

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЗАМЕРЗАНИЯ И ВСКРЫТИЯ УСТЬЯ р. ОНЕГИ С КОНЦА XVIII В.¹

© 2025 г. Г. С. Ермакова^{а, *}, И. Ю. Милютина^а, О. В. Горелиц^а, В. Н. Крыжов^б

^аГосударственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Росгидромет, Москва, 119034 Россия

^бМосква, 105554 Россия

*e-mail: ermakova_gs@mail.ru

Поступила в редакцию 17.05.2024 г.

После доработки 25.06.2024 г.

Принята к публикации 27.06.2024 г.

В статье представлены результаты анализа временной изменчивости ледового режима в устье р. Онеги. Дан краткий исторический обзор наблюдений за ледовым режимом в устье реки, приведена характеристика основных источников информации за период до начала режимных наблюдений на МГ Онега. Впервые проанализированы сроки и продолжительности ледовых явлений для р. Онега за период с 1780 г. по 2021 г. и показана связь их изменений с изменениями климата. В частности, средняя продолжительность ледового периода сократилась со 177 дней в конце XVIII — начале XIX в. до 133 дней в конце XX — начале XXI в. В среднем, весеннее вскрытие стало происходить на 8 дней раньше, в то время как замерзание — на 34 дня позже. Причем наиболее резкое смещение средних сроков замерзания с ноября на январь произошло в конце XX — начале XXI в. Даны численные оценки вековых трендов и характеристика циклических колебаний ледовых характеристик в устье р. Онеги.

Ключевые слова: ледовый режим, замерзание и вскрытие, изменения климата, температура воздуха, устье Онеги.

DOI: 10.31857/S0321059625010053 EDN: UYEUSO

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи с наблюдающимися значимыми изменениями климата и их очевидным влиянием на разные параметры гидрологического режима проводится большое количество исследований влияния климатических изменений на ледовый режим рек и морей разных регионов России. В работах [9, 26, 28, 40, 41] рассмотрена взаимосвязь между многолетними трендами метеорологических величин, в частности температуры воздуха, и некоторыми характеристиками ледового режима — наличием тех или иных видов ледовых явлений, датами их наступления, продолжительностью, особенностями прохождения. Ряд подобных исследований проведен и непосредственно для региона Белого

морья: в целом по морю в работе [3] и по устью р. Северная Двина в [12].

При этом наличие четкой взаимосвязи между климатом и ледовым режимом позволяет поставить и дополнительную, в каком-то смысле обратную, задачу при проведении подобных исследований — восстановление климатических изменений по данным о ледовом режиме за периоды, в которые не проводилось инструментальных метеорологических наблюдений, но велись визуальные наблюдения за ледовой обстановкой.

Данные глобальной сети метеорологических наблюдений за редким исключением охватывают не более 150 лет. Представления о колебаниях климата за более продолжительный период могут быть получены путем применения методов математического моделирования или анализа археологических и исторических источников и многолетних рядов разных косвенных показателей: гляциологических, лимнологических, гид-

¹ Работа выполнена в рамках госзадания ГОИНа (тема 4.6 “Развитие моделей, методов и технологий мониторинга гидрохимического состояния и загрязнения морей России и оценки гидрологического и гидрохимического состояния морей и морских устьев рек”, государственная регистрация AAAA-A20-120042190045-6 от 21.04.2020).

рологических, дендрохронологических, палинологических [19, 29, 39].

Среди косвенных гидрологических показателей, позволяющих восстанавливать климатические тренды, немаловажны сведения о датах замерзания и вскрытия рек и морей. Возникновение, развитие и разрушение ледяных образований на водных объектах зависит от комплекса факторов, главный из которых — температура воздуха, поэтому сведения о ледовом режиме могут быть использованы как индикатор колебаний климата переходных сезонов [9, 15].

Еще в трудах XIX в. [5, 37] была показана ценность и практическая значимость данных наблюдений за ледовым режимом не только для нужд хозяйства, но и для оценок многолетних колебаний климата России. В работе немецкого географа и климатолога Э. Брюкнера “Климатические колебания с 1700 года” (1890 г.) для анализа многолетних колебаний климата в Европе были использованы среди прочего и сведения о вскрытии и замерзании русских рек [4].

И хотя с тех пор прошло уже более 130 лет, в течение которых накоплены большие массивы метеорологических данных и разработаны более совершенные и современные методы реконструкций климата, однако в отдельных случаях сведения о характерных датах ледового режима все еще могут быть весьма полезны и до сих пор применяются в исследованиях колебаний климата в предшествующие эпохи, например в [20, 31].

Устье р. Онеги относится к одному из немногих мест в России, где имеется ряд наблюдений за замерзанием и вскрытием реки продолжительностью более 200 лет. М. А. Рыкачев в книге “Вскрытия и замерзания вод в Российской империи” [36] — фундаментальной работе 1886 г., обобщающей все имеющиеся на тот момент сведения о сроках замерзания и вскрытия рек нашей страны, — отмечал, что к моменту написания книги в России имелось всего 13 станций с длинной ряд наблюдений за ледовым режимом более 80 лет, в их число входило и устье р. Онеги, в котором наблюдения были начаты в 1780 г. В первое время наблюдения велись силами портовых и таможенных служб, впоследствии с открытием

морской гидрометеорологической станции (МГ) Онега наблюдения за ледовым режимом в устье реки были переданы в ее ведение. К настоящему моменту общая продолжительность периода наблюдений составляет более 240 лет.

Исследование многолетних трендов дат замерзания и вскрытия рек по пунктам со сверхдлинным рядом наблюдений приведено в работе [9], однако в рассматриваемые пункты не включено устье Онеги.

Из работ последнего времени, обобщающих многолетний гидрологический, в том числе и ледовый, режим по устью Онеги, можно назвать [2, 13, 17, 21, 27] и ряд других работ. Однако все они либо ограничиваются анализом более короткого ряда данных наблюдений (с 1916 г.), либо рассматривают гидрологический режим во всех его аспектах, не фокусируясь отдельно именно на ледовом режиме, либо проводят обширные территориальные обобщения по северному региону в целом без прицельного внимания к устью Онеги. Анализ многолетних колебаний характеристик ледового режима в устье р. Онеги за весь исторический период наблюдений с 1780 г. проводится впервые.

ИСТОРИЯ ЛЕДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Изучение ледовых явлений в России имеет богатую историю, уходящую в глубь веков и берущую начало еще в летописных свидетельствах. Подробная история изучения ледовых явлений на реках России начиная с XI в. описана в диссертации В. М. Савенковой [38]. Работа проведена на основе систематизации и обобщения широчайшего набора опубликованных источников и архивных материалов.

Интерес к наблюдениям за ледовыми явлениями в устье р. Онеги возник в связи со спецификой хозяйственной деятельности в этом регионе и колоссальной значимостью моря и реки в жизни местного населения. С древнейших времен основные занятия жителей на территории в устье Онеги были связаны с мореплаванием, рыболовством и морскими промыслами, впоследствии к ним добавилась лесосплавная, лесозаготовительная деятельность и морская торгов-

ля. В регионе, где продолжительность периода с ледовыми явлениями составляет > 5 мес., а все основные занятия населения связаны с морем и рекой, ледовые явления, бесспорно, относятся к одному из главных лимитирующих факторов хозяйственной деятельности и требуют учета и обобщения. Жители территории устья Онеги с давних времен непременно должны были обращать внимание на ледовый режим реки и моря.

До XVIII в. хозяйственная деятельность онежского населения, как и других поморов, ограничивалась традиционными рыбным и зверобойным промыслом, скотоводством, охотой, добычей соли на поморских варницах [18, 44]. Промыслы в арктических морях формировали у поморов богатый морской опыт, в том числе и в том, что касается плавания в ледовых условиях. Об обширных морских знаниях поморов и о созданной ими разнообразной ледовой терминологии подробно рассказано в [34]. По-видимому, они знали многое о сроках прохождения ледовых явлений и о продолжительности ледового периода, однако эти знания не были зафиксированы в источниках.

Новый этап хозяйственного освоения в устье р. Онеги начался в середине XVIII в., когда здесь была начата лесозаготовительная и активная торговая деятельность. К 1764 г. в устье Онеги имелось уже две лесопильни, тогда же были построены канатная фабрика и прядильный двор. Развитие лесозаготовок дало толчок развитию морского судоходства и международной торговли — для вывоза леса в устье р. Онеги стали ежегодно приходить иностранные корабли. В 1780 г. Онега официально получила статус города, в 1781 г. в нем был открыт Онежский морской порт и таможня на о. Кий [18, 44].

Развитие морской торговли требовало обеспечения безопасной навигации, что инициировало начало гидрографических исследований в устье Онеги со второй половины XVIII в. К тому же периоду (1780 г.) относятся и первые документально зафиксированные сведения о вскрытии и замерзании р. Онеги в районе г. Онеги.

Результаты наблюдений за период с конца XVIII до середины XIX в. впервые были опу-

бликованы в газете “Архангельские губернские ведомости” в выпуске от 22 апреля 1850 г. Под заголовком “О вскрытии ото льда и покрытия льдом реки Онеги, противу города Онеги” в газете приведены даты вскрытия и замерзания Онеги за периоды 1780–1800 и 1812–1849 гг. с пометкой, что информация “извлечена из дел Онежской Портовой Таможни и Городского Правления” [7].

Впоследствии при составлении первых статистических сборников по Архангельской губернии эти сведения были процитированы в книге С. Ф. Огородникова “Климат Архангельской губернии” (1868 г.) [33].

В 1860–1870-е гг. Императорское Русское географическое общество занималось сбором сведений со всей России о вскрытии и замерзании рек, позже эти сведения были переданы в Главную физическую обсерваторию для обобщения [36]. В итоге в 1886 г. вышла книга руководителя отделения морской метеорологии обсерватории М. А. Рыкачева “Вскрытия и замерзания вод в Российской империи” [36]. По устью Онеги приведены данные за период 1780–1878 гг. Помимо этого, в [36] приведены разные статистические обобщения и даже первые оценки многолетней изменчивости сроков замерзания и вскрытия рек.

Следующие сводки многолетних данных о датах замерзания и вскрытия были опубликованы в отчетах о портовых изысканиях в устье р. Онеги [6, 27]. На рубеже XIX и XX вв. Онежский порт был одним из наиболее значимых торговых портов Белого моря с постоянно увеличивающимся грузо- и грузооборотом. Между тем в своем естественном состоянии порт был очень неудобен — мелководье устьевого бара препятствовало проходу морских судов вверх по реке до города для погрузки товаров [6]. Для изучения и решения этой проблемы в период с 1896 по 1927 г. в устье Онеги было проведено три серии портовых изысканий [6, 27, 32]. В отчетных материалах и трудах, выпускаемых по результатам изысканий, среди прочего публиковались обобщения многолетних данных по устью р. Онеги. Так, в [27] приведены таблицы продолжительности навигации за 1815–1895 гг., в [6] — таблицы дат вскрытия и замерзания за 1812–1911 гг.

Позднее наблюдения за ледовыми явлениями перешло в ведение гидрометеорологической службы. В 1887 г. в г. Онеге в 6.5 км от устьевого створа реки была открыта МГ Онега [8], с 1915 г. на ней начались наблюдения за ледовыми явлениями [42]. С этого времени результаты наблюдений за датами замерзания и вскрытия стали публиковаться в изданиях гидрометеорологической службы. Данные за многолетний период 1780–1930 гг. обобщены в [8], за период 1915–1963 гг. — в [42]. Данные за период 1974–2021 гг. публиковались в ежегодниках [10, 11, 30]. В настоящее время МГ Онега имеет категорию МГ-2 и находится в ведении “Северное УГМС”.

В связи с многообразием ледовых явлений, наблюдаемых в осенний и весенний периоды, программа наблюдений за ледовым режимом в устье р. Онеги со временем существенно расширилась. Если первые опубликованные сведения о ледовом режиме по данным XVIII–XIX вв. ограничиваются зачастую двумя основными характеристиками — датой замерзания и датой вскрытия реки, то в настоящее время по результатам наблюдений ежегодно составляются сводные ледовые таблицы “Сведения об основных элементах ледового режима”, содержащие более 20 характеристик ледового режима [35].

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В рамках подготовки “Справочно-аналитического обзора гидрологического режима устьевой области реки Онега” [43] собраны сведения по ледовому режиму в устье Онеги. С учетом всех перечисленных источников информации собран ряд данных по датам замерзания и вскрытия р. Онеги у г. Онеги за период с 1780 по 2021 г.

Сведения о датах замерзания и вскрытия реки за период 1780–1914 гг., приводимые в [6, 8, 33, 36], зачастую достаточно разрозненны, при составлении рядов данных они по возможности максимально унифицировались. При наличии информации за дату замерзания принималась дата окончательного ледостава, за дату вскрытия — дата, наиболее близкая к полному очищению реки ото льда.

С 1915 г. за даты замерзания приняты даты окончательного полного замерзания, за даты вскрытия — даты окончательного полного очищения ото льда, опубликованные в [10, 11, 30, 42].

В рядах собранных данных имеются пропуски, отсутствует информация за периоды 1801–1811 и 1912–1913 гг. В период с 1964 по 2011 г. данные отрывочны — из 48 лет данные имеются только за 22 года. С учетом имеющихся пропусков к приведенным ниже обобщениям за этот период следует относиться с осторожностью.

К 2021 г. общая продолжительность периода наблюдений составляет 242 года. В связи с наличием пропусков общее количество лет, за которые имеются данные, составляет 195 лет по датам замерзания и 191 год по датам вскрытия.

Для выявления многолетних изменений климата и их взаимосвязи с изменениями ледового режима р. Онеги использован архив данных по температуре воздуха из базы данных АИСОРИ ВНИИГМИ-МЦД [1].

Непосредственно в устье р. Онеги метеорологические наблюдения ведутся на МГ Онега. Наиболее очевидный метеорологический параметр, влияющий на динамику дат вскрытия и замерзания, — дата перехода через 0°C температуры воздуха осенью и весной. Ряды данных по датам устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C к положительным значениям весной и к отрицательным значениям осенью для МГ Онега имеются за период с 1916 г.

Так как ряд данных по датам вскрытия и замерзания имеется за более длительный период (с 1780 г.), для анализа многолетних изменений климата использованы характеристики, по которым имеются более продолжительные ряды данных — среднемесячные значения температуры воздуха. Анализ графиков связи дат перехода температуры воздуха через 0°C весной и осенью со среднемесячными значениями температуры за разные месяцы показал, что наибольшая корреляция дат перехода весной и осенью наблюдается с температурой апреля и ноября соответственно.

По МГ Онега имеется ряд данных по среднемесячным значениям температуры воздуха только за период с 1888 г. В связи с этим для анализа привлечены данные метеорологической станции (М) Архангельск, имеющей более продолжительный ряд наблюдений (с 1814 г.). М Архангельск расположена в устье р. Северная Двина, в 133 км к северо-востоку от МГ Онега.

Графики связи между среднемесячными значениями температуры воздуха апреля и ноября по двум метеостанциям за период, когда наблюдения велись на обеих станциях (1888–2021 гг.), приведены на рис. 1.

Графики демонстрируют наличие высокой корреляции между двумя рядами как для ноября (рис. 1а), так и для апреля (рис. 1б). Это позволяет для анализа связи между среднемесячными значениями температуры воздуха и датами вскрытия и замерзания устья р. Онеги использовать ряды по М Архангельск.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОЗДУХА И ДАТАМИ ЗАМЕРЗАНИЯ И ВСКРЫТИЯ

Для совместного анализа многолетней изменчивости среднемесячных значений температуры воздуха и дат ледового режима проведено ис-

следование связи между средней температурой воздуха в ноябре и датой замерзания (рис. 2а) и между средней температурой воздуха в апреле и датой вскрытия (рис. 2б).

Графики демонстрируют наличие достаточно хорошей связи между рассматриваемыми параметрами, коэффициенты корреляции для замерзания составляют 0.70, для вскрытия — 0.73. Наибольшие выбросы характерны для лет с аномально теплой погодой осенью и в начале зимы и аномально холодной погодой весной. В такие годы имели место очень позднее замерзание и позднее вскрытие, вследствие чего температура воздуха в рассматриваемые месяцы (ноябрь и апрель) не была определяющим фактором для сроков замерзания и вскрытия.

Так, в годы, когда замерзание происходило в январе — феврале, сроки замерзания зависели уже не только и не столько от температурного режима в ноябре, но и от температуры декабря. Именно такие случаи выделены красным контуром на рис. 2а. Аналогичным образом дело обстоит и с поздним вскрытием, происходившим в июне, на сроки которого влияла температура воздуха не только в апреле, но и в мае. Однако за всю историю наблюдений зафиксировано всего два таких случая (рис. 2б).

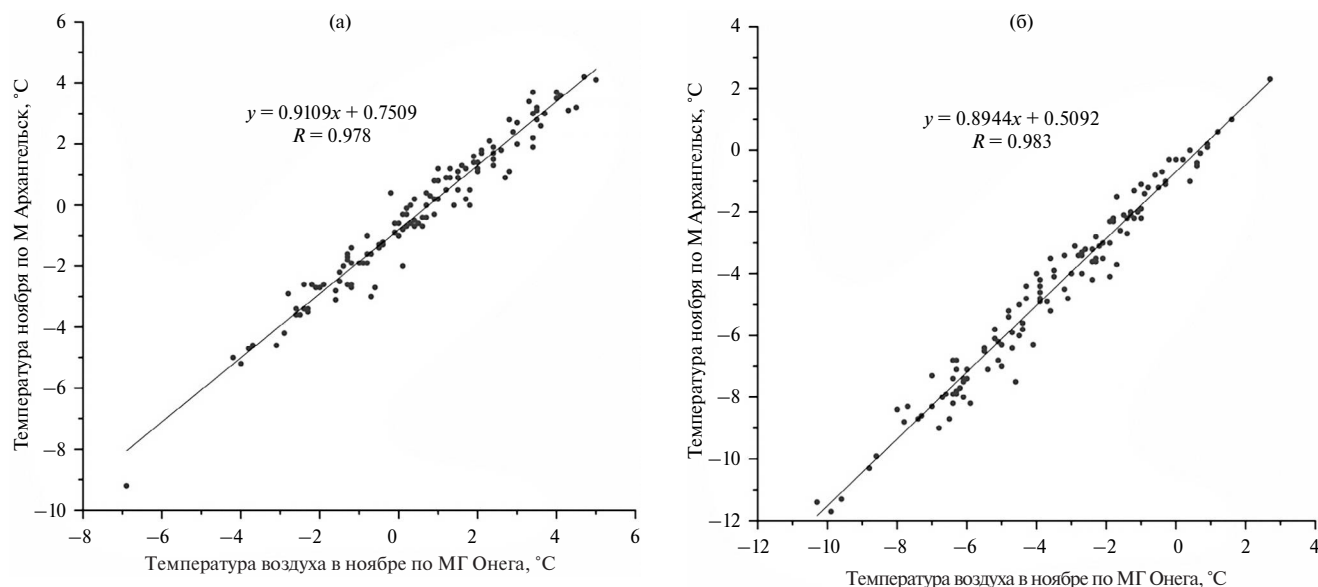


Рис. 1. График связи среднемесячных значений температуры воздуха ноября (а) и апреля (б) по МГ Онега и М Архангельск за период 1888–2021 г.

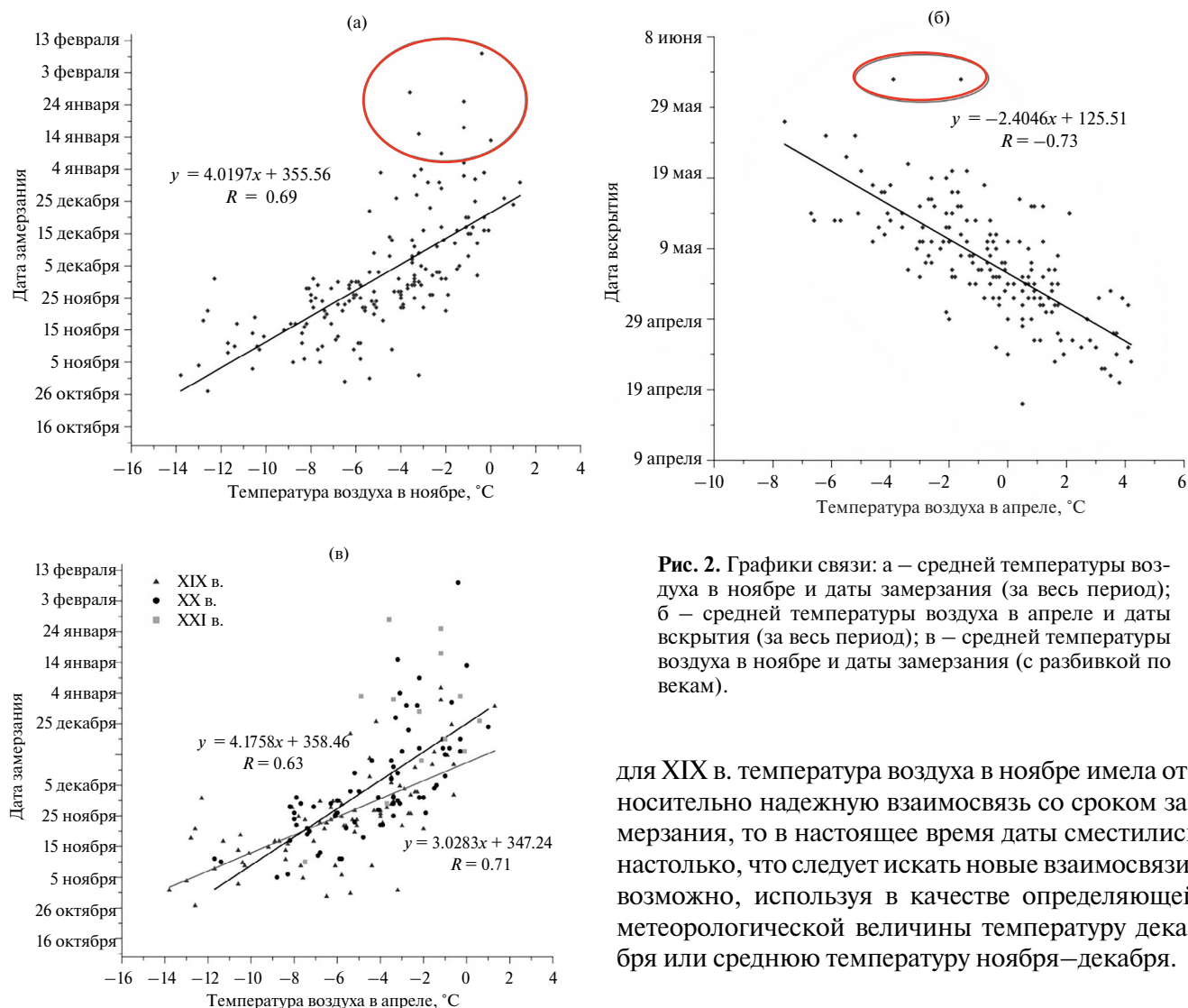


Рис. 2. Графики связи: а — средней температуры воздуха в ноябре и даты заморозания (за весь период); б — средней температуры воздуха в апреле и даты вскрытия (за весь период); в — средней температуры воздуха в ноябре и даты заморозания (с разбивкой по векам).

График на рис. 2в аналогичен графику на рис. 2а, но на нем разными разными символами обозначены точки, относящиеся к разным векам. В связи с тем, что позднее заморозание характерно больше для конца XX в. — XXI вв., точки на графике, относящиеся к XIX в., лежат более однородно вдоль линии тренда и коэффициент корреляции для них выше. Точки XX в. имеют больший разброс, многие из них попадают уже в область позднего заморозания. Точки XXI в. уже не имеют никакой связи. Впрочем, данных по XXI в. пока слишком мало, чтобы делать окончательные выводы.

Проведенный анализ связи свидетельствует о том, что происходящие в конце XX в. — XXI в. изменения климата приводят к нарушению изначально достаточно устойчивых связей. И если

для XIX в. температура воздуха в ноябре имела относительно надежную взаимосвязь со сроком заморозания, то в настоящее время даты сместились настолько, что следует искать новые взаимосвязи, возможно, используя в качестве определяющей метеорологической величины температуру декабря или среднюю температуру ноября–декабря.

Интересно отметить, что изменение фоновых климатических условий проявилось и в изменении форм атмосферной циркуляции, оказывающих преобладающее влияние на сроки заморозания и вскрытия в устье р. Онеги.

В XIX и XX вв. сроки заморозания значимо коррелировали с температурой воздуха в ноябре (рис. 2в) с коэффициентами 0.71 и 0.63 соответственно. Из комплекса региональных циркуляционных индексов, предложенных Э. Барстоном и Р. Ливзи [46], температура воздуха в осенний период по М Архангельск наилучшим образом (отрицательно) коррелирует с индексом EA/WR (East Atlantic/Western Russia) с коэффициентом порядка $-0.5 \dots -0.7$ [22]. Отрицательной (положительной) фазе формы изменчивости циркуляции в средней тропосфере, описываемой

индексом EA/WR, соответствуют аномальные ложбина (гребень) над Скандинавией и гребень (ложбина) над Северным Уралом; т. е. в XIX и XX вв. поздние (ранние) сроки замерзания были связаны, главным образом, с аномальной адвекцией в исследуемый регион теплого воздуха с юго-запада (холодного с северо-запада) между аномальными ложбиной (гребнем) на западе и гребнем (ложбиной) на востоке.

Начиная с конца XX в. в связи со смещением дат замерзания на декабрь — январь и уменьшением роли ноябрьской температуры в наступлении сроков замерзания повысилась роль аномальной зимней зональной циркуляции, описываемой индексом Арктической осцилляции (АО) [49], т. е. аномальным преобладанием адвекции теплого влажного воздуха в исследуемый район с акватории Северной Атлантики при положительной фазе АО и аномальным усилением адвекции холода с востока при отрицательной фазе АО [23].

Для весеннего периода при наличии хорошей зависимости сроков вскрытия от температуры воздуха в апреле изменчивость обусловлена, главным образом, аномалиями адвекции в исследуемый регион теплого воздуха с юго-запада или холодного с северо-запада, описываемыми индексом EA/WR. Корреляция весенних значений температуры с индексом EA/WR составляет $-0.6 \dots -0.7$ [22].

При этом следует отметить заметное фоновое влияние климатических условий предшествующей зимы на сроки вскрытия благодаря положительной обратной связи между температурой воздуха и смещением дат вскрытия на более ранние сроки. Это влияние подробно рассмотрено в работах [24, 47]. Зимние термические условия определяются, главным образом, аномалиями западного переноса, т. е. фазами АО [49]. При этом синхронные корреляции между зимними аномалиями температуры в рассматриваемом регионе и индексом АО > 0.7 [47].

АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ

В рамках подготовки “Справочно-аналитического обзора гидрологического режима устьевой

области реки Онега” [43] по имеющемуся ряду проведен анализ многолетних изменений различных характеристик ледового режима за исторический период и период наблюдений. Осредненные и характерные (наиболее ранние и наиболее поздние сроки наступления ледовых явлений) значения характеристик ледового режима приведены в [43] с обобщением по периодам, выделенным исходя из общих тенденций изменения климата, без подробного исследования климатических трендов в рассматриваемом регионе.

В настоящей работе внимание сфокусировано на анализе динамики дат вскрытия и замерзания в связи с многолетними климатическими изменениями в рассматриваемом регионе. Для выделения периодов обобщения построены разностно-интегральные кривые (РИК) (рис. 3, 4). На рис. 3 совмещены РИК по температуре ноября и дате замерзания, на рис. 4 — по температуре апреля и дате вскрытия. Для дат вскрытия и замерзания РИК приводится только до 1963 г. в связи с большим количеством пропусков в данных наблюдений в последующие годы.

Пунктирными линиями на рис. 3, 4 отмечены границы выделенных периодов обобщения. В целом колебания температуры и дат синфазные, однако есть и локальные расхождения. На обоих графиках выделено по 8 периодов, на основе анализа которых ниже будет показана цикличность изменений климата и соответствующая ей цикличность изменений сроков вскрытия и замерзания. Кроме того, выделено четыре крупных периода, одинаковых для замерзания и вскрытия (1780–1820, 1821–1900, 1901–1987, 1988–2021 гг.), по которым подсчитаны средние и характерные сроки замерзания и вскрытия (табл. 1).

В среднем за исторический период замерзание происходит 29 ноября. Самое раннее замерзание зафиксировано 27 октября 1852 г., самое позднее — 9 февраля 1983 г. Вскрытие в среднем происходит 7 мая, самое раннее вскрытие наблюдалось 17 апреля 1822 г., самое позднее — 2 июня 1814 и 1867 гг.

За период 1780–2021 гг. наблюдается последовательное и довольно значимое смещение средней даты замерзания на более поздние сроки: с середи-

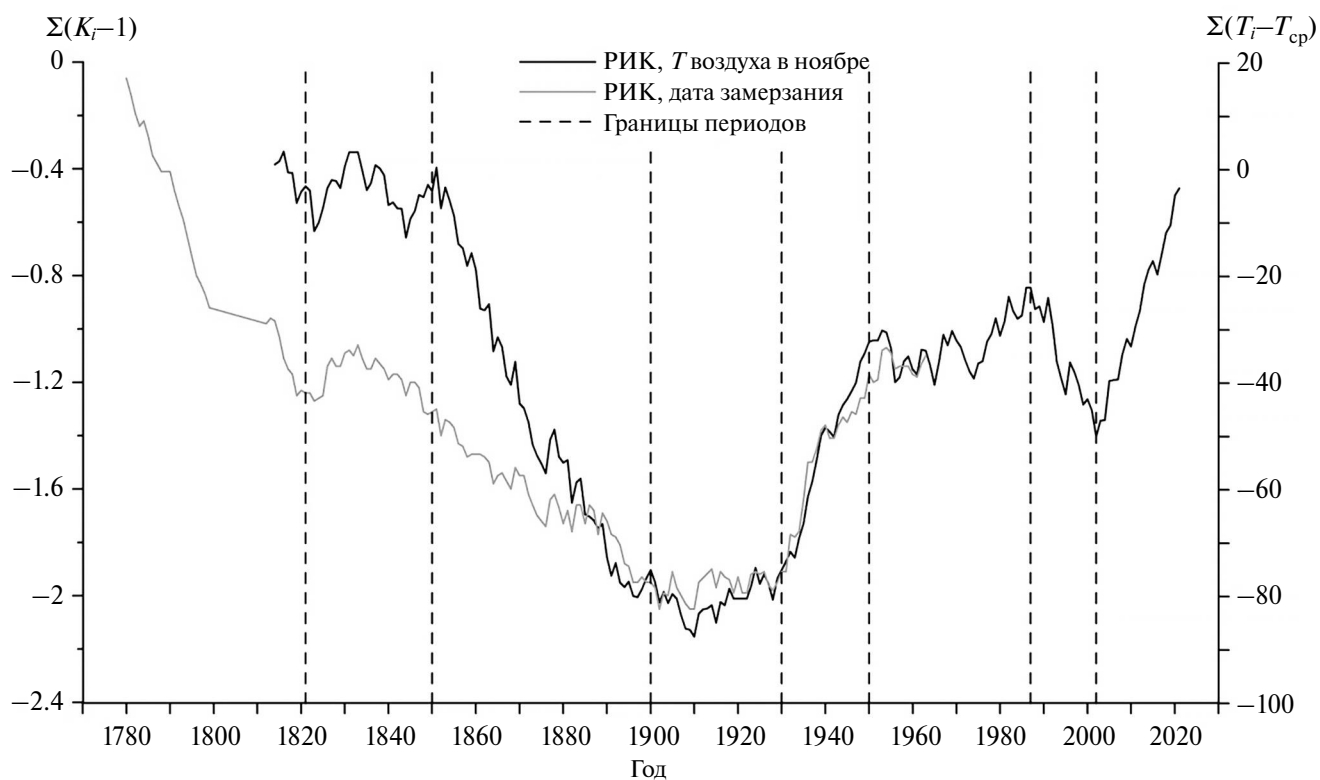


Рис. 3. Разностно-интегральные кривые среднемесячной температуры T воздуха в ноябре (по правой вертикальной оси) и даты замерзания (по левой вертикальной оси).

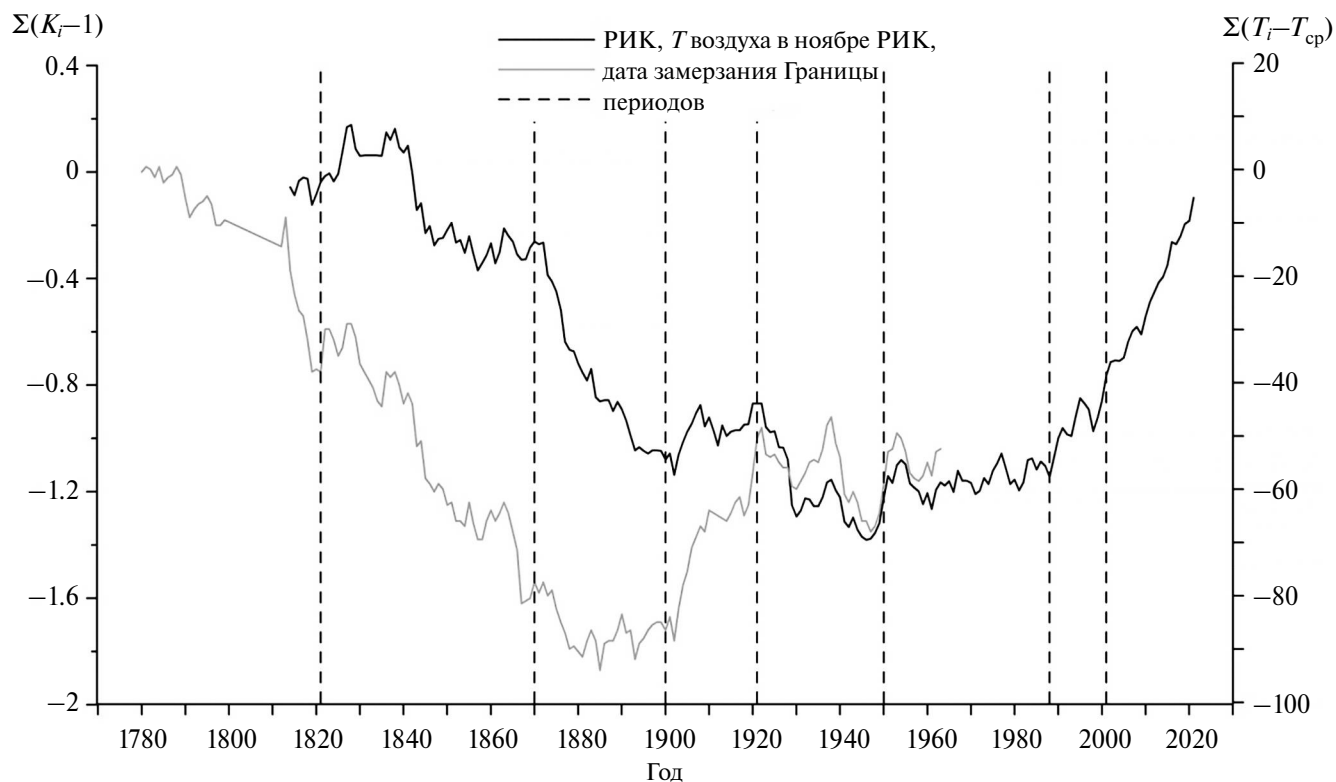


Рис. 4. Разностно-интегральные кривые среднемесячной температуры T воздуха в апреле (по правой вертикальной оси) и даты вскрытия (по левой вертикальной оси).

ны ноября в 1780–1820 гг. на конец ноября в 1821–1900 гг., затем на начало декабря в 1901–1987 гг. и, наконец, на вторую декаду декабря в 1988–2021 гг. За весь период средний срок замерзания смещается с 14 ноября на 19 декабря, т. е. на 35 дней.

Дата вскрытия реки, наоборот, смещается на более ранние сроки, однако это не столь заметно, как у дат замерзания. Средняя дата вскрытия смещается с 10 мая в 1780–1820 гг. на 2 мая в 1988–2021 гг., т. е. всего на 8 дней.

Интересно рассмотреть случаи, когда река покрывалась льдом в зимние месяцы следующего календарного года. Всего зафиксировано 14 таких зим. Однако, если в период 1780–1820 гг. таких зим не было вообще, в период 1820–1900 гг. это были единичные случаи (в начале января 1827 и 1884 гг.), то в 1900–1987 гг. зим с замерзанием в первой половине января было 6 за 87 лет, а в последний период (1988–2021 гг.) зафиксировано также 6 случаев, но уже за 24 года, причем сроки замерзания нередко смещаются к концу января — началу февраля.

На рис. 5 приведены совмещенные графики изменения дат вскрытия и замерзания за пери-

оды до и после 1900 г. Вертикальные оси для дат вскрытия и дат замерзания имеют одинаковый шаг деления (10 дней), что позволяет сопоставить масштаб изменения рассматриваемых характеристик.

Графики на рис. 5 показывают следующее: во-первых, у дат замерзания больше дисперсия, чем у дат вскрытия; во-вторых, у дат замерзания наблюдается более значимое изменение за рассматриваемый исторический период; в-третьих, тренд изменения для обеих характеристик более явный в XX–XXI вв. по сравнению с XVIII–XIX вв. Это же подтверждают данные, приведенные в табл. 1.

Для более детального анализа многолетних колебаний построены графики температуры, дат замерзания и вскрытия с указанием средних значений по восьми периодам (рис. 6–9), выделенным по РИК (рис. 3, 4). Для 1780–1820 гг. данных по температуре воздуха нет, однако для удобства сопоставления на всех графиках используется единая шкала по горизонтальной оси.

На рис. 6 и 8 показано наличие общего положительного тренда температуры воздуха ноября

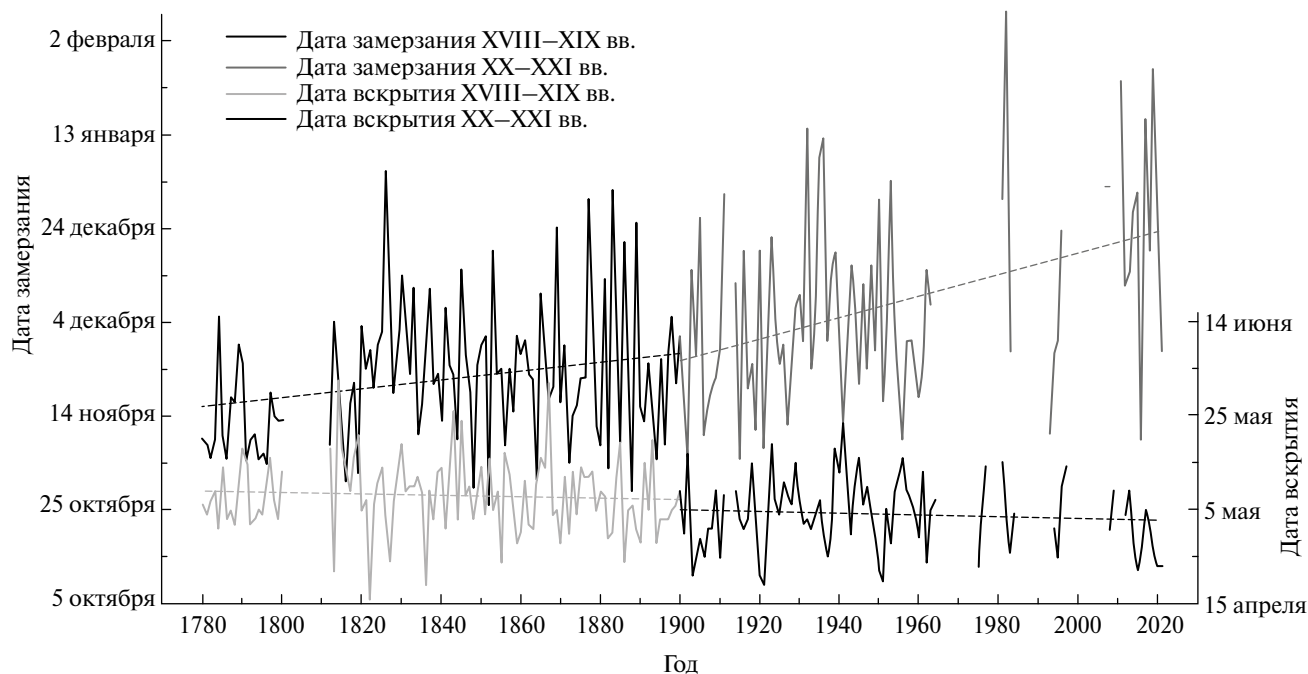


Рис. 5. График колебания дат замерзания и вскрытия за XX–XXI вв. Линейные тренды показаны пунктирными линиями.

Таблица 1. Замерзание и вскрытие р. Онеги у г. Онеги за период 1780–2021 гг.

Период	Характеристика	Дата		Продолжительность	
		замерзания	вскрытия	периода со льдом (от замерзания до вскрытия)	периода безо льда (от вскрытия до замерзания)
Весь период наблюдений 1780–2021 гг.	Средняя	29 ноября	7 мая	159	206
	Поздняя/наибольшая	09.02.1983	02.06.1814 02.06.1867	197 (1864/65 г.)	276 (2019 г.)
	Ранняя/наименьшая	27.10.1852	17.04.1822	77 (1983 г.)	163 (1852 г.)
1780–1820 гг.	Средняя	14 ноября	10 мая	177	189
	Поздняя/наибольшая	06.12.1784	02.06.1814	193 (1796/97 г.)	226 (1813 г.)
	Ранняя/наименьшая	01.11.1816	23.04.1813	160 (1784/85 г.)	165 (1819 г.)
1821–1900 гг.	Средняя	26 ноября	8 мая	164	201
	Поздняя/наибольшая	06.01.1826	02.06.1867	197 (1864/65 г.)	248 (1826 г.)
	Ранняя/наименьшая	27.10.1852	17.04.1822	109 (1827 г.)	163 (1852 г.)
1901–1987 гг.	Средняя	5 декабря	5 мая	152	213
	Поздняя/наибольшая	09.02.1983	25.05.1941	181 (1941/42 г., 1956/57 г.)	257 (1936 г.)
	Ранняя/наименьшая	05.11.1902	20.04.1921	77 (1983 г.)	170 (1941 г.)
1988–2021 гг.	Средняя	19 декабря	2 мая	133	235
	Поздняя/наибольшая	28.01.2019	15.05.1997	177 (2016/17 г.)	276 (2019 г.)
	Ранняя/наименьшая	10.11.2016	23.04.2015	87 (2020 г.)	197 (2016 г.)

и апреля (серые пунктирные линии) в целом за рассматриваемый период. Температура ноября выросла в среднем на 2,0°C, апреля — на 1,9°C, что согласуется с описанным выше смещением даты замерзания на более поздние сроки и даты вскрытия на более ранние сроки. Кроме того, на общий положительный тренд накладываются циклические колебания с последовательной сменой периодов повышенной и пониженной температуры.

График изменения даты замерзания (рис. 7) демонстрирует отчетливый отклик на колебания температуры ноября (рис. 6), полностью повторяя циклы, в течение которых сроки замерзания смещаются на более поздние даты при повышении температуры и на более ранние даты — при понижении. Особенно выделяется первый период — 1780–1820 гг. Средняя дата замерзания для него приходится на 14 ноября, что на 10–40 дней раньше, чем во все прочие периоды. Такие аномально холодные условия в период замерзания в конце XVIII в. — начале XIX в. можно объяснить тем, что на этот период пришлась последняя фаза так называемого малого ледникового периода (МЛП) [48], имевшего место в период с XIII в. по середину XIX в. [14–16, 25, 45]. Временные рам-

ки МЛП сильно варьируют по разным оценкам и для разных регионов, однако в целом многие исследователи [14, 16, 25, 45, 48] сходятся на том, что в Европе конец XVIII в. — начало XIX в. были периодом похолодания, чем, возможно, и объясняется стабильно раннее замерзание устья Онеги в этот период.

Между колебаниями температуры воздуха в апреле (рис. 8) и дат вскрытия (рис. 9) не прослеживается такого же четкого соответствия, как между колебаниями температуры воздуха в ноябре и дат замерзания. Однако в целом изменение даты вскрытия зеркально отражает изменение температуры. Следует отметить, что в XIX в. циклы прослеживаются нечетко, средняя дата вскрытия существенно не меняется, колеблясь в диапазоне 7–10 мая. В XX в. изменения даты вскрытия лучше выражают колебания температуры воздуха, на фоне повышения температуры воздуха отмечено смещение даты на конец апреля — первые числа мая.

Значительные пропуски в данных наблюдений во второй половине XX в. и в XXI в. не позволяют провести более подробный анализ многолетних колебаний с оценкой характерных

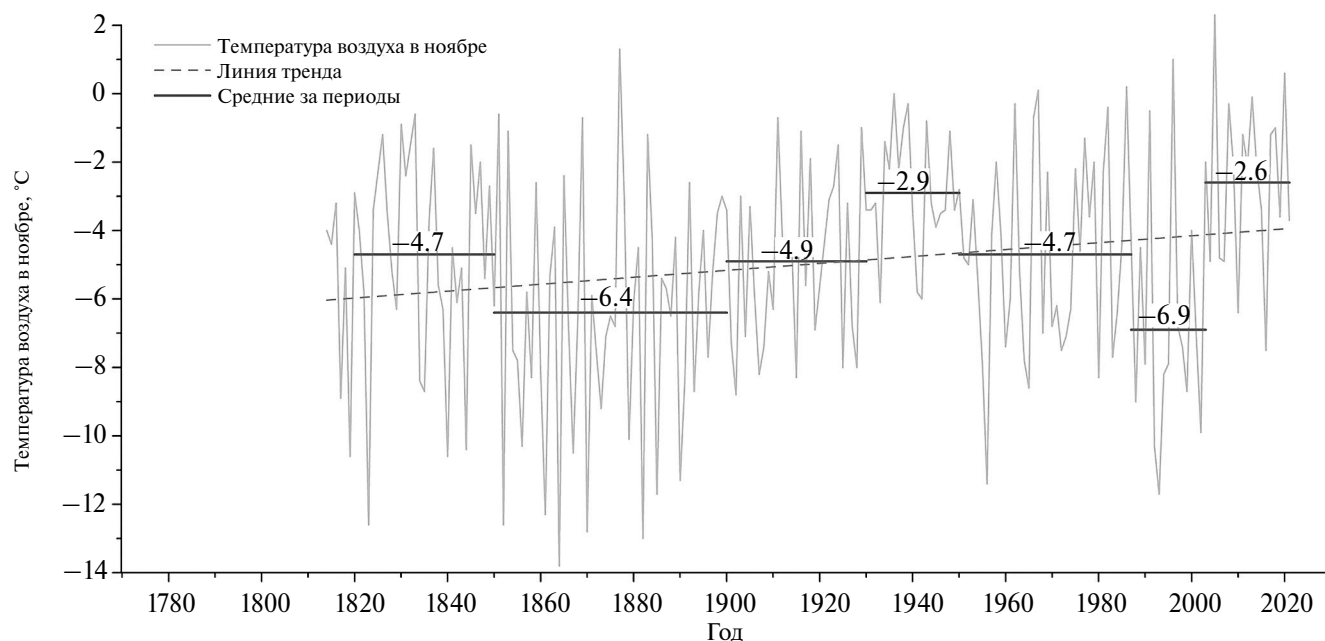


Рис. 6. Средняя температура воздуха в ноябре по М Архангельск за период 1780–2021 гг.

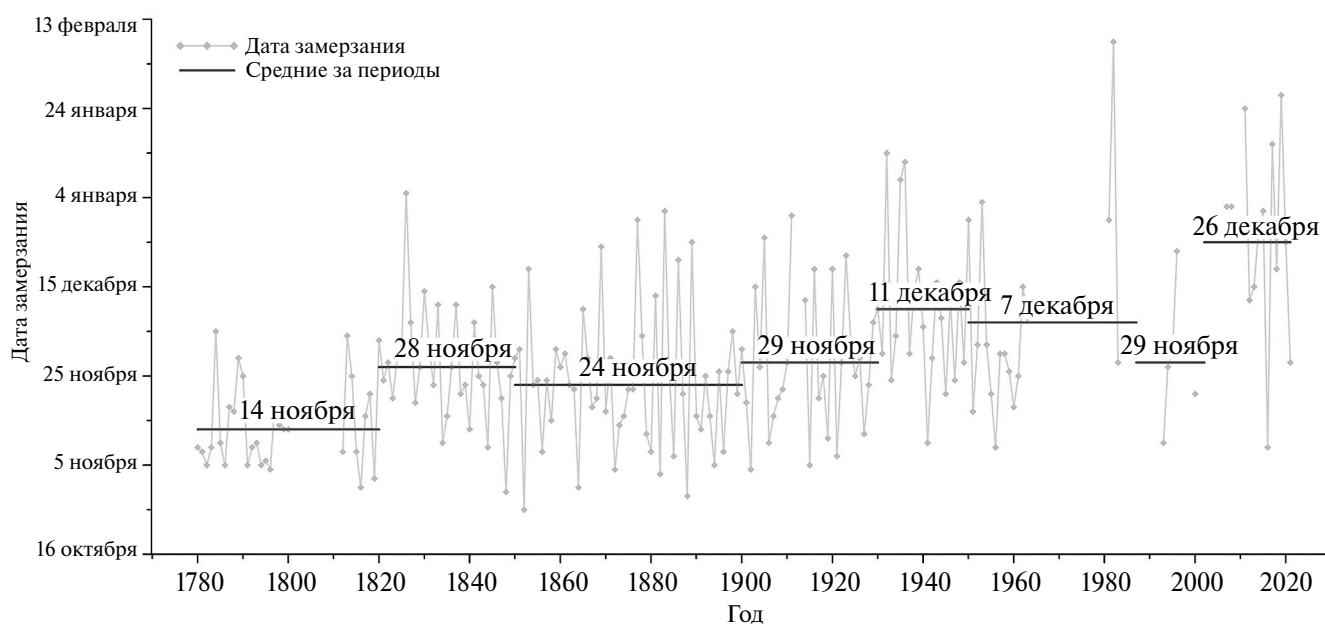


Рис. 7. Дата замерзания р. Онеги у г. Онеги за период 1780–2021 гг.

значений и статистических параметров сроков замерзания и вскрытия для выделенных восьми периодов.

Выше отмечено, что метеорологический параметр, в наибольшей мере определяющий условия вскрытия и замерзания, — дата перехода температуры воздуха через 0°C . Подробных еже-

годных данных по этой характеристике для устья р. Онеги за 1780–1914 гг. нет, однако в работе М.А. Рыкачева [36] (1886 г.) приведены средние значения этой характеристики для р. Онеги у г. Онеги за предшествующий период, которые можно условно отнести к средним для XIX в. Сопоставление этих величин с современными данными по МГ Онега показало следующее.

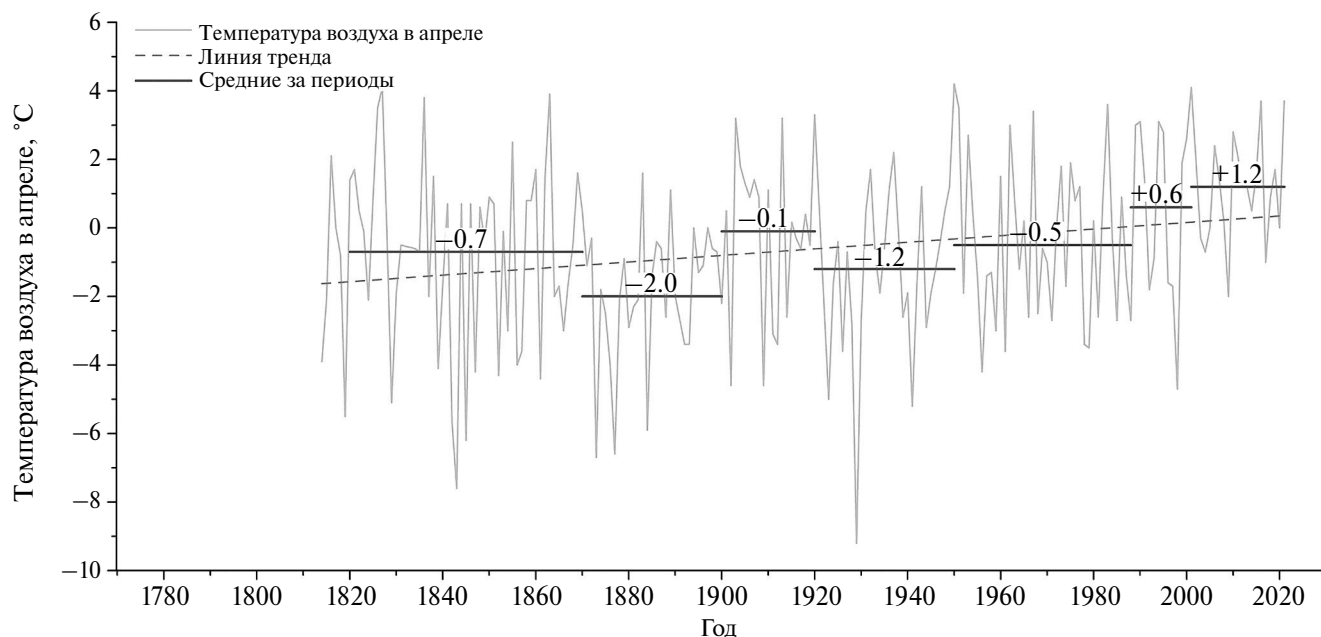


Рис. 8. Средняя температура воздуха T в апреле по М. Архангельск за период 1780–2021 гг.

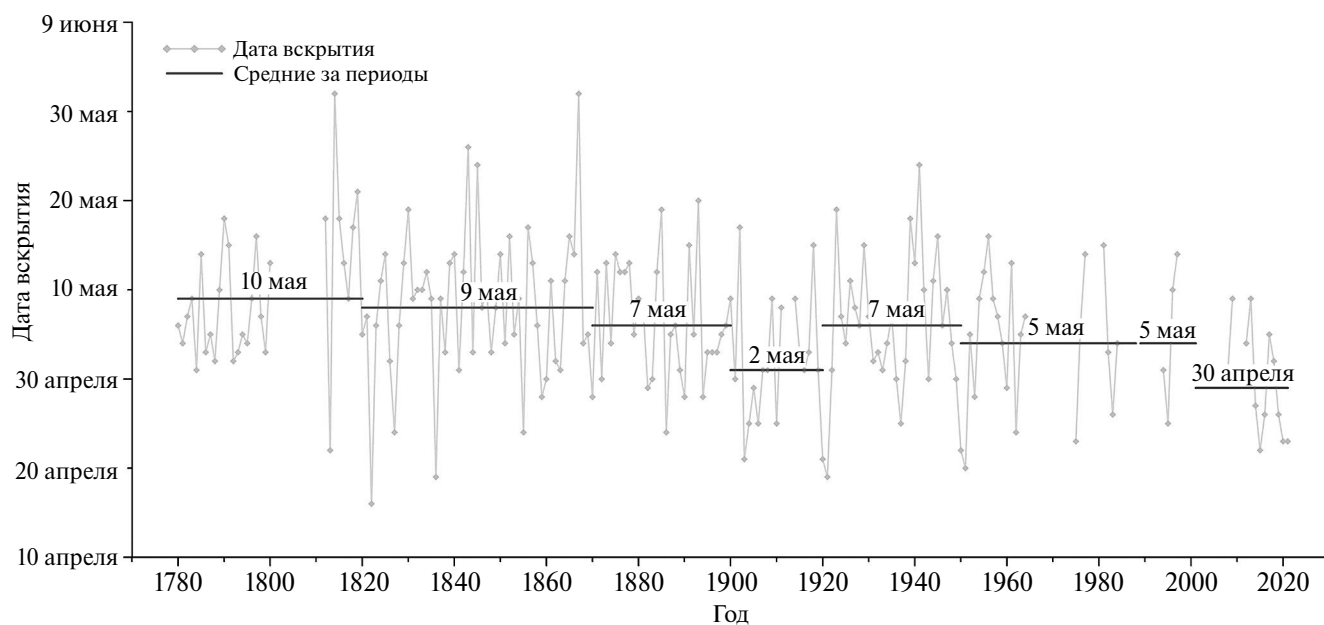


Рис. 9. Дата вскрытия р. Онеги у г. Онеги за период 1780–2021 гг.

Даты перехода температуры воздуха через 0°C в устье р. Онеги в XIX в. в среднем приходились на 17 апреля и 22 октября [36]. По данным наблюдений на МГ Онега за период 1915–2021 гг., средние даты приходятся на 14 апреля и 31 октября, т. е. наблюдается смещение на 3 и 9 дней соответственно. Менее значимое смещение даты перехода температуры через 0°C весной и стало причиной того, что средняя дата вскрытия по

сравнению с датой замерзания сместилась не так сильно.

По датам замерзания и вскрытия рассчитана продолжительность периодов со льдом (от даты замерзания в предшествующий год до даты вскрытия за текущий год – рис. 10) и периода безо льда (от даты вскрытия до даты замерзания за текущий год – рис. 11).

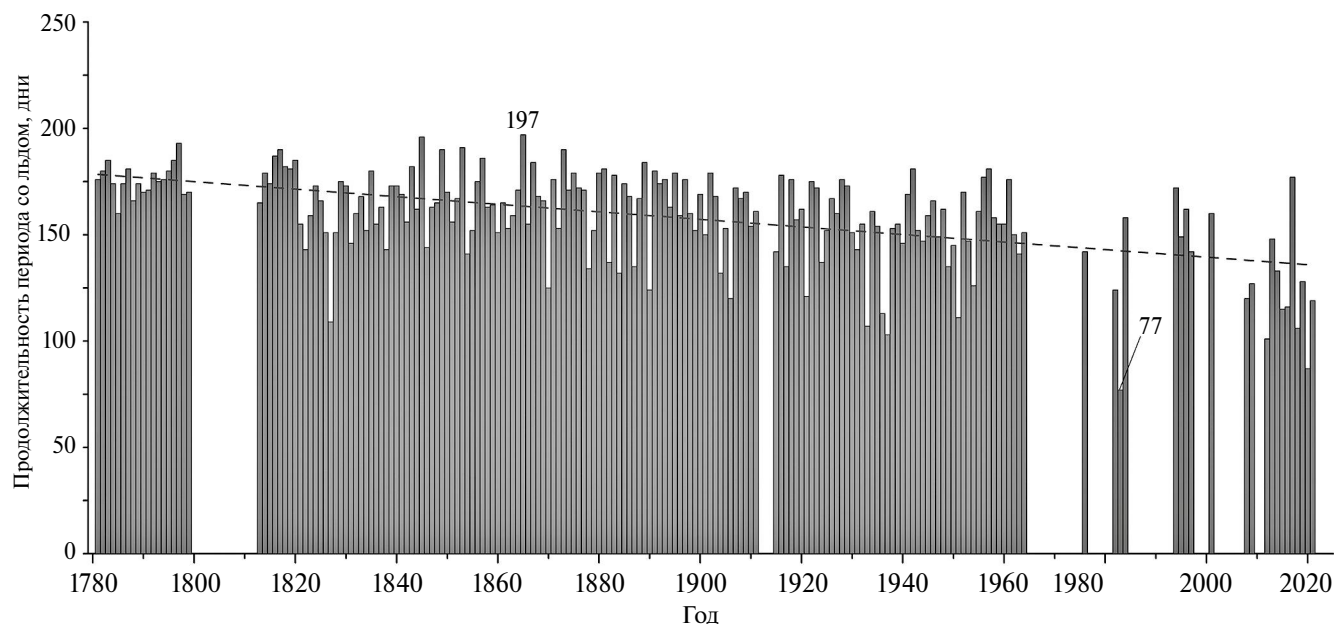


Рис. 10. Продолжительность периода со льдом (от замерзания до вскрытия) за 1780–2021 гг. Пунктир – линейный тренд.

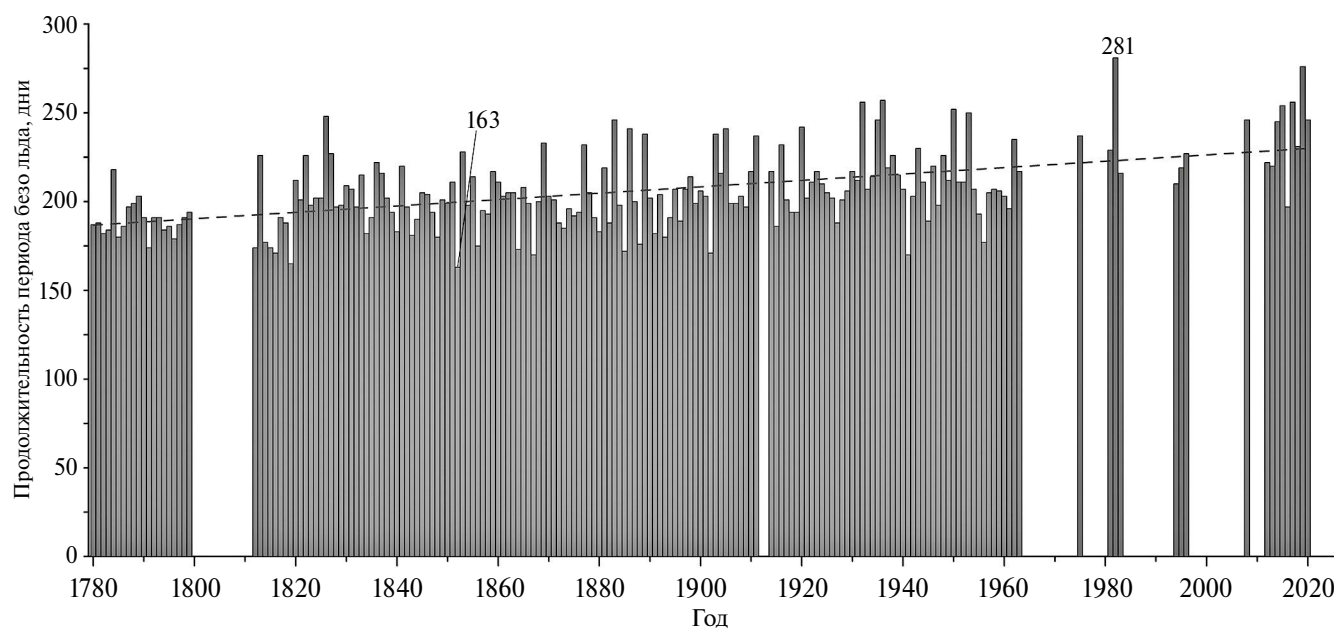


Рис. 11. Продолжительность периода безо льда (от вскрытия до замерзания) за 1780–2021 гг. Пунктир – линейный тренд.

В среднем продолжительность периода со льдом в устье р. Онеги составляет 159 дней (табл. 1; рис. 10). Причем, прослеживается тенденция к уменьшению продолжительности этого периода, особенно ярко выраженная в последние десятилетия. Продолжительность сократилась от 177 дней в период 1780–1820 гг. до 133 дней в период 1988–2021 гг. Основной вклад в сокращение периода со льдом вносит смещение дат

замерзания на более поздние сроки. Наибольшая продолжительность периода со льдом составила 197 дней и зафиксирована в зимний сезон 1864/1865 г., когда река рано (1 ноября) замерзла и относительно поздно (17 мая) вскрылась. Наименьший период, когда река была покрыта льдом (77 дней), отмечен зимой 1983 г., тогда было зафиксировано наиболее позднее замерзание за весь период наблюдений.

В среднем за анализируемый период устье р. Онеги оставалось свободным ото льда 206 дней (табл. 1; рис. 11). Средняя продолжительность периода безо льда постепенно увеличивается — от 189 дней в период 1780–1820 гг. до 235 дней в период 1988–2021 гг. Самый короткий период безо льда составил 163 дня и наблюдался в 1852 г., когда после довольно позднего (17 мая) вскрытия произошло наиболее раннее (27 октября) за рассматриваемый период замерзание реки. Самый продолжительный период безо льда (281 день) наблюдался в 1982 г., когда дата весеннего вскрытия (4 мая) была близка к среднелетней, а замерзание произошло лишь в следующем календарном году — 9 февраля 1983 г. (наиболее поздняя дата замерзания за исторический период).

Наблюдаются значимые изменения соотношения продолжительностей двух периодов. Если в 1780–1820 гг. средняя продолжительность периода безо льда была всего на 12 дней больше, чем продолжительность периода со льдом, то в 1988–2021 гг. эта разница составляет уже ~ 100 дней (табл. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ледовый режим в устье р. Онеги чутко реагирует на изменения климата, отражая как общие многолетние тренды, так и отдельные циклические колебания, накладывающиеся на эти тренды. В результате анализа собранной информации выявлены основные закономерности многолетней изменчивости дат вскрытия и замерзания за период с 1780 по 2021 г. Отмечен базовый многолетний тренд на смещение дат замерзания реки на более поздние сроки, дат вскрытия — на более ранние. Причем степень смещения для даты замерзания выражена более ярко и составляет 35 дней в среднем за анализируемый период. Для даты вскрытия смещение составляет 8 дней. На фоне общего тренда наблюдаются отдельные циклы снижения и повышения температуры воздуха и соответствующие им сдвиги сроков вскрытия и замерзания.

В целом за анализируемый период отмечено уменьшение продолжительности периода с ледовыми явлениями и соответствующее ему

увеличение продолжительности периода безо льда — на 45 дней. Сокращение периода с ледовыми явлениями происходит в основном за счет смещения дат замерзания на более поздние сроки.

Выявленные взаимосвязи между климатом и ледовым режимом и синфазность колебаний температуры воздуха и характерных дат ледового режима открывают широкий простор для дальнейших исследований — как ретроспективного анализа климатических колебаний по данным о ледовом режиме, так и перспективных исследований возможных будущих изменений ледового режима в зависимости от прогнозируемых изменений климата.

Найденное нарушение действующей взаимосвязи между температурой воздуха в ноябре и сроками замерзания в связи с происходящими глобальными изменениями климата требует дополнительных исследований и перенастройки инструментов оценки сроков замерзания устья реки в зависимости от температурного режима в условиях глобального потепления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированная Информационная Система Обработки Режимной Информации. ВНИИГМИ-МЦД. 2000–2011–2018–2022. [Электронный ресурс] <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/result.xhtml>
2. Агафонова С.А., Фролова Н.Л. Ледовый режим севера европейской части России // Меняющийся климат и социально-экономический потенциал Российской Арктики. Т. 1. М.: Лига-Вент Москва, 2015. С. 35–47.
3. Баклагин В.Н. Зависимости характерных дат ледового режима Белого моря от температурного фона над его акваторией // Успехи современного естествознания. 2020. № 7. С. 55–60.
4. Боголепов М.А. О колебаниях климата Европейской России в историческую эпоху. М.: типо-литография т-ва И.Н. Кушнерев и К°, 1908. 107 с.
5. Веселовский К.С. О климате России. СПб., 1857. 327 с.
6. Вихман А.М. Изыскания в портах Белого моря. 1910–1915 гг. // Тр. Отдела торговых портов. Вып. 54. Петроград: Унион, 1917. 47 с.

7. Газета “Архангельские губернские ведомости”. Вып. № 16. 22 апреля 1850 г.
8. Гидрологический справочник морей СССР. Т. 5. Белое море; Вып. 3 / Под ред. *Т.П. Марютина, И.Д. Протопопова*. М.; Л.: Гидрометеиздат, 1940. 169 с.
9. *Гинзбург Б.М., Солдатова И.И.* Многолетняя изменчивость сроков ледовых явлений на реках как индикатор колебаний климата переходных сезонов // *Метеорология и гидрология*. 1997. № 11. С. 99–107.
10. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек. Т. 2. Ч. 1. Белое море. Вып. I. 2008–2021 гг. Архангельск: Северное УГМС, 2009–2022.
11. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек. Т. 2. Ч. 1. Белое море. Вып. II. Обзор ледовых условий (“Лед”). 1984–2001 гг. Архангельск: Северное УГМС, 1985–2002.
12. *Грищенко И.В.* Характеристика ледовых процессов в устье р. Северной Двины и тенденции их развития в условиях изменения климата // *Вестн. САФУ. Сер. Естеств. науки*. 2016. № 1. С. 5–11.
13. *Демиденко Н.А.* Современные особенности гидрологического режима устьевых областей рек бассейна Белого моря // *Меняющийся климат и социально-экономический потенциал Российской Арктики*. Т. 2. М.: Лига-Вент Москва, 2016. С. 95–145.
14. *Докучаев А.Я., Лобанов К.В., Гурбанов А.Г., Кулаков Ф.В., Курдюков Е.Б., Чичеров М.В., Мясников А.В.* Полярные исследования в условиях климатических изменений (Ч. 1. XVI век – начало XX века) // *Вестн. Владикавказского науч. центра*. 2022. Т. 22. № 2. С. 56–77.
15. *Жилина Т.Н.* Малый ледниковый период как одно из колебаний климата в голоцене и его последствия в Западной Сибири // *Вестн. Томского гос. ун-та*. 2010. С. 206–211.
16. *Жилина Т.Н.* Усиление ледовитости арктических морей (евроазиатский сектор Арктики) в малый ледниковый период // *Вопросы географии Сибири. Сборник статей*. Томск, 2009. С. 68–71.
17. *Землянов И.В., Демиденко Н.А., Горелиц О.В.* Особенности гидрологического и ледового режима устьевой области р. Онега // *Тр. III Всерос. конф. “Ледовые и термические процессы на водных объектах России”*. Онега, 2011. С. 109–117.
18. *Калинин Г.Д.* Онега. Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1980. 126 с.
19. *Кислов А.В.* Климат в прошлом, настоящем и будущем. М.: МАИК “Наука/Интерпериодика”, 2001. 351 с.
20. *Клименко В.В., Астрина Н.А.* Документальные свидетельства сильных колебаний климата российской Арктики в XV–XX вв. // *История и современность*. 2006. № 1. С. 179–217.
21. *Колий В.М., Агафонова С.А.* Ледовый режим устьевых участков рр. Онега, Мезень и Кулой по данным космических снимков // *Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению*. СПб.: ВВМ, 2020. С. 1086–1091.
22. *Крыжов В.Н.* Синхронные связи температуры воздуха на арктическом побережье России с аномалиями Н700 в атлантико-европейском секторе // *Тр. Гидрометцентра России*. 2002. Вып. 337. С. 115–124.
23. *Крыжов В.Н., Горелиц О.В.* Арктическая осцилляция и ее влияние на температуру и осадки Северной Евразии в XX веке // *Метеорология и гидрология*. 2015. № 11. С. 5–19. DOI: 10.3103/S1068373915110011
24. *Крыжов В.Н., Горелиц О.В.* Зимняя арктическая осцилляция и формирование весеннего половодья рек бассейна Баренцева моря // *Метеорология и гидрология*. 2019. № 3. С. 50–61. DOI: 10.3103/S106837391903004X
25. *Леви К.Г.* Малый ледниковый период. Ч. 1. Космические и глобальные метеорологические аспекты // *Изв. Иркутского гос. ун-та. Сер. Геоархеология. Этнология. Антропология*. 2014. Т. 8. С. 2–14.
26. *Лобанов В.А., Наурузбаева Ж.К.* Влияние изменения климата на ледовый режим Северного Каспия. СПб.: РГГМУ, 2021. 140 с.
27. Материалы для описания русских коммерческих портов и история их сооружения. Вып. XXXIV. Результаты изысканий в устьях рр. Онеги, Печоры, Мезени. СПб.: Типография Мин-ва Путей Сообщения, 1902. 27 с.
28. *Махинов А.Н., Ким В.И.* Влияние изменений климата на гидрологический режим реки Амур // *Тихоокеанская география*. 2020. № 1. С. 30–39. DOI: 10.35735/7102875.2020.1.1.004
29. *Монин А. С., Шишков Ю. А.* История климата. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 407 с.
30. *Морской ежегодник*. Т. V. Белое море. Вып. II. Обзор ледовых условий. 1976–1983 гг. Архангельск: Северное УГМС, 1978–1984.

31. *Мыган В.С.* Влияние климатических изменений на социальные и природные процессы в Сибири в XVII – первой половине XIX вв. по историческим и дендрохронологическим данным. Автореф. дис. ... канд. ист. наук. Красноярск: КГПУ, 2005. 23 с.
32. *Наливайко Г.Я.* Портовые изыскания на побережье Белого моря и Северного ледовитого океана // Мат-лы второй конф. по изучению производительных сил Северного края. Т. 3. Транспорт. Архангельск: Северное краевое изд-во, 1933. С. 119–127.
33. *Огородников С.Ф.* Климат Архангельской губернии // Тр. Архангельского губернского стат. комитета за 1867 и 1868 гг. Вып. 2. Архангельск: Типография губернского правления, 1868. 78 с.
34. *Попова М.С.* Поморские лоции и географические знания поморов. Дис. ... канд. геогр. наук. М.: Ин-т истории естествознания и техники РАН, 2014. 202 с.
35. РД 52.10.842–2017. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 9. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях и постах. Ч. I. Гидрологические наблюдения на береговых станциях и постах.
36. *Рыкачев М.А.* Вскрытия и замерзания вод в Российской империи. СПб.: Типография Императорской академии наук, 1886. 309 с.
37. *Рыкачев М.А.* О значении наблюдений над вскрытием и замерзанием рек и озер. СПб.: типография К. Замысловского, 1873. 4 с.
38. *Савенкова В.М.* История изучения ледовых явлений на реках Европейской части России. Дис. ... канд. геогр. наук. М.: Ин-т истории естествознания и техники РАН, 2014. 164 с.
39. *Слепцов А.М., Клименко В.В.* Обобщение палеоклиматических данных и реконструкция климата Восточной Европы за последние 2000 лет // История и современность. 2005. № 1. Март. С. 118–135.
40. *Смахтин В.К.* Влияние изменения климата на гидрологический режим рек Забайкалья. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб.: РГГМУ, 2015. 20 с.
41. *Солдатова И.И.* Многолетние изменения сроков наступления ледовых явлений на реках СНГ. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: Гидрометцентр России, 1996. 22 с.
42. Справочник по гидрологическому режиму морей и устьев рек СССР. Ч. 1. Основные гидрологические характеристики, Т. 5. Белое море. Вып. 1–А. Течения, лед. Архангельск: Архангельская ГМО, 1971. 328 с.
43. Справочно-аналитический обзор гидрологического режима устьевой области реки Онега / Под ред. *О.В. Горелиц, Г.С. Ермаковой, Г.Ш. Турсуновой.* Воронеж: Воронежская обл. типография, 2023. 334 с.
44. *Ульянов А.И.* Онега: вчера и сегодня: XII–XXI вв. Онега: Онежская типография, 2015. 174 с.
45. *Федоров В.М., Фролов Д.М.* Малый ледниковый период в жизни Земли и его возможные причины // Жизнь Земли. 2020. 42 (1). С. 4–12.
46. *Barnston A.G., Livezey R.E.* Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Mon. Wea. Rev. 1987. V. 115. P. 1083–1126.
47. *Gorelits O.V., Kryjov V.N., Rakcheeva E.A., Ermakova G.S.* Wintertime Arctic Oscillation Harbinger of Spring Floods in the Mouth Areas of the North-Eastern European Rivers // Water Resour. 2022. V. 49. № 5. P. 836–844. DOI: 10.1134/S0097807822050049
48. *Jackson S.T., Rafferty J.P.* Little Ice Age. Encyclopedia Britannica. [Электронный ресурс.] <https://www.britannica.com/science/Little-Ice-Age> (дата обращения: 13.05.2024)
49. *Thompson D.W.J., Wallace J.M.* Annular modes in the extratropical circulation. Pt I. Month-to-month variability // J. Climate. 2000. № 13 (5). P. 1000–1016.

HISTORICAL OVERVIEW OF FREEZING AND OPENING OF THE MOUTH OF THE ONEGA RIVER FROM THE END OF THE 18th CENTURY

G. S. Ermakova^{a,*}, I. Yu. Milyutina^a, O. V. Gorelits^a, V. N. Kryzhov^b

^aState Oceanographic Institute, Roshydromet, 119034 Russia

^bMoscow, 105554 Russia

**e-mail: ermakova_gs@mail.ru*

Annual through centennial scale variability of the ice conditions at the Onega River mouth is analyzed in the paper. Description of the main sources of ice data for the period before the beginning of regular observations at the Onega hydrometeorological station and a brief historical overview of observations of the ice conditions at the river mouth are presented. For the first time, temporal variability of the ice phenomena of the Onega river mouth is analyzed for the period from 1780 to 2021, with its links to the climate change being demonstrated. In particular, the average duration of the ice period decreased from 177 days in the late 18th – early 19th centuries down to 133 days by the early 21st century. On average, the river ice breakup occurs 8 days earlier, while freezing occurs 34 days later, with the most dramatic shift from November to January in average freezing time having occurred in the late 20th – early 21st centuries. Numerical estimates of secular trends and variability of the decadal scale of ice characteristics at the Onega River mouth are given.

Keywords: ice regime, freezing and breaking up, climate change, air temperature, Onega mouth.