of water temperature data for presence of trends, cyclic components, correlation and regression analysis, calculations of statistical characteristics were performed using MS Excel 2007 package. To study the frequency structure of interannual water temperature fluctuations, the spectral analysis implemented in the software package “AutoSignal” was used.

Novelty: The 1951–2017 data revealed a polygon in the southwestern part of the Barents Sea with coordinates 71–73° N and 31–33° E, where mean SST has a high correlation with sea water temperature of the 0–50 m layer on the Kola Section ($r = 0.92$). This allows the surface temperature to be used to estimate its interannual variability and to recover data gaps on the section.

Result: spectral compositions of water temperature variations of the Atlantic genesis water, obtained by different methods, have insignificant differences in all frequency ranges, that determines their close correlation. Over the considered 67-year time range in 90% of cases SST anomalies on the identified polygon and average temperature in the 0–50 m layer on the Kola Section coincided by sign, and in 81% of years their difference in absolute value is not exceed 0.3 °С. Since 1996, during the period of modern warming of sea waters during 22 years, the temperature deviations from the norms on the polygon and on section were only positive, and the difference of anomalies was less than 0.2 °С.

Practical significance: Using SST data in a selected section of the Barents Sea, it is possible to restore water temperature gaps in the Kola Section, analyze the features of its inter-annual variability and predict the dynamics of the sea climate.

Keywords: Barents Sea, SST, Kola Section, correlation.

ВВЕДЕНИЕ

Современное потепление климата на нашей планете регистрируется на всех континентах и океанах, однако наиболее интенсивно это происходит в Арктике, поэтому здесь этот процесс получил название «арктическое усиление» [Второй оценочный ...¹; Мохов, 2015; Hartmann et al., 2013]. Многие исследователи отмечают, что основными внешними причинами аномального потепления в полярных областях являются процессы усиления меридионального переноса воздушных масс из низких широт в направлении полюса и увеличения адвекции атлантических вод в Северный Ледовитый океан [Алексеев и др., 2015; Тимохов и др., 2016; Алексеев и др., 2019; Латонин и др., 2020]. При этом амплитуда колебаний климатообразующих факторов выше в западной части российского сектора Арктики на акватории таких морей как Баренцево и Карское, чем в её восточной части [Алексеев и др., 2019; Semenov, 2008; Smedsrud, et al., 2013; Bashmachnikov et al., 2018; Yurova et al., 2018].

Из всех морей Северного Ледовитого океана, расположенных вдоль побережья России, Баренцево море является самым западным, через акваторию которого поступает значительный объём атлантических вод в морскую часть Арктики. Восточная ветвь Норвежского течения при подходе к западной границе Баренцева моря из-за особенностей рельефа дна разделяется на два основных потока. Первое ответвление пересекает его южные и восточные районы и через пролив между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Новая Земля выходит на прилегающую северную акваторию Карского моря [Рожкова и др., 2008; Loeng et al., 1997]. Следовательно, часть тёплой воды системы Гольфстрим транзитом проходит через Баренцево море.

Второе ответвление Восточной ветви Норвежского течения в виде достаточно интенсивного Шпицбергенского течения и его продолжения следует на север через пролив Фрама вдоль свала глубин западнее архипелага Шпицберген. На акватории к северу от Шпицбергена, чаще всего покрытой льдом, более тёплые и солёные атлантические воды погружаются под холодный поверхностный слой распреснённых арктических вод. Далее атлантические воды продолжают движение на восток над континентальным склоном Евразийской глубоководной части Северного Ледовитого океана. Эти воды севернее Карского моря сливаются

с трансформированными водными массами также атлантического генезиса, которые следуют из Баренцева моря [Трешников, Баранов, 1972; Ожигин и др., 2016; Ozhigin et al., 2011]. На рис. 1 показана схема движения атлантических вод в Северный Ледовитый океан через Баренцево и пограничную с ним акваторию восточной части Гренландского морей.

В Баренцевом море, а также на его побережье и островах в зоне переноса воздушных и водных масс из Атлантики в Северный Ледовитый океан наблюдения за гидрометеорологическими параметрами проводятся с начала прошлого столетия, что позволило сформировать наиболее продолжительные их ряды по сравнению с другими арктическими морями. С помощью анализа этих данных были выполнены оценки многолетней изменчивости температуры воздуха и воды, а также интенсивности адвекции тепла в арктический регион, что необходимо для исследования состояния климатической системы и возможных изменений термохалинных и ледовых условий в высокоширотных районах [Алексеев и др., 1997; Бойцов, 2012; Smedsrud, et al., 2013].

Известно, что среди физических характеристик состояния морских вод температура является одной из наиболее важных, особенно для высоких широт. Она используется для оценки интенсивности теплообмена океана с атмосферой, динамики климата, адвекции тепла течениями, вертикальной стратификации водной толщи и других океанографических про-



Рис. 1. Схема переноса атлантических вод в Северный Ледовитый океан через Баренцево и Гренландское моря [Boitsov et al., 2012]: красный цвет – атлантические; фиолетовый – атлантические трансформированные воды

Fig. 1. Scheme of the Atlantic waters transport to the Arctic Ocean through the Barents and Greenland Seas [Boitsov et al., 2012]. Red – Atlantic waters; purple – Atlantic transformed waters

¹ Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2014. / ред. Катцов В.М., Семенов С.М. М.: Росгидромет. 1009 с. Доступно через: <http://cc.voeikovmgo.ru/ru/publikatsii/2016-03-21-16-23-52>. 15.07.2021.

цессов. Температура воды как абиотический фактор играет важную роль в развитии морских экосистем.

В Баренцевом море наблюдения за температурой воды в научных и прикладных целях стали проводиться в начале 20-го столетия и за более чем 100-летний период в Полярном филиале ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича) была сформирована достаточно обширная база её данных. Наиболее продолжительные временные ряды имеются на стандартном разрезе «Кольский меридиан». Он получил такое название, поскольку расположен к северу от Кольского залива вдоль меридиана $33^{\circ}30'$ в.д., океанографические станции которого пересекают участок моря от $69^{\circ}30'$ до $77^{\circ}00'$ с.ш. Однако наиболее часто наблюдения проводились на пяти станциях разреза (№ 3–7) между $70^{\circ}30'$ – $72^{\circ}30'$ с.ш., поскольку эту его часть пересекает Мурманское течение, которое переносит основной объём атлантической воды через южную часть Баренцева моря до его восточных мелководий, следуя затем на север с выходом в Северный Ледовитый океан (рис. 2).

На основе данных температуры атлантических вод Баренцева моря были выявлены особенности её пространственной структуры и закономерности колебаний во временных масштабах от внутрисуточных до климатических, разработаны методики прогнозов теплового состояния водных масс различной забла-

говременности, выполнена оценка степени влияния этой характеристики на развитие биотических компонент его экосистем [Бойцов, 2006; 2009; Бойцов и др., 2010; Ожигин и др., 2016; The Barents Sea..., 2011].

Однако в некоторые месяцы отдельных лет не удавалось провести наблюдения за температурой вод на разрезе «Кольский меридиан». Восстановление недостающих среднемесячных данных за такие годы обычно осуществлялось с помощью корреляционных связей с другими гидрологическими показателями или методов графической интерполяции и экстраполяции сезонного хода температуры воды. При использовании последнего способа возникали трудности, когда её измерения не были выполнены в периоды наступления сезонных экстремумов и в ближайшие к ним месяцы. В такие годы могли возникать ошибки реконструированных значений температуры воды. Ещё более сложная ситуация возникала при отсутствии наблюдений в течение нескольких месяцев подряд. В этих случаях приходилось применять математические методы, которые требовали высокого уровня их знаний и навыков использования. Так с июня 2016 по май 2017 гг. измерения температуры воды на разрезе выполнить не удалось. Для восстановления недостающих данных на разрезе «Кольский меридиан» за 12 месяцев этих лет были проведены специальные исследования [Карсаков и др., 2018].

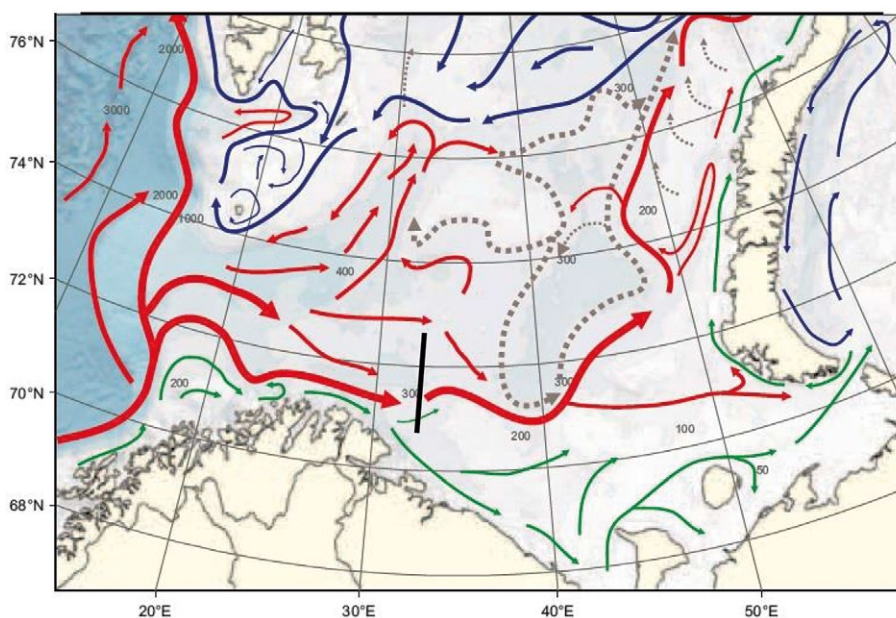


Рис. 2. Циркуляции основных водных масс Баренцева моря: красный цвет – воды атлантического происхождения; синий – арктические воды; зелёный – прибрежные воды; пунктир – холодные донные воды. — — разрез «Кольский меридиан» вдоль $33^{\circ}30'$ в.д. между $70^{\circ}30'$ – $72^{\circ}30'$ с.ш. (станции 3–7)

Fig. 2. Circulation of the main water masses of the Barents Sea: red – Atlantic waters; blue – Arctic waters; green – coastal waters; dotted line – cold bottom waters. — — «Kola Section» is located along the $33^{\circ}30'$ E longitude between $70^{\circ}30'$ – $72^{\circ}30'$ N (stations 3–7)

Отсутствие возможности реконструировать месячные значения температуры воды на разрезе «Кольский меридиан», а значит и её средних годовых данных, может сказаться на уменьшении точности прогнозов распределения основных объектов промысла в Баренцевом море в течение года, заблаговременной оценки уровня урожайности поколений, впервые вступающих в промысловые стада популяций рыб. Кроме того, пропуски в наблюдениях за показателем адвекции тёплых водных масс из Северной Атлантики через Баренцево море в Северный Ледовитый океан уменьшают точность оценок изменчивости теплосодержания водных масс и климата не только на акватории их транзита, но и морской части Арктики. Поэтому необходимо найти альтернативные показатели, с помощью которых можно анализировать сезонные и межгодовые колебания температуры атлантических вод, поступающих в Баренцево море.

В последнее время при исследовании пространственно-временной изменчивости теплового состояния водных масс, динамики климата и других процессов в океанах и морях используется температура их поверхности (SST) из архива реанализа ERSST. Он представляет собой выборки, полученные в результате обработки несколькими методами ранее измеренной температуры разными приборами и способами, а также с учётом параметров, которые физически связаны с теплосодержанием водных масс, например, ледовитость морей [Smith, Reynolds, 2003; Huang et al., 2018]. Данные SST уже использовались при изучении особенностей пространственного распределения и временной изменчивости температуры поверхности воды Северной Атлантики [Малинин, Шмакова, 2018; Sutton, Hodson, 2005] и Северного Ледовитого океана [Smedsrud et al. 2013].

Данные температуры поверхности вод Северного и Балтийского морей (SST) также применялись при исследовании её межгодовой и многолетней динамики не только для всей их акватории, но и для отдельных районов за различные периоды лет и сезоны [Серых, Костяной, 2018; Бойцов, 2021; Belkin, 2009; Lehmann et al., 2011; Gustafsson, 2015]. В работе [Хаймина и др., 2012] при исследовании вековой изменчивости климата морей северо-запада России в качестве одной из характеристик его состояния анализировались месячные значения SST Балтийского, Баренцева и Белого морей за 1900–2009 гг.

Таким образом, результаты использования многими специалистами данных SST из архива реанализа ERSST говорят о достаточно высокой репрезентативности этого океанографического показателя при изучении особенностей пространственно-временной из-

менчивости теплового состояния поверхностных вод морей и океанов.

Цель настоящей работы состояла в том, чтобы определить район Баренцева моря, данные годовой температуры поверхности (SST) которого за многолетний период имели наиболее высокий уровень статистической сопряжённости со средней температурой в слоях 0–50 и 0–200 м на разрезе «Кольский меридиан», пересекающего поток атлантических вод Мурманского течения. При наличии такой связи появляется возможность иметь дополнительный показатель для оценки межгодовой изменчивости теплосодержания этих водных масс в южной части Баренцева моря и использовать его в случае отсутствия инструментальных наблюдений на разрезе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Анализ межгодовых колебаний температуры поверхности Баренцева моря (SST) в 1900–2020 гг. проводился по данным её месячных значений, осреднённых в трапециях площадью $2 \times 2^\circ$ по долготе и широте, которые были взяты из архива NOAA NCDC ERSST.² На рис. 3 показано положение центров 18 трапеций, температура которых использовалась в расчётах. Все они расположены западнее участка разреза «Кольский меридиан» в основном в пределах климатического положения потока атлантических вод (см. рис. 2).

В работе также анализировалась средняя месячная и годовая температура воды Мурманского течения слоя 0–50 м за 1951–2017 гг., а также 0–200 м за 1900–2017 гг. для участка разреза «Кольский меридиан» вдоль $33^\circ 30'$ в.д. между $70^\circ 30' - 72^\circ 30'$ с.ш. (3–7 стандартные океанографические станции) (см. рис. 3). Эти данные чаще всего использовались в Полярном филиале ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО») для анализа особенностей внутригодового хода температуры воды и при составлении её долгосрочных прогнозов, а также для оценки степени влияния тёплого состояния водных масс на особенности распределения рыб на акватории Баренцева моря, динамику их промысловых запасов и вылова. Данные температуры имеются на сайте ПИНРО.³ На время выполнения настоящей работы значения этого параметра после 2017 г. на нём отсутствовали.

Анализ выборок на наличие линейного и нелинейного трендов, низкочастотных циклических компонент, выполнение корреляционно-регрессионного анализа, расчётов статистических характеристик проводились с помощью пакета MS Excel 2009. Ста-

² NOAA. Accessible via: <https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/> 15.07.2021.

³ ПИНРО. Доступно через: <http://www.pinro.vniro.ru/> 15.07.2021.

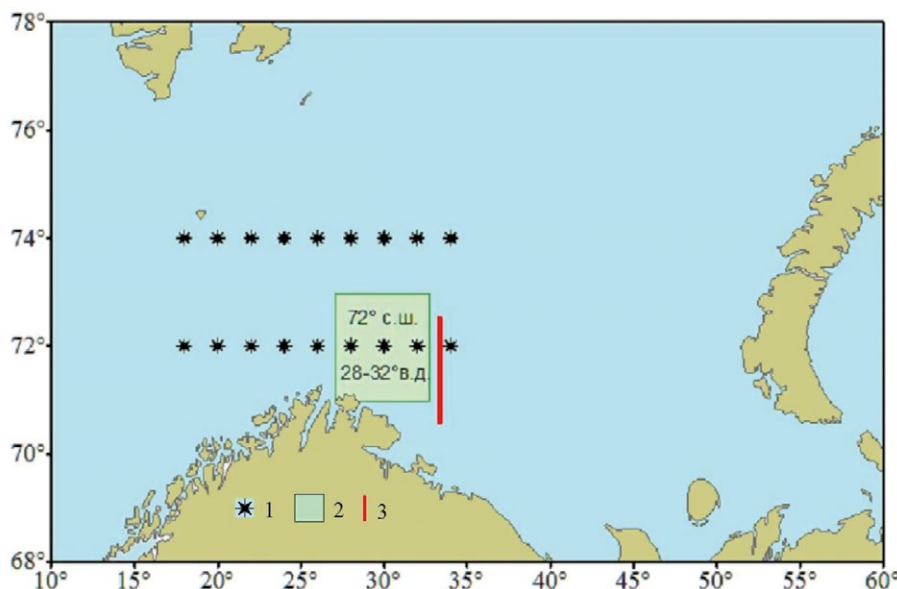


Рис. 3. Положение центров трапеций $2 \times 2^\circ$ по широте и долготе (1), полигона с координатами $71-73^\circ$ с.ш., $27-33^\circ$ в.д. (2), для которого рассчитана средняя SST, и разреза «Кольский меридиан» (станции 3–7) с координатами $33^\circ 30'$ в.д. и $70^\circ 30' - 72^\circ 30'$ с.ш. (3)

Fig. 3. The location of the trapeziums centers of the $2 \times 2^\circ$ for latitude and longitude (1), the polygon with coordinates $71-73^\circ$ N, $27-33^\circ$ E (2) where the average SST was calculated, and the «Kola Section» with coordinates $33^\circ 30'$ E and $70^\circ 30' - 72^\circ 30'$ N (3)

тистическая значимость их вычисленных коэффициентов оценивалась по критерию Стьюдента с уровнем доверительной вероятности $\gamma = 0,95$ или $\gamma = 0,99$. При расчете аномалий температуры воды на разрезе «Кольский меридиан» Баренцева моря и SST на полигоне юго-западной части моря использовались её среднемноголетние значения за период 1951–2017 гг.

Для исследования частотной структуры межгодовых колебаний температуры воды на разрезе «Кольский меридиан» Баренцева моря и его поверхности (SST) использовался спектральный анализ временных рядов, реализованный в программном комплексе «AutoSignal» [Users Guide, 2003].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На начальном этапе исследований был выполнен поиск наиболее высокой статистической связи между годовой температурой воды слоя 0–50 м на участке разреза «Кольский меридиан», пересекающего Мурманское течение, и годовыми данными SST 18 трапеций $2 \times 2^\circ$ по широте и долготе на акватории юго-западной части Баренцева моря. В результате корреляционного и кросскорреляционного анализов установлено, что наибольшая сопряжённость по данным за 1951–2017 гг. оказалась между температурами на разрезе и средней SST трёх трапеций, центрами которых являются меридианы 28, 30 и 32° в.д., пересекающие параллель 72° с.ш. (см. рис. 3). Коэффициент корреляции составил $r = 0,92$ (рис. 4). Эта акватория

моря расположена между $71-73^\circ$ с.ш. и $27-33^\circ$ в.д. Её восточная граница находится на расстоянии менее 20 км от разреза «Кольский меридиан». В дальнейшем данный участок Баренцева моря будем именовать полигоном.

Сравнительный анализ аномалий годовой температуры воды слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» и SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря за 1951–2017 гг. относительной средних величин за этот период показал, что из 67 лет только в семи из них они не совпадали по знаку, а в 90% случаев были одинаковыми. Причём, с 1996 г. до конца рассматриваемого периода, т.е. в течение большей части фазы современного потепления атлантических водных масс знаки аномалии их температуры совпадали и были только положительными.

Наибольшие отклонения температуры воды от среднемноголетнего уровня слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» и SST на полигоне зафиксированы в 2016 г. ($1,5$ и $1,3^\circ\text{C}$ соответственно). Самое значительное похолодание также отмечено в один и тот же 1966 г., когда на разрезе температура на $1,2^\circ\text{C}$, а на полигоне – на $0,9^\circ\text{C}$ была ниже их средних многолетних значений (рис. 5).

Разность абсолютных величин аномалий годовой температуры воды слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» и SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря в 1951–2017 гг. варьировала в диапазоне от $0,00$ до $0,60^\circ\text{C}$, который был разбит на шесть

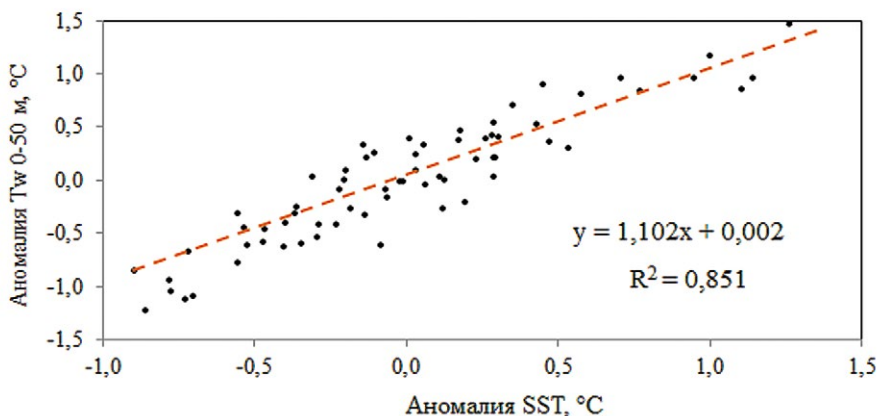


Рис. 4. Диаграмма рассеивания аномалий годовой температуры воды слоя 0–50 м на 3–7 станциях разреза «Кольский меридиан» и SST Баренцева моря на полигоне за 1951–2017 гг. Пунктир – график линейной регрессии параметров

Fig. 4. Scatter plot of the annual water temperature anomalies in the 0–50 m layer at 3–7 stations of the Kola Section and SST of the Barents Sea at the polygon for 1951–2017. Dotted line – a graph of linear regression parameters

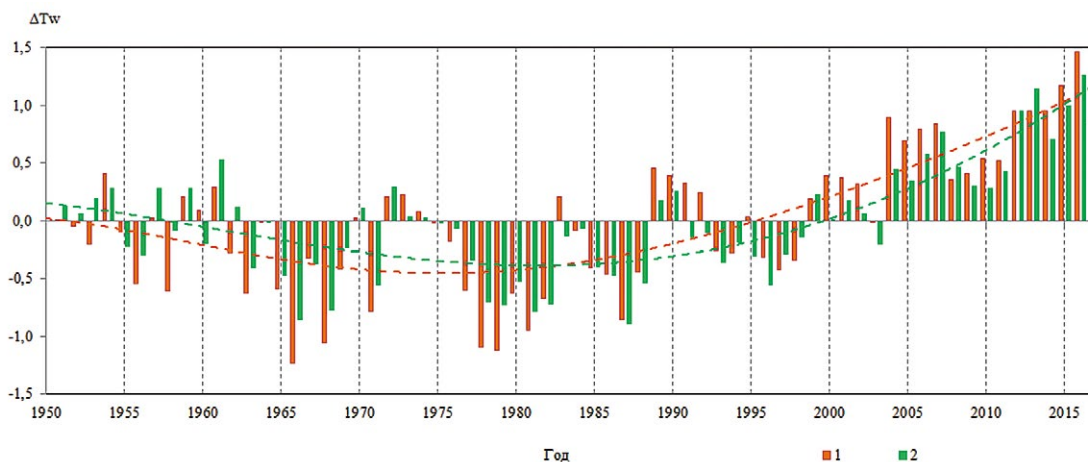


Рис. 5. Аномалии годовой температуры воды слоя 0–50 м на 3–7 станциях разреза «Кольский меридиан» (1) и средней SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря (2) в 1951–2017 гг. Пунктирная линия – нелинейный тренд

Fig. 5. Anomalies of the annual water temperature in the 0–50 m layer at 3–7 stations of the Kola Section (1) and average SST at the polygon in the southwestern part of the Barents Sea (2) for 1951–2017. Dotted line – a non-linear trend

интервалов. Частота разности температуры в пределах первых двух интервалов (0,00–0,09 и 0,10–0,19 °C) оказалась одинаковой (25,4%). Чаще всего, она отмечалась в диапазоне 0,21–0,29 °C (29,8%). Частота встречаемости разности аномалий температуры в диапазоне первых трёх интервалов (0,00–0,29 °C)

составляет 80,7%. На остальные три градации разности аномалий, которая определена разными методами, приходится 19,3% (табл. 1). В последнюю градацию попал только 1958 г., для которого разность аномалий составила 0,53 °C. Средняя температура воды на разрезе в этом году оказалась на 0,61 °C ниже

Таблица 1. Частота разности годовых аномалий температуры воды слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» и средней SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря без учёта знака по данным за 1951–2017 гг.

Table 1. The frequency of the difference value of the annual water temperature anomalies in the 0–50 m layer of the Kola Section and the average SST for the polygon in the south-western part of the Barents Sea without account the sign for 1951–2017

Показатель	Интервалы аномалий, °C					
	00,0–0,09	0,10–0,19	0,20–0,29	0,30–0,39	0,40–0,49	>0,50
Диапазон	00,0–0,09	0,10–0,19	0,20–0,29	0,30–0,39	0,40–0,49	>0,50
Число лет	17	17	20	7	5	1
Частота	25,4%	25,4%	29,8%	10,4%	7,5%	1,5%

многолетней средней, тогда как по данным SST она лишь на 0,08 °С была её меньше. Анализ годового хода температуры воздуха нескольких метеорологических станций на северном побережье Кольского полуострова показал, что 1958 г. был холодным, поэтому температура SST для него оказалась завышенной.

Как было отмечено выше, между колебаниями годовой температурой воды слоя 0–50 м на 3–7 станциях разреза «Кольский меридиан» и SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря в 1951–2017 гг. существует высокая статистическая связь с коэффициентом корреляции $r = 0,92$. Это позволяет разработать регрессионную модель для расчёта температуры воды на разрезе по данным SST, которая имеет следующий вид:

$$y = 1,110x - 1,075,$$

где y – годовая температура воды слоя 0–50 м на разрезе; x – температура поверхности SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря.

После расчёта температуры воды слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» с помощью уравнения регрессии была вычислена её разность с наблюдаемыми значениями на нём для периода с 1951 по 2017 гг. (табл. 2). Средняя величина абсолютных значений разности для 67 лет составила 0,19 °С. Для проверки эффективности регрессионного уравнения разность температуры воды для каждого года сравнивалась с долей стандартного отклонения $0,67\sigma = 0,40$. В случае, если величина разности по абсолютной величине превышала 0,40 °С, считалось, что расчётное значение является неудовлетворительным. Критерий $0,67\sigma$ был превышен только в 1953, 1958, 1962 и 1991 гг., что составляет лишь 6% из 67 анализируемых лет. Следует также отметить, что в эти годы абсолютная разность сравниваемых значений температуры была ниже её стандартного отклонения ($\sigma = 0,59$). Следовательно, результаты проверки регрессионной модели показали достаточно высокий уровень

Таблица 2. Расчётная по уравнению регрессии годовая температура воды слоя 0–50 м на 3–7 станциях разреза «Кольский меридиан» Баренцева моря, её наблюдаемая величина на нём и их разность для 1951–2017 гг.

Table 1. Calculated by regression equation annual water temperature of the 0–50 m layer at 3–7 stations on the Kola Section of the Barents Sea, its observed value on it and their difference for 1951–2017

Год	Температура воды слоя 0–50 м			Год	Температура воды слоя 0–50 м			Год	Температура воды слоя 0–50 м		
	расчёт	набл.	разность		расчёт	набл.	разность		расчёт	набл.	разность
1951	5,09	4,95	0,14	1974	4,98	5,03	-0,05	1997	4,63	4,52	0,11
1952	5,02	4,90	0,12	1975	4,93	4,93	0,00	1998	4,80	4,61	0,19
1953	5,17	4,74	0,43	1976	4,88	4,78	0,10	1999	5,21	5,14	0,07
1954	5,26	5,36	-0,10	1977	4,57	4,35	0,22	2000	4,96	5,34	-0,38
1955	4,71	4,85	-0,15	1978	4,17	3,86	0,31	2001	5,14	5,32	-0,18
1956	4,62	4,41	0,22	1979	4,14	3,83	0,32	2002	5,02	5,27	-0,25
1957	5,27	4,98	0,29	1980	4,37	4,33	0,04	2003	4,73	4,94	-0,22
1958	4,86	4,34	0,52	1981	4,08	4,00	0,08	2004	5,45	5,84	-0,40
1959	5,27	5,16	0,11	1982	4,16	4,27	-0,12	2005	5,34	5,64	-0,30
1960	4,73	5,04	-0,31	1983	4,81	5,16	-0,35	2006	5,59	5,75	-0,16
1961	5,54	5,24	0,30	1984	5,03	4,86	0,17	2007	5,81	5,79	0,01
1962	5,08	4,67	0,41	1985	4,51	4,54	-0,03	2008	5,47	5,31	0,16
1963	4,50	4,32	0,18	1986	4,43	4,49	-0,06	2009	5,29	5,36	-0,07
1964	4,94	4,93	0,00	1987	3,96	4,09	-0,13	2010	5,16	5,49	-0,33
1965	4,43	4,36	0,07	1988	4,36	4,50	-0,14	2011	5,43	5,47	-0,04
1966	4,00	3,72	0,28	1989	5,15	5,40	-0,26	2012	6,00	5,90	0,10
1967	4,54	4,63	-0,08	1990	5,24	5,34	-0,10	2013	6,22	5,90	0,32
1968	4,09	3,89	0,20	1991	4,80	5,28	-0,48	2014	5,73	5,90	-0,17
1969	4,69	4,53	0,16	1992	4,83	5,20	-0,36	2015	6,06	6,12	-0,06
1970	5,07	4,98	0,10	1993	4,55	4,69	-0,14	2016	6,35	6,41	0,06
1971	4,33	4,17	0,16	1994	4,75	4,68	0,07	2017	6,07	5,80	0,27
1972	5,28	5,16	0,12	1995	4,61	4,98	-0,37				
1973	4,99	5,18	-0,19	1996	4,33	4,63	-0,30				

эффективности её применения. Тем не менее следует продолжить поиск временных диапазонов, в пределах которых уровень статистической сопряжённости температуры воды на разрезе и SST может быть выше, например, для периода современного потепления водных масс Баренцева моря атлантического генезиса.

В межгодовой изменчивости температуры воды слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» и SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря в 1951–2017 гг. присутствуют нелинейные тренды, вклад которых в изменчивость исходных данных составляет 59 и 65%, соответственно (см. рис. 5). Они были аппроксимированы полиномами 5-й степени и могут представлять собой сумму линейного тренда и квазивекового цикла. Поскольку выборка температуры воды слоя 0–50 м на разрезе имеется только с 1951 года, длительность долгопериодных компонент в структуре колебаний анализируемых показателей теплосодержания водных масс Баренцева моря позволяет сделать лишь предварительные оценки о наличии в её динамике этих климатических составляющих.

Данные же температуры воды слоя 0–200 м на 3–7 станциях разреза «Кольский меридиан» и SST на выбранном полигоне юго-западной части Баренцева моря существуют за 1900–2017 гг., продолжительность которых позволяет уточнить параметры долгопериодных составляющих в её колебаниях. На рис. 6 показана межгодовая изменчивость исходных значений температуры, полученной разными способами, а также сумма линейных трендов и квазивековых циклов длительностью 75 лет, присутствующие в их динамике. Эти кривые были аппроксимированы многочленами 5-й степени, значимый коэффициент кор-

реляции между их выборками составляет $r = 0,95$. Следовательно, предположение о наличии в колебаниях годовой температуры воды слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» и SST на полигоне линейных трендов и квазивековых циклов в их низкочастотной области спектров по данным за 1951–2017 гг. подтверждается результатами спектрального анализа этих показателей теплового состояния водных масс длительностью почти в 2 раза больше.

Для сравнительной оценки структуры межгодовых колебаний температуры воды слоя 0–50 м Мурманского течения на разрезе «Кольский меридиан» (станции 3–7) и SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря в 1951–2017 гг. в диапазоне средних и высоких частот из исходных данных были исключены расчётные значения линейного тренда и квазивекового цикла. Спектральный анализ методом быстрого преобразования Фурье показал, что в целом составы основных энергонесущих квазипериодичностей отличаются лишь тем, что в межгодовых вариациях SST слабо выражен 10-летний цикл (рис. 7). Наличие близкой частотной структуры колебаний сравниваемых выборок температуры воды подтверждается достаточно высоким значением коэффициента корреляции её исходных данных ($r = 0,92$).

По нашему мнению, результаты проведённых исследований позволяют использовать данные температуры поверхности SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря для анализа теплосодержания атлантических вод верхнего 50-метрового слоя. Однако в Полярном филиале ВНИРО для оценки теплового состояния вод моря и его долгосрочного прогнозирования чаще используется средняя температура воды в слое

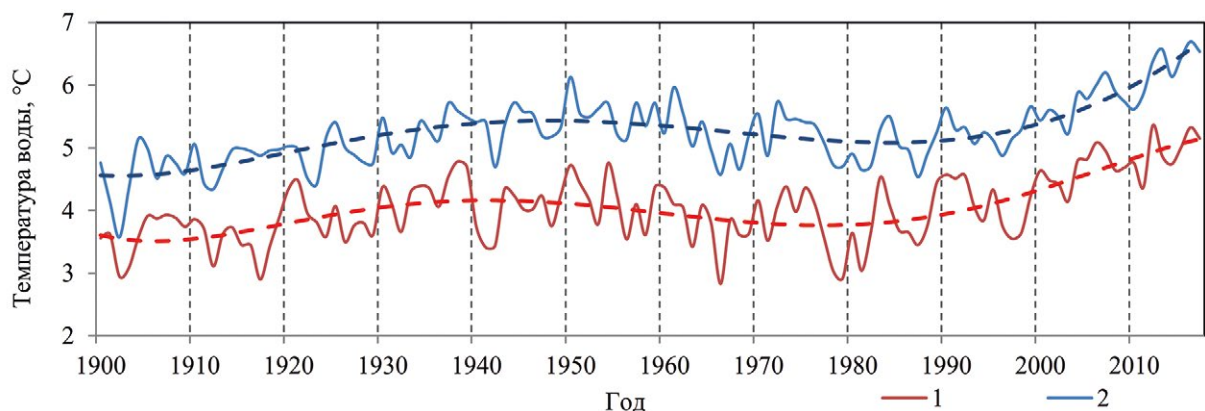


Рис. 6. Межгодовая динамика годовой температуры воды слоя 0–200 м на 3–7 станциях разреза «Кольский меридиан» (1) и средняя SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря (2) в 1900–2017 гг. Пунктирная кривая – сумма значений тренда и квазивекового цикла

Fig. 6. Interannual dynamics of the annual water temperature in the 0–200 m layer at 3–7 stations of the Kola Section (1) and the average SST at the polygon in the southwestern part of the Barents Sea (2) for 1900–2017. The dotted line is the sum of the trend values and the quasi-secular cycle

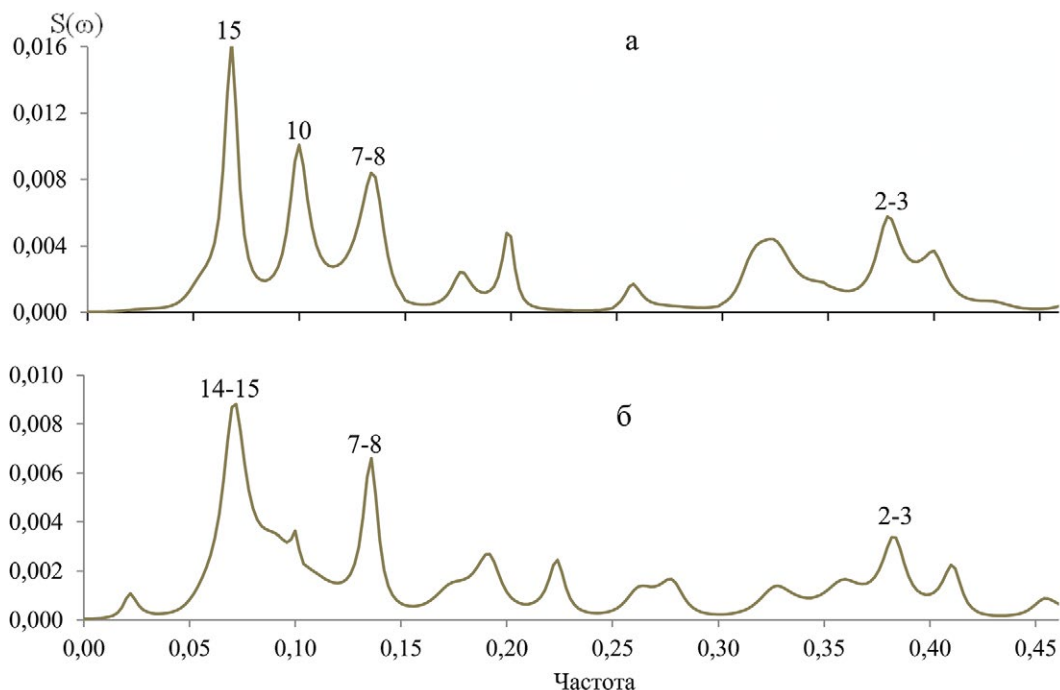


Рис. 7. Спектр температуры воды слоя 0–50 м на станциях 3–7 разреза «Кольский меридиан» (а) и SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря (б) с исключёнными значениями тренда и квазивекового цикла из исходных данных за 1951–2017 гг.

Fig. 7. Water temperature spectrum in the 0–50 m layer at 3–7 stations of the Kola Section (a) and SST at the polygon in the southwestern part of the Barents Sea (b) based on data for 1951–2017

0–200 м на станциях 3–7 разреза «Кольский меридиан». Но поскольку колебания годовой температуры воды в слоях 0–200 м и 0–50 м на этом разрезе имеют очень высокий уровень сопряжённости за период с 1951 по 2017 г. ($r = 0,96$), при отсутствии на нём инструментальных наблюдений за этим параметром мож-

но по данным SST оценивать теплозапас водных масс слоя 0–200 м, используя следующую схему расчётов:

– по данным годовой температуры поверхности Баренцева моря (SST) на полигоне с координатами 71–73° с.ш. и 27–33° в.д. с помощью уравнения линейной регрессии рассчитывается средняя темпера-

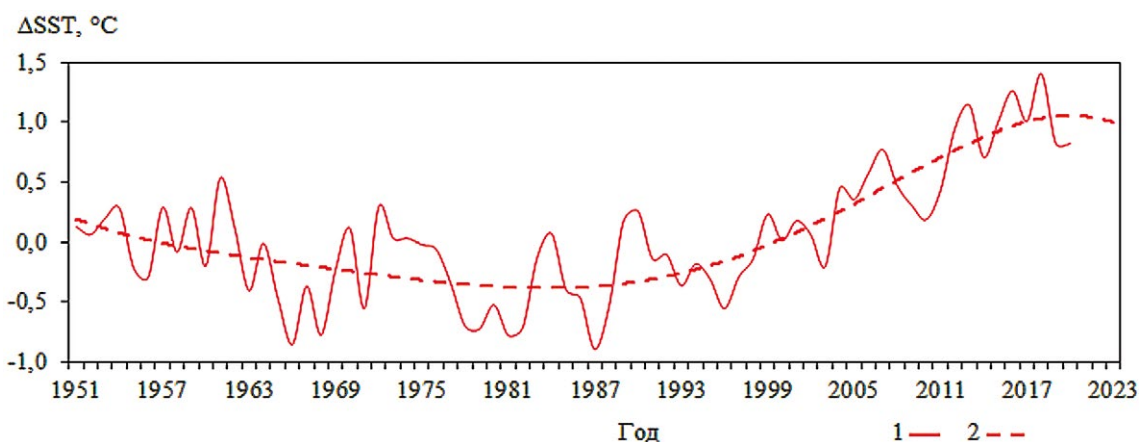


Рис. 8. Изменчивость аномалий годовой SST на полигоне 71–73° с.ш. и 27–33° в.д. юго-западной части Баренцева моря в 1951–2020 гг. (1) и ее климатическая компонента в 1951–2023 гг. (2)

Fig. 8. The variability anomalies of the annual SST at the polygon with coordinates 71–73° N and 27–33° E in the southwestern part of the Barents Sea for 1951–2020 (1) and its climatic component in 1951–2023 (2)

тура слоя 0–50 м для участка разреза «Кольский меридиан» между 70°30′ – 72°30′ с.ш.;

– по уравнению линейной регрессии между годовой температурой слоя 0–50 м вычисляется температура воды слоя 0–200 м на этом же участке разреза.

Данные SST полигона юго-западной части Баренцева моря можно также использовать для разработки методики долгосрочного прогноза на основе наличие полициклической природы её изменчивости. Такой подход был предложен в работах [Аверкиев и др., 1997; Бойцов, 2006].

С помощью метода экстраполяции долгопериодных составляющих температуры SST, сумма которых представляет собой нелинейный тренд, возможно проводить и оценку динамики климата Баренцева моря на несколько лет вперёд. Так по данным за 1951–2020 гг. нами были сделаны такие расчёты для 2021–2023 гг., согласно которым в этот период тепловой фон поверхности моря может превысить норму на 0,8–1,0 °C (рис. 8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Межгодовые колебания средней годовой температуры поверхности (SST) Баренцева моря на акватории 71–73° с.ш. и 31–33° в.д. имеет высокий уровень корреляционной связи с температурой воды атлантического генезиса слоёв 0–50 м ($r = 0,92$) и 0–200 м ($r = 0,85$) на участке разреза «Кольский меридиан» (3–7 океанографические станции) по данным 1951–2017 гг. Это определяется практически полным совпадением спектрального состава колебаний температуры, полученной разными методами, во всех диапазонах частот.

Аномалии температуры SST и слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» Баренцева моря, рассчитанные от её многолетних значений за 1951–2017 гг., в 90% случаев совпадают по знаку, а в 81% – их разность не превышает 0,3 °C. В 1996–2017 гг., т.е. в большую часть фазы современного потепления атлантических вод, аномалии температуры были только положительными, а их расхождения оказались меньше 0,2 °C.

Полученные результаты позволили нам рекомендовать к использованию SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря для восстановления пропусков среднегодовой температуры в слое 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» в случае отсутствия наблюдений на нём. Наличие же очень высокого уровня сопряжённости между колебаниями температуры слоёв 0–50 и 0–200 м на этом разрезе за период с 1951 по 2017 г. ($r = 0,96$) позволяет рассчитать уровень теплового состояния водных масс верхней 200-метровой толщи.

С помощью средней годовой температуры SST на полигоне Баренцева моря можно оценивать динамику климатической составляющей теплосодержания вод атлантического генезиса с заблаговременностью несколько лет и использовать её многолетние данные для разработки методики долгосрочного прогноза теплового состояния вод его южной части.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена по личной инициативе, без дополнительного финансирования.

ЛИТЕРАТУРА

- Аверкиев А. С., Булаева В. М., Густоев Д. В., Карпова И. П. 1997. Методические рекомендации по использованию метода сверхдолгосрочного прогнозирования гидрометеорологических элементов (МСПГЭ) и программного комплекса «Призма». Мурманск: Изд-во ПИНРО. 40 с.
- Алексеев Г. В., Булатов Л. В., Захаров В. Ф., Иванов В. В. 1997. Поступление необычно тёплых атлантических вод в Арктический бассейн // Доклады РАН. Т. 356. С. 401–403.
- Алексеев Г. В., Радионов В. Ф., Александров Е. И., Иванов Н. Е., Харланенкова Н. Е. 2015. Изменения климата Арктики при глобальном потеплении // Проблемы Арктики и Антарктики. № 1 (103). С. 32–42.
- Алексеев Г. В., Пнюшков А. В., Смирнов А. В., Вязилова А. Е., Глок Н. И. 2019. Влияние притока из Атлантики на содержание пресной воды в верхнем слое Арктического бассейна // Проблемы Арктики и Антарктики. № 65 (4). С. 363–388.
- Бойцов В. Д. 2006. Изменчивость температуры воды Баренцева моря и её прогнозирование. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 292 с.
- Бойцов В. Д. 2009. Изменчивость температуры воды Баренцева моря и её воздействие на биотические компоненты экосистемы. Автореф. дисс. ... док. географ. наук. СПб: РГГМУ. 49 с.
- Бойцов В. Д. 2012. Межгодовые колебания гидрометеорологических характеристик в Баренцевом море, Северной Атлантике и Северном Ледовитом океане и их сопряжённость // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 9, № 2. С. 61–95.
- Бойцов В. Д. 2021. Долгопериодная изменчивость температуры поверхности Северного и Балтийского морей в 1900–2020 гг. Гидрометеорология и экология // Учёные записки РГГМУ. № 63. С. 236–254. doi: 10.33933/2713–3001–2021–63–236–254
- Бойцов В. Д., Карсаков А. Л., Аверкиев А. С., Густоев Д. В., Карпова И. П. 2010. Исследование изменчивости гидрофи-

- зических характеристик по наблюдениям на разрезе «Кольский меридиан» // Учёные записки РГГМУ. № 15. С. 135–149.
- Карсаков А.Л., Трофимов А.Г., Ившин В.А., Анциферов М.Ю., Густоев Д.В., Аверкиев А.С. 2018. Восстановление данных по температуре воды на разрезе «Кольский меридиан» в 2016–2017 гг. // Труды ВНИРО. Т. 173. С. 193–206.
- Латонин М.М., Башмачников И.Л., Бобылёв Л.П. 2020. Явление арктического усиления и его движущие механизмы // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. Т. 13, № 3. С. 3–19. doi: 10.7868/S2073667320030016.
- Малинин В.Н., Шмакова В.Ю. 2018. Изменчивость энергоактивных зон океана в Северной Атлантике // Фундаментальная и прикладная климатология. Т. 4. С. 55–70. doi.org/10.21513/2410-8758-2018-4-55-70.
- Мохов И.И. 2015. Современные изменения климата Арктики // Вестник РАН. Т. 85. № 5–6. С. 476–486.
- Ожигин В.К., Ившин В.А., Трофимов А.Г., Карсаков А.Л., Анциферов М.Ю. 2016. Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость. Мурманск: ПИПРО. 260 с.
- Рожкова А.Ю., Дмитриенко И.А., Баух Д., Тимохов Л.А. 2008. Изменение свойств баренцевоморской ветви атлантических вод в котловине Нансена под влиянием атмосферной циркуляции над Баренцевым морем // Доклады РАН. Т. 418. № 3. С. 401–406.
- Серых И.В., Костяной А.Г. 2018. Климатические изменения температуры юго-восточной части Балтийского моря // Труды II Всерос. конф. «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». СПб.: Химиздат. С. 584–587.
- Тимохов Л.А., Фролов И.Е., Кассенс Х., Карпий В.Ю., Лебедев Н.В., Малиновский С.Ю., Поляков И.В., Хелеманн Е. 2016. Изменения термохалинных характеристик трансполярной системы Северного Ледовитого океана // Проблемы Арктики и Антарктики. 2 (108). С. 34–49.
- Трешников А.Ф., Баранов Г.И. 1972. Структура циркуляции вод Арктического бассейна. Л.: Гидрометеоздат. 158 с.
- Хаймина О.В., Бойцов В.Д., Карпова И.П. 2012. Вековые колебания климата морей северо-запада России // Учёные записки РГГМУ. № 24. С. 62–74.
- Bashmachnikov I.L., Yurova A.Y., Bobylev L.P., Vesman A.V. 2018. Seasonal and Interannual Variations of Heat Fluxes in the Barents Sea Region // Izvestiya Atmospheric and Ocean Physics. 54 (2). 213–222. doi.org/10.1134/S0001433818020032.
- Belkin I.M. 2009. Rapid warming of large marine ecosystems // Progress in Oceanography. 81 (1). 207–213.
- Boitsov V.D., Karsakov A.L., Trofimov A.G. 2012. Atlantic water temperature and climate in the Barents Sea, 2000–2009 // ICES J. Mar. Sci. 69 (5). 833–840. doi:10.1093/icesjms/fss075.
- Gustafsson B.G., Schenk F., Blenckner T., Eilola K., Meier H.E.M., Müller-Karulis B., Neumann T., Ruoho-Airola T., Savchuk, O. P., Zorita, E. 2012. Reconstructing the development of Baltic Sea eutrophication 1850–2006 // Ambio. 41 (6). 534–548.
- Hartmann D.L., Klein Tank A.M.G., Rusticucci M., Alexander L.V., Brönnimann S., Charabi Y., Dentener F.J., Dlugokencky E.J., Easterling D.R., Kaplan A., Soden B.J., Thorne P.W., Wild M., Zhai P.M. 2013. Observations: Atmosphere and Surface // Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 159–254.
- Huang B., Angel W., Boyer T., Cheng L., Chepurin G., Freeman E., Liu C., Zhang H.-M. 2018. Evaluating SST analyses with independent ocean profile observations // J. Climate. 31 (13). Pp. 5015–5030. doi:10.1175/JCLI-D-17-0824.1.
- Lehmann A., Getzlaff K., Harlaß J. 2011. Detailed assessment of climate variability of the Baltic Sea area for the period 1958–2009 // Climate Research. 46. 185–196.
- Loeng H., Ozhigin V., Aadlandsvik B. 1997. Water fluxes through the Barents Sea // ICES J. Mar. Sci. Vol. 54. P. 310–317.
- Ozhigin V.K., Ingvaldsen R.B., Loeng H., Boitsov V.D., Karsakov A.L. 2011. Introduction to the Barents Sea // The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation. Trondheim: Tapir Academic Press. P. 39–76.
- Semenov V.A. 2008. Influence of oceanic inflow to the Barents Sea on climate variability in the Arctic region // Dokl. Earth Sc. 418 (1). 91–94. doi.org/10.1134/S1028334X08010200.
- Smedsrud L.H., Lars I., Ingvaldsen R.B., Eldevik T., Haugan P.M., Li Camille, Lien V.S., Olsen A., Omar A.M., Otterå O.H., Risebrobakken B., Sandø A.B., Semenov V.A., Sorokina S.A. 2013. The role of the Barents Sea in the Arctic climate system // Reviews of Geophysics. 51(7):1–35. doi:10.1002/rog.20017.
- Sutton R.T., Hodson D.L.R. 2005. Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate // Science. Vol.309, № 5731. 115–118.
- Smith T.M., Reynolds R.W. 2003. Extended reconstruction of global sea surface temperatures based on COADS data (1854–1997) // J. of Climate, 16, 1495–1510. doi: 10/1175/1520-0442-16.10.1495.
- The Barents Sea: Ecosystem, Resources, Management. Half a century Russian-Norwegian cooperation 2011. / Ed.T.Jakobsen, V.K.Ozhigin. Trondheim: Tapir Akademik Press, 825 pp.
- Users Guide by SeaSolve Software Inc. AutoSignal, 2003.
- Yurova A., Bobylev L.P., Zhu Y., Davy R., Korzhikov A. Ya. 2018. Atmospheric heat advection in The Kara Sea region under main synoptic processes // Int. J. Climatol. 39 (1). Pp. 361–374. doi: 10.1002/joc.5811.

REFERENCES

- Averkiev A.S., Bulaeva V.M., Gustoev D.V., Karpova I.P. 1997. Metodicheskie rekomendatsii po ispol'zovaniyu metoda sverkhdolgosrochnogo prognozirovaniya gidrometeorologicheskikh ehlementov (MSPGEH) i programmogo kompleksa «Prizma» [Methodical recommendations on using the method of long-term forecasting of hydrometeorological elements (MSPGE) and the software «Prizma»]. Murmansk: Izd-vo PINRO. 40 s.
- Alekseev G.V., Bulatov L.V., Zakharov V.F., Ivanov V.V. 1997. Postuplenie neobychno teplykh atlanticheskikh vod v Arkticheskij bassejn [Inflow of unusually warm Atlantic

- waters into the Arctic Basins] // *Doklady RAN*. T. 356. S. 401–403.
- Alekseev G. V., Radionov V. F., Aleksandrov E. I., Ivanov N. E., Kharlanenkova N. E. 2015. Izmeneniya klimata Arktiki pri global'nom potepnenii [Arctic climate change under global warming] // *Problemy Arktiki i Antarktiki*. № 1 (103). S. 32–42.
- Alekseev G. V., Pnyushkov A. V., Smirnov A. V., Vyazilova A. E., Glok N. I. 2019. Vliyaniye pritoka iz Atlantiki na sodержaniye presnoj vody v verkhnem sloe Arkticheskogo bassejna [Influence of Atlantic inflow on the freshwater content in the upper layer of the Arctic basin] // *Problemy Arktiki i Antarktiki*. № 65 (4). S. 363–388.
- Bojtsov V. D. 2006. Izmenchivost' temperatury vody Barentseva morya i ee prognozirovaniye [Variability of temperature in the Barents Sea and its forecasting]. Murmansk: Izd-vo PINRO. 292 s.
- Bojtsov V. D. 2009. Izmenchivost' temperatury vody Barentseva morya i ee vozdejstvie na bioticheskie komponenty ehkositemy [Water temperature variability in the Barents Sea and its impact on biotic components of the ecosystem]. Avtoref. diss. ... dok. geograf. nauk. SPb: RGGMU. 49 s.
- Bojtsov V. D. 2012. Mezhhodovyye kolebaniya gidrometeorologicheskikh kharakteristik v Baren-tsevom more, Severnoj Atlantike i Severnom Ledovitom okeane i ikh sopryazhennost' [Interannual variations in hydrometeorological characteristics in the Barents Sea, North Atlantic and Arctic Ocean and their conjugation] // *Voprosy promyslovoj okeanologii*. Vyp. 9, № 2. S. 61–95.
- Bojtsov V. D. 2021. Dolgoperiodnaya izmenchivost' temperatury poverkhnosti Severnogo i Baltijskogo morej v 1900–2020 gg. Gidrometeorologiya i ehkologiya [Long-term variability of the sea surface temperature (SST) in the North and Baltic Seas for the 1900–2020] // *Uchenye zapiski RGGMU*. № 63 S. 236–254. doi: 10.33933/2713–3001–2021–63–236–254
- Bojtsov V. D., Karsakov A. L., Averkiev A. S., Gustoev D. V., Karpova I. P. 2010. Issledovaniye izmenchivosti gidrofizicheskikh kharakteristik po nablyudeniyam na razreze «Kol'skij meridian» [Research of variability hydrophysical characteristics on the «the Kola meridian» cross-section observations] // *Uchenye zapiski RGGMU*. № 15. S. 135–149.
- Karsakov A. L., Trofimov A. G., Ivshin V. A., Antsiferov M. Yu., Gustoev D. V., Averkiev A. S. 2018. Vosstanovleniye dannykh po temperature vody na razreze «Kol'skij meridian» v 2016–2017 gg. [Restoration of data on water temperature in the Kola Section for 2016–2017] // *Trudy VNIRO*. T. 173. S. 193–206.
- Latonin M. M., Bashmachnikov I. L., Bobylev L. P. 2020. Yavleniye arkticheskogo usileniya i ego dvizhushchie mekhanizmy [The Arctic Amplification Phenomenon and Its Driving Mechanisms] // *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika*. T. 13, № 3. S. 3–19. doi: 10.7868/S2073667320030016.
- Malinin V. N., Shmakova V. Yu. 2018. Izmenchivost' ehnergoaktivnykh zon okeana v Severnoj Atlantike [Variability of the energy-active ocean zones in North Atlantic] // *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*. T. 4. S. 55–70. doi.org/10.21513/2410–8758–2018–4–55–70.
- Mokhov I. I. 2015. Sovremennyye izmeneniya klimata Arktiki [Modern climate changes in the Arctic] // *Vestnik RAN*. T. 85. № 5–6. S. 476–486.
- Ozhigin V. K., Ivshin V. A., Trofimov A. G., Karsakov A. L., Antsiferov M. Yu. 2016. Vody Barentseva morya: struktura, tsirkulyatsiya, izmenchivost' [The Barents Sea Water: structure, circulation, variability]. Murmansk: PINRO. 260 s.
- Rozhkova A. Yu., Dmitrienko I. A., Baukh D., Timokhov L. A. 2008. Izmeneniye svojstv barentse-vomorskoj vetvi atlanticheskikh vod v kotlovine Nansena pod vliyaniem atmosfernoj tsirkulyatsii nad Barentsevym morem [Variations in characteristics of the Barents branch of the Atlantic water in the Nansen basin under the influence of atmospheric circulation over the Barents sea] // *Doklady RAN*. T. 418. № 3. S. 401–406.
- Serykh I. V., Kostyanov A. G. 2018. Klimaticheskie izmeneniya temperatury yugo-vostochnoj chasti Baltijskogo morya [Climatic changes in the temperature of the south-east parts of the Baltic Sea] // *Trudy II Vseros. konf. «Gidrometeorologiya i ehkologiya i ehkologiya i perspektivy razvitiya»*. SPb.: Khimizdat. S. 584–587.
- Timokhov L. A., Frolov I. E., Kassens K. H., Karpiv V. Yu., Lebedev N. V., Malinovskij S. Yu., Polyakov I. V., Khelemann E. 2016. Izmeneniya termokhalinnykh kharakteristik transpolyarnoj sistemy Severnogo Ledovitogo okeana [Changes of termohaline characteristics of transpolar system of the Arctic ocean] // *Problemy Arktiki i Antarktiki*. 2 (108). S. 34–49.
- Treshnikov A. F., Baranov G. I. 1972. Struktura tsirkulyatsii vod Arkticheskogo bassejna [Structure of the Arctic Basin water circulation]. L.: Gidrometeoizdat. 158 s.
- Khajmina O. V., Bojtsov V. D., Karpova I. P. 2012. Vekovyye kolebaniya klimata morej severo-zapada Rossii [Centuries of climate fluctuations in the seas of northwest Russia] // *Uchenye zapiski RGGMU*. № 24. S. 62–74.
- Bashmachnikov I. L., Yurova A. Y., Bobylev L. P., Vesman A. V. 2018. Seasonal and Interannual Variations of Heat Fluxes in the Barents Sea Region // *Izvestiya Atmospheric and Ocean Physics*. 54 (2). 213–222. doi.org/10.1134/S0001433818020032.
- Belkin I. M. 2009. Rapid warming of large marine ecosystems // *Progress in Oceanography*. 81 (1). 207–213.
- Bojtsov V. D., Karsakov A. L., Trofimov A. G. 2012. Atlantic water temperature and climate in the Barents Sea, 2000–2009 // *ICES J. Mar. Sci.* 69 (5). 833–840. doi:10.1093/icesjms/ fss075.
- Gustafsson B. G., Schenk F., Blenckner T., Eilola K., Meier H. E. M., Müller-Karulis B., Neumann T., Ruoho-Airola T., Savchuk O. P., Zorita E. 2012. Reconstructing the development of Baltic Sea eutrophication 1850–2006 // *Ambio*. 41 (6). 534–548.
- Hartmann D. L., Klein Tank A. M. G., Rusticucci M., Alexander L. V., Brönnimann S., Charabi Y., Dentener F. J., Dlugokencky E. J., Easterling D. R., Kaplan A., Soden B. J., Thorne P. W., Wild M., Zhai P. M. 2013. Observations: Atmosphere and Surface // *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*

- / Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 159–254.
- Huang B., Angel W., Boyer T., Cheng L., Chepurin G., Freeman E., Liu C., Zhang H.-M. 2018. Evaluating SST analyses with independent ocean profile observations // *J. Climate*. 31 (13). Pp. 5015–5030. doi:10.1175/JCLI-D-17-0824.1.
- Lehmann A., Getzlaff K., Harlaß J. 2011. Detailed assessment of climate variability of the Baltic Sea area for the period 1958–2009 // *Climate Research*. 46. 185–196.
- Loeng H., Ozhigin V., Aadlandsvik B. 1997. Water fluxes through the Barents Sea // *ICES J. Mar. Sci.* Vol. 54. P. 310–317.
- Ozhigin, V.K., Trofimov, A.G., Ivshin, V.A. 2000. The Eastern Basin Water and currents in the Barents Sea // *ICES Document CM*. 2000/L:14. 19 p.
- Ozhigin V.K., Ingvaldsen R.B., Loeng H., Boitsov V.D., Karsakov A.L. 2011. Introduction to the Barents Sea // *The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation*. Trondheim: Tapir Academic Press. P. 39–76.
- Semenov V.A. 2008. Influence of oceanic inflow to the Barents Sea on climate variability in the Arctic region // *Dokl. Earth Sc.* 418 (1). 91–94. doi.org/10.1134/S1028334X08010200.
- Smedsrud L.H., Lars I., Ingvaldsen R.B., Eldevik T., Haugan P.M., Li Camille, Lien V.S., Olsen A., Omar A.M., Otterå O.H., Risebrobakken B., Sandø A.B., Semenov V.A., Sorokina S.A. 2013. The role of the Barents Sea in the Arctic climate system *Reviews of Geophysics*. 51(7):1–35. doi:10.1002/rog. 20017.
- Sutton R.T., Hodson D.L.R. 2005. Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate // *Science*. Vol.309, № 5731. 115–118.
- Smith T.M., Reynolds R.W. 2003. Extended reconstruction of global sea surface temperatures based on COADS data (1854–1997) // *J. of Climate*, 16, 1495–1510. doi: 10/1175/1520-0442-16.10.1495.
- The Barents Sea: Ecosystem, Resources, Management. Half a century Russian-Norwegian cooperation 2011.* / Ed.T. Jakobsen, V.K. Ozhigin. Trondheim: Tapir Akademik Press, 825 pp.
- Users Guide* by SeaSolve Software Inc. AutoSignal, 2003.
- Yurova A., Bobylev L.P., Zhu Y., Davy R., Korzhikov A. Ya. 2018. Atmospheric heat advection in The Kara Sea region under main synoptic processes // *Int. J. Climatol.* 39 (1). Pp. 361–374. doi: 10.1002/joc.5811.

Поступила в редакцию 05.10.2021 г.
Принята после рецензии 05.12.2021 г.