

**ВЛИЯНИЕ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА НА ЗИМНИЙ СТОК РЕКИ ШУЯ  
И ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗООБЕНТОСА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА**

© 2022 г. Л. Е. Назарова<sup>a, \*</sup>, К. В. Исакова<sup>a, \*\*</sup>,  
Н. М. Калинкина<sup>a, \*\*\*</sup>, А. Ф. Балаганский<sup>a, \*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Институт водных проблем Севера, Карельский научный центр РАН, Петрозаводск, Россия

\*E-mail: [larisanazarov@yandex.ru](mailto:larisanazarov@yandex.ru)

\*\*E-mail: [ksusha\\_isakova@mail.ru](mailto:ksusha_isakova@mail.ru)

\*\*\*E-mail: [cerioda@mail.ru](mailto:cerioda@mail.ru)

\*\*\*\*E-mail: [shyia@onego.ru](mailto:shyia@onego.ru)

Поступила в редакцию 26.10.2021 г.

После доработки 25.11.2021 г.

Принята к публикации 16.01.2022 г.

Статья посвящена анализу климатических изменений в последние десятилетия на водосборной территории р. Шуя, второго по величине притока Онежского озера, и реакции глубоководного бентоса Петрозаводской губы на увеличение зимнего стока реки. Показано, что на протяжении 1960–2019 гг. возрастали средние годовые значения температуры воздуха и увеличивалось количество оттепелей на водосборной территории р. Шуя. Это вызвало уменьшение промерзания почв в последние 10 лет. Значимое возрастание зимнего стока р. Шуя по сравнению со стоком периода 1961–1990 гг. отмечается, начиная с зимы 2008–2009 гг. В связи с изменениями на водосборной территории р. Шуя рассмотрены причины 3–4-кратного снижения биомассы представителей глубоководного бентоса (реликтовых ракообразных и малощетинковых червей), которое наблюдается в глубоководной части Петрозаводской губы в последние 10–15 лет. Высказано предположение, что причины снижения биомассы бентоса связаны с увеличением стока железа с речными водами и его накоплением на дне Петрозаводской губы в условиях потепления климата.

*Ключевые слова:* климат, потепление, зимний сток, общее железо, глубоководный бентос, Онежское озеро, приток

**DOI:** 10.31857/S0869607122010086

## ВВЕДЕНИЕ

Потепление климата в северных регионах России происходит в два раза более быстрыми темпами, чем в мире в целом [2]. В наибольшей степени возрастание температуры воздуха проявляется в зимний период. В Карелии, начиная с 1989 г. среднегодовая температура воздуха превышала климатическую норму 1961–1990 гг. на 0.9–1.2°C, в зимний период – на 1.7–3.0°C [10, 16].

Установление мягких зим в северных регионах мира вне распространения многолетней мерзлоты приводит к снижению глубины сезонного промерзания почв [15]. При возрастании частоты зимних оттепелей и уменьшении глубины промерзания почв увеличиваются запасы влаги в почвах, усиливается питание подземных вод и повышается их уровень. В результате этих процессов возрастает зимний сток рек [3, 7, 14].

Одним из последствий потепления климата выступает браунификация озер и рек, т.е. увеличение цветности воды в результате возрастания стока гумусовых веществ и связанного с ними железа [17]. В настоящее время браунификация отмечается во многих водоемах на территории Фенноскандии [20] и Канады [19].

Ранее показано, что на фоне возрастания стока гумусовых веществ с водами р. Шуя в Петрозаводскую губу Онежского озера, в этом заливе отмечается снижение общих показателей развития глубоководного бентоса [4, 6]. Однако детально для отдельных представителей бентоса и с учетом изменений на водосборной территории, причины снижения биотических показателей до настоящего время не рассматривались. В связи с этим была поставлена цель – изучить влияние климатических изменений на гидрологический режим водосборной территории р. Шуя, объем зимнего стока реки и биомассу различных представителей глубоководного бентоса Петрозаводской губы Онежского озера.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящей работе исследованы многолетние изменения на водосборной территории р. Шуя, второго по объему стока притока Онежского озера. Площадь водосбора р. Шуя составляет 10100 км<sup>2</sup>, среднегодовой сток – 3 км<sup>3</sup> [1]. Почвы бассейна р. Шуя в основном подзолистые, часто заболоченные. Заболоченность водосбора составляет 18%. По характеру растительного покрова территория относится к средней подзоне таежной зоны [11].

Исследования основных тенденций изменения климата на территории водосбора реки Шуя проводились на основе анализа данных многолетних (1960–2019 гг.) инструментальных наблюдений на метеорологической станции (МС) Петрозаводск Федеральной службы РФ по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [12]. Данные по стоку р. Шуя за период 1960–2019 гг. были получены из открытых источников и приобретены в региональном центре Росгидромета.

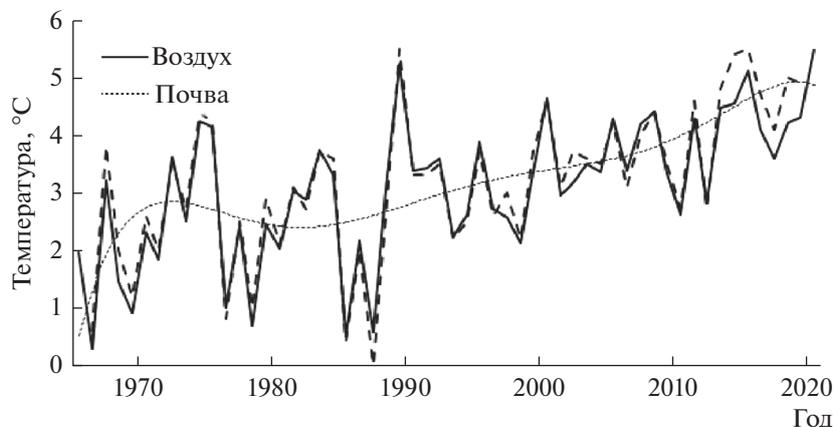
Воды р. Шуя поступают в Петрозаводскую губу – крупный северо-западный залив Онежского озера. Площадь его акватории 76 км<sup>2</sup>, средняя глубина 16 м, максимальная глубина 29 м. На протяжении 1992–2020 гг. в глубоководном районе Петрозаводской губы собирали пробы бентоса.

Координаты расположения станций отбора проб: станция Р\_2 с глубиной 27 м (61°48.49' N; 34°25.93' E) и станция Р\_3 с глубиной 28 м (61°46.19' N; 34°31.91' E). Пробы макрозообентоса были отобраны автоматическим коробчатым дночерпателем (площадь захвата 0.025 м<sup>2</sup>) и обработаны согласно стандартным методам [9]. Съемки в разные годы проводились в период открытой воды с мая по сентябрь. При статистической обработке данных использовали пакет R [18].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Климатическая норма средней годовой температуры воздуха на метеостанции Петрозаводск за период 1961–1990 гг. составляет 2.8°C. Однако, начиная с 1999 г., наблюдается устойчивое повышение значений этой характеристики (рис. 1). В отдельные годы аномалии средней годовой температуры воздуха составляли 1.0–2.0°C. Такая же тенденция характерна и для динамики средней годовой температуры поверхности почвы.

Как было показано ранее [16], во внутригодовом ходе температуры воздуха наибольшее потепление в последнее десятилетие характерно для зимних месяцев, особенно для января, когда отклонения от нормы достигали 1.4–7.0°C. В январе 2019 г. средняя месячная температура воздуха превышала многолетнее значение на 9.4°C, февраль и март были теплее на 7.3 и 5.2°C, соответственно. В условиях повышения



**Рис. 1.** Средняя годовая температура воздуха и поверхности почвы, МС Петрозаводск; пунктирная линия – полиномиальный тренд 6-й степени.

**Fig. 1.** The average annual temperature of air and soil surface, weather station Petrozavodsk; the dotted line is the 6th degree polynomial trend.

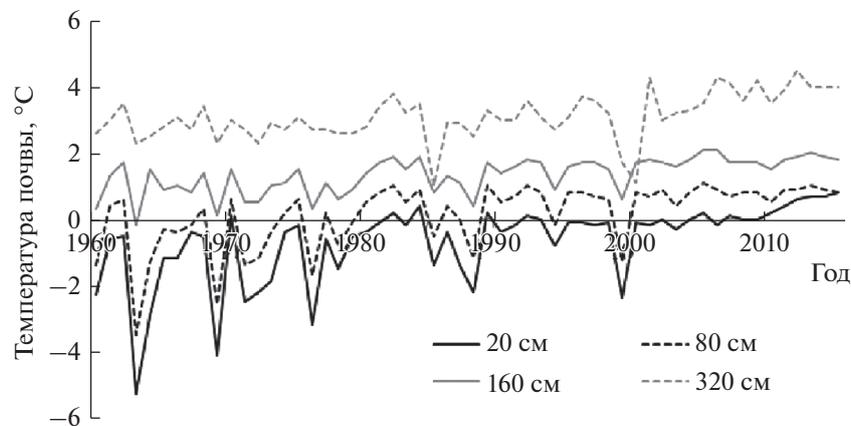
температуры холодного периода года повсеместно отмечается сокращение числа дней без оттепели, т.е. с максимальной температурой воздуха не выше  $0^{\circ}\text{C}$ . Среднее количество таких дней сократилось и в 2000–2019 гг. в среднем составляло 92 дня. В отдельные годы этот показатель снижался до 65–79 дней (2015, 2019 гг.).

Температура почвы на различных глубинах испытывает значительно меньшие колебания от года к году, чем температура поверхности почвы и прилегающих слоев атмосферы. Однако и на глубинах до 320 см отмечено значительное повышение температуры с начала XXI в.

Поскольку наибольшее потепление характерно для зимних месяцев, то особый интерес вызывает изменчивость температуры почвы на глубинах именно в зимний период года. В монографии “Климат Петрозаводска” [8] показано, что отрицательные значения температуры на глубине 20 см наблюдаются с декабря по апрель, на глубине 80 см – с февраля по апрель. Минимальные значения отмечаются в марте. На рис. 2 приведены данные о средней мартовской температуре почвы на глубинах от 20 до 320 см под естественным покровом, полученные в результате наблюдений по вытяжным термометрам.

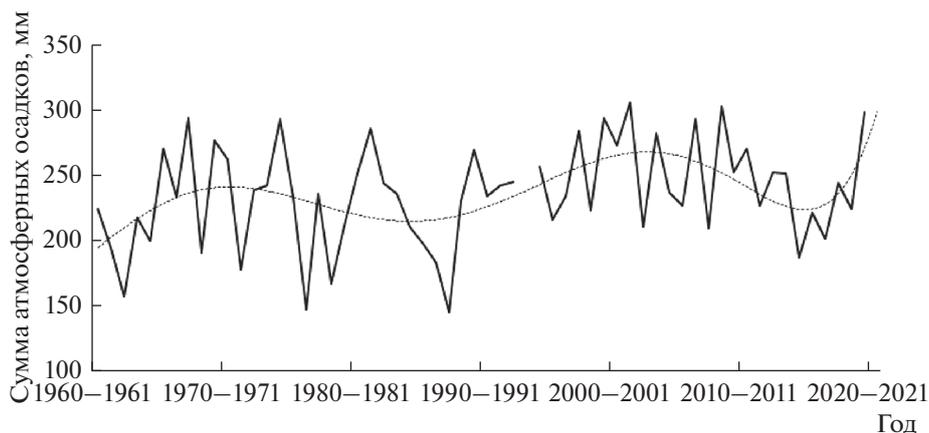
Анализ данных показал, что если в 1961–1990 гг. промерзание почвы на глубине 20 см было ежегодным и достигало  $-5^{\circ}\text{C}$ , то с начала 2000-х гг. на этой глубине почва незначительно промерзала лишь в отдельные годы. Начиная с 2010 г., промерзание почвы на глубине 20 см не наблюдалось. На глубине 80 см значения температуры стали положительными, начиная с 1999 г. На глубинах 160 см и 320 см температура почвы была положительная в течение всего периода наблюдений. Ее значения увеличиваются, начиная с 2005 г.

Вся территория водосбора р. Шуя расположена в зоне избыточного увлажнения. За период 1961–1990 гг. годовое количество осадков составляло в среднем 570 мм, за период 1961–2019 г. оно увеличилось до 610 мм. В многолетней динамике сумм атмосферных осадков холодного периода года (октябрь–март) отмечаются тенденции как к увеличению, так и снижению количества выпадающих осадков (рис. 3). В последние годы наблюдается положительная динамика этого показателя.



**Рис. 2.** Средняя месячная (март) температура почвы на глубинах 20, 80, 160 и 320 см под естественным покровом, МС Петрозаводск.

**Fig. 2.** Average monthly (March) soil temperature at depths of 20, 80, 160 and 320 cm under natural plant cover, weather station Petrozavodsk.



**Рис. 3.** Суммы атмосферных осадков холодного периода года (октябрь–март), МС Петрозаводск; пунктирная линия – полиномиальный тренд 6-й степени.

**Fig. 3.** The sums of atmospheric precipitation for the cold season (October–March), weather station Petrozavodsk; the dotted line is the 6th degree polynomial trend.

Поскольку выпадение твердых осадков регулируется температурой воздуха, то даже незначительное повышение средней годовой температуры приводит к существенному уменьшению доли твердых осадков. Так, по данным Ц. А. Швер для севера Европейской России и примыкающих регионов Арктики [13], повышение средней годовой температуры воздуха на  $1^{\circ}\text{C}$  приводит к снижению доли твердых осадков на 5–6%. Количество твердых осадков за год (снег, крупа, снежные зерна, ледяной дождь, град), по данным наблюдений МС Петрозаводск, сократилось примерно на 10% с начала 2000-х гг. по отношению к климатической норме. Одновременно примерно на столь-

ко же возросла доля смешанных осадков (мокрый снег, дождь со снегом). Смешанные осадки выпадают при приземной температуре от  $-2^{\circ}$  до  $+2^{\circ}$ , но чаще всего от  $0^{\circ}$  до  $+2^{\circ}$ , когда снежинки подтаивают или когда вместе со снегом выпадает дождь. Увеличение доли смешанных осадков хорошо согласуется с увеличением повторяемости оттепелей в течение холодного периода года.

Выявленные климатические изменения на водосборе р. Шуя не могли не отразиться на гидрологическом режиме реки, главным образом, на ее зимнем стоке. Согласно исследованиям И.Л. Калюжного и С.А. Лаврова [7], уменьшение промерзания почвы в последние годы вызывает увеличение зимнего стока многих рек на территории Европейской России. Например, в бассейне р. Вятка при уменьшении глубины промерзания на 1% зимний сток возрастал на 0.9%. Механизм увеличения зимнего стока рек связан с возрастанием запасов влаги в талом слое почвы, которые расходуются на зимний сток. Кроме того, в формировании зимнего стока участвует влага, образующаяся при оттепелях и свободно проникающая в почвы на участках водосбора с малыми глубинами промерзания.

Именно такая ситуация отмечается на водосборе р. Шуя, когда, начиная с 2010-х гг., глубина промерзания почвы стала менее 20 см (см. рис. 2), а частота оттепелей увеличилась. Еще одним фактором увеличения зимнего стока р. Шуя в последние годы может быть положительная динамика осадков (см. рис. 3), а также увеличение доли смешанных атмосферных осадков.

Для проверки гипотезы об увеличении зимнего стока р. Шуя был выполнен анализ данных за период 1960–2019 гг. Зимний сток рассчитывали как среднее значение слоя стока за декабрь–март. Средняя величина слоя зимнего стока р. Шуя в период климатической нормы (1961–1990 гг.) составила  $77 \pm 5$  мм, коэффициент вариации – 35% (рис. 4).

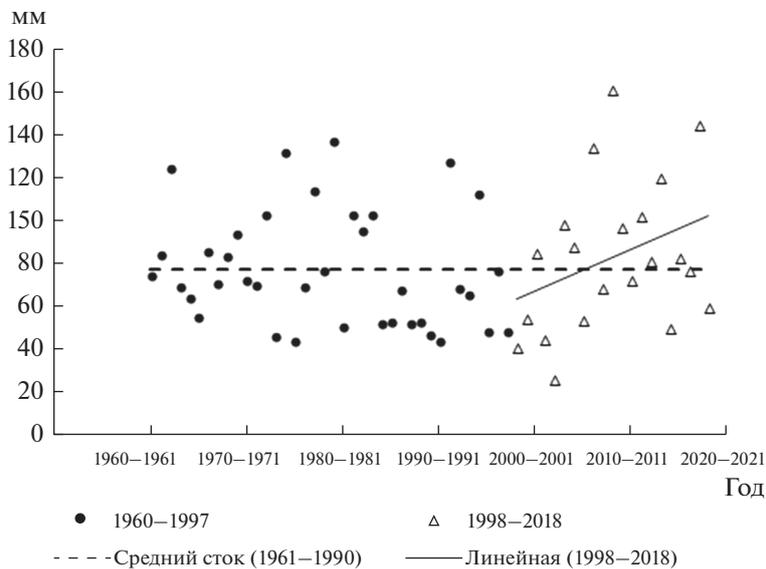
Начиная с зимы 2008–2009 гг. практически все значения слоя зимнего стока р. Шуя превышают величину 77 мм, за исключением трех зим (2010–2011, 2014–2015 и 2018–2019 гг.). Среднее значение слоя зимнего стока р. Шуя для периода 2008–2019 гг. составило  $95 \pm 10$  мм (коэффициент вариации 36%) и было значимо ( $p < 0.05$ ) выше, чем величина зимнего стока для периода климатической нормы. В среднем величина зимнего стока р. Шуя в последнее десятилетие возросла на 23% по сравнению со средней величиной зимнего стока в период 1961–1990 гг. Важно отметить, что почти совпали сроки повышения температуры слоя почвы на глубине 20 см и ее перехода через  $0^{\circ}\text{C}$  к положительным значениям (с 2010 г.) и сроки превышения величины 77 мм для зимнего стока реки Шуя (с зимы 2008–2009 гг.).

На фоне возрастания зимнего стока р. Шуя, в последние 25 лет в ее воде возросли цветность, концентрации железа и фосфора. За счет зимних и весенних месяцев увеличился сток аллохтонных веществ в Петрозаводскую губу Онежского озера. Так, сток железа с водами р. Шуя в период 2004–2016 гг. по сравнению с 1990–2003 гг. возрос на 35% [5]. В последнее десятилетие отмечается четырехкратное возрастание содержания железа в поверхностном слое илов Петрозаводской губы [4].

Наблюдаемое возрастание зимнего стока р. Шуя и накопление на дне залива железа являются последствиями потепления климата. Далее рассматриваются последствия изменения условий обитания в глубоководных участках Петрозаводской губы для основных характеристик бентоса.

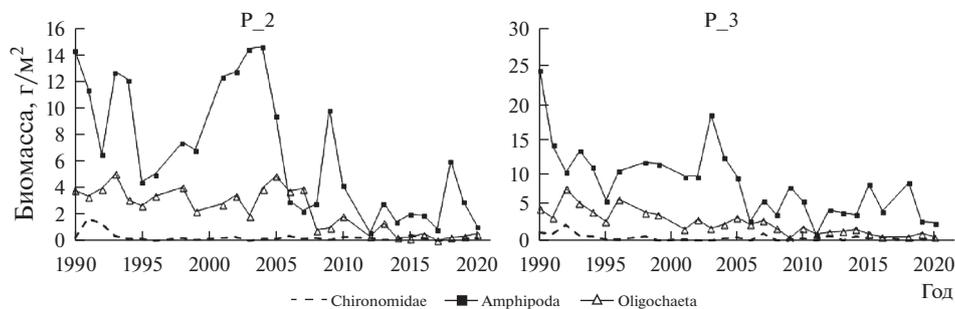
Бентос Петрозаводской губы представлен тремя основными группами животных: реликтовыми ракообразными (*Amphipoda*), малощетинковыми червями (*Oligochaeta*) и личинками амфибиотических насекомых (*Chironomidae*). Исследования 1990–2020 гг. показали, что биомасса двух групп бентоса (реликтовых ракообразных и олигохет) на двух глубоководных станциях залива (P\_2 и P\_3) снижалась, начиная с 2010 г. (рис. 5).

В 1990–2009 гг. средняя биомасса амфипод на двух станциях составила  $9.6 \pm 0.7$  г/м<sup>2</sup>, в 2010–2020 гг. этот показатель снизился почти в 3 раза и составил  $3.4 \pm 0.5$  г/м<sup>2</sup>. Сред-



**Рис. 4.** Слой зимнего стока р. Шуя (декабрь–март) в 1960–2018 гг. (пост р. Шуя, д. Бесовец): пунктирная линия – среднее значение слоя зимнего стока (77 мм) для периода 1961–1990 гг.

**Fig. 4.** The winter runoff of the Shuya River (December–March) in 1960–2018 (post of the Shuya river, Besovets village): the dotted line is the average value of the winter runoff (77 mm) for the period 1961–1990.



**Рис. 5.** Динамика биомассы реликтовых ракообразных (Amphipoda), малощетинковых червей (Oligochaeta) и хирономид (Chironomidae) в Петрозаводской губе Онежского озера.

**Fig. 5.** The biomass dynamics of relict crustaceans (Amphipoda), oligochaetes and chironomids in the Petrozavodsk Bay of the Onego Lake.

няя биомасса олигохет за два сравниваемых периода принимала значения  $3.3 \pm 0.2$  и  $0.8 \pm 0.1$  г/м<sup>2</sup>, т.е. снизилась в 4 раза. Средние величины биомасс бентоса для двух периодов различаются значимо ( $p < 0.05$ ).

Наблюдаемое угнетение различных представителей бентосного сообщества совпадает по времени с началом увеличения зимнего стока р. Шуя в Петрозаводскую губу, т.е. с 2010 г. (см. рис. 4, 5). Поскольку в этот период возрастает сток общего железа с речными водами и увеличивается содержание железа в поверхностных слоях донных отложений Петрозаводской губы, можно предположить, что угнетение бентоса связа-

но с накоплением железа на дне. Соединения железа, находясь в окисленной форме, оказывают на бентос угнетающее воздействие в результате налипания на органы дыхания и поверхность тела [21].

### ВЫВОДЫ

Анализ изменения климата на территории водосбора реки Шуя, второго по величине притока Онежского озера, позволил выявить следующие основные тенденции: увеличение среднегодовой температуры воздуха и температуры поверхности почвы. В связи с потеплением воздуха в зимний период в последние 10 лет увеличилось количество оттепелей и снизилось промерзание почвы на водосборе р. Шуя. Эти изменения на водосборной территории привели к возрастанию зимнего стока р. Шуя и увеличению поступления железа с речными водами в Петрозаводскую губу Онежского озера. Угнетение представителей глубоководного бентоса (реликтовых ракообразных и малощетинковых червей), которое совпало по времени с возрастанием зимнего стока р. Шуя, возможно, связано с накоплением железа на дне Петрозаводской губы.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балаганский А.Ф., Карпечко В.А., Литвиненко А.В., Сало Ю.А. Ресурсы речного стока и водный баланс // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 31–38.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: Росгидромет, 2014. 58 с.
3. Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Телегина Е.А. Внутригодовое распределение стока рек с оценкой роли зимней межени // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 6. С. 603–611.
4. Калинкина Н.М., Белкина Н.А. Динамика состояния бентосных сообществ и химического состава донных отложений Онежского озера в условиях действия антропогенных и природных факторов // Принципы экологии. 2018. № 2. С. 56–74. <https://doi.org/10.15393/j1.art.2018.7643>
5. Калинкина Н.М., Филатов Н.Н., Теканова Е.В., Балаганский А.Ф. Многолетняя динамика стока железа и фосфора в Онежское озеро с водами р. Шуя в условиях климатических изменений // Региональная экология. 2018. № 2(52). С. 7–15. <https://doi.org/10.30694/1026-5600-2018-2-65-73>
6. Калинкина Н.М., Теканова Е.В., Сабылина А.В., Рыжаков А.В. Изменения гидрохимического режима Онежского озера с начала 1990-х годов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2019. № 1. С. 62–72. <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019162-72>
7. Калюжный И.Л., Лавров С.А. Механизм влияния глубины промерзания почв речных бассейнов на зимний сток // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 4. С. 442–451.
8. Климат Петрозаводска / Под ред. Ц.А. Швер. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 212 с.
9. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при ведении мониторинга биологического загрязнения на Финском заливе / Под ред. А.Ф. Алимова, Т. М. Флоринской. Санкт-Петербург, 2005. 68 с.
10. Назарова Л.Е. Изменчивость средних многолетних значений температуры воздуха в Карелии // Известия РГО. 2014. Т. 146. Вып. 4. С. 27–33.
11. Поверхностные воды озерно-речной системы Шуи в условиях антропогенного воздействия / Под ред. П.А. Лозовика, В.А. Фрейндлинга. Петрозаводск: Карелия, 1991. 212 с.
12. Федеральная служба РФ по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Сайт. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации - мировой центр данных. URL: <http://mete.ru/data> (дата обращения: 16.08.2021)
13. Швер Ц.А. Закономерности распределения количества осадков на континентах. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 285 с.
14. Шикломанов И.А., Борзенкова И.И., Георгиевский В.Ю., Колосов П.А., Сперанская Н.А. Водные ресурсы // Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 2. Последствия изменений климата. Москва: Росгидромет, 2008. С. 77–86.

15. Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S., Palutikof J.P. Eds. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC Secretariat, 2008. 210 p.
16. Filatov N., Baklagin V., Efremova T., Nazarova L., Palshin N. Climate change impacts on the watersheds of Lakes Onego and Ladoga from remote sensing and in situ data // *Inland Waters*. 2019. Vol. 9. P. 130–141. doi: org/https://doi.org/10.1080/20442041.2018.1533355
17. Kritzberg, E.S., Ekström, S.M. Increasing iron concentrations in surface waters – a factor behind brownification? // *Biogeosciences*. 2012. V. 9. № 4. P. 1465–1478. https://doi.org/10.5194/bg-9-1465-2012
18. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012. ISBN 3-900051-07-0, URL: http://www.R-project.org/ (дата обращения 1.09.2021).
19. Solomon Ch.T., Jones S.E., Weidel B.C., Buffam I., Fork M.L., Karlsson J., Larsen S., Lennon J.T., Read J.S., Sadro S., Saros J.E. Ecosystem consequences of changing inputs of terrestrial dissolved organic matter to lakes: current knowledge and future challenges // *Ecosystems*. 2015. V. 18. P. 376–389. https://doi.org/10.1007/s10021-015-9848-y
20. Weyhenmeyer G.A., Karlsson J. Nonlinear response of dissolved organic carbon concentrations in boreal lakes to increasing temperatures // *Limnology and Oceanography*. 2009. V. 54. № 6. Part 2. P. 2513–2519. https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6\_part\_2.2513
21. Vuori K.M. Direct and indirect effects of iron on river ecosystems // *Ann. Zool. Fennici*. 1995. V. 32. P. 317–329.

#### **The Climate Warming Influence on the Shuya River Winter Runoff and the Consequences for The Zoobenthos of the Onego Lake**

**L. E. Nazarova<sup>1</sup>, \*, K. V. Isakova<sup>1</sup>, \*\*, N. M. Kalinkina<sup>1</sup>, \*\*\*, and A. F. Balaganskii<sup>1</sup>, \*\*\*\***

<sup>1</sup>*Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia*

\*E-mail: [larisanazarov@yandex.ru](mailto:larisanazarov@yandex.ru)

\*\*E-mail: [ksusha\\_isakova@mail.ru](mailto:ksusha_isakova@mail.ru)

\*\*\*E-mail: [cerioda@mail.ru](mailto:cerioda@mail.ru)

\*\*\*\*E-mail: [shyia@onego.ru](mailto:shyia@onego.ru)

The article is devoted to the analysis of climatic changes in the catchment area of the Shuya River which is the second largest tributary of the Onego Lake, and the reaction of the deep-water benthos of the Petrozavodsk Bay to the winter river runoff increase in recent decades. It is shown that during 1960–2019 the average annual air temperature and the number of thaws increased in the catchment area of the Shuya River. The soil freezing decrease is observed in connection with climate warming in the past 10 years. Since the winter of 2008–2009 the winter runoff of the Shuya River has increased significantly in comparison with the runoff of the period 1961–1990. The 3–4-fold decrease in the biomass of deepwater benthos (relict crustaceans and oligochaetes) is found in the deepest part of the Petrozavodsk Bay simultaneously with the changes in the catchment area of the Shuya River in the last 10–15 years. It is suggested that the reasons of benthos biomass decrease are associated with an increase in inflow of iron with river waters and accumulation of iron at the bottom of the Petrozavodsk Bay due to climate warming.

*Keywords:* climate, warming, winter runoff, total iron, deepwater benthos, Onego Lake, tributary

#### REFERENCES

1. Balaganskij A.F., Karpechko V.A., Litvinenko A.V., Salo Yu.A. Resursy rechnogo stoka i vodnyj balans // *Krupnejshie ozera-vodoxranilishha Severo-Zapada evropejskoj territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskix i antropogennyh vozdeystviya*. Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN, 2015. S. 31–38.
2. Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniyah klimata i ix posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshee rezjume. M.: Rosgidromet, 2014. 58 s.

3. Dzhamalov R.G., Safronova T.I., Telegina E.A. Vnutrigodovoe raspredelenie stoka rek s ocenokj roli zimnej mezheni // *Vodnye resursy*. 2017. T. 44. № 6. S. 603–611.
4. Kalinkina N.M., Belkina N.A. Dinamika sostoyaniya bentosnyh soobshhestv i himicheskogo sostava donnyh otlozhenij Onezhskogo ozera v usloviyah dejstviya antropogennyh i prirodnyh faktorov // *Principy ekologii*. 2018. № 2. S. 56–74.  
<https://doi.org/10.15393/j1.art.2018.7643>
5. Kalinkina N.M., Filatov N.N., Tekanova E.V., Balaganskij A.F. Mnogoletnyaya dinamika stoka zheleza i fosfora v Onezhskoe ozero s vodami r. Shuya v usloviyah klimaticheskikh izmenenij // *Regional'naya ekologiya*. 2018. № 2(52). S. 7–15.  
<https://doi.org/10.30694/1026-5600-2018-2-65-73>
6. Kalinkina N.M., Tekanova E.V., Sabylina A.V., Ryzhakov A.V. Izmeneniya gidroximicheskogo rezhima Onezhskogo ozera s nachala 1990-x godov // *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2019. № 1. S. 62–72.  
<https://doi.org/10.31857/S2587-55662019162-72>
7. Kalyuzhnyj I.L., Lavrov S.A. Mexanizm vliyaniya glubiny promerzaniya pochv rechnyh bassejnov na zimnij stok // *Vodnye resursy*. 2017. T. 44. № 4. S. 442–451.
8. *Klimat Petrozavodsk* / Pod red. Cz.A. Shver. L.: Gidrometeoizdat, 1982. 212 s.
9. *Metodicheskie rekomendacii po sboru i obrabotke materialov pri vedenii monitoringa biologicheskogo zagryazneniya na Finskom zalive* / Pod red. A.F. Alimova, T.M. Florinskoj. Sankt-Peterburg, 2005. 68 s.
10. Nazarova L.E. Izmenchivost' srednix mnogoletnix znachenij temperatury vozduxa v Karelii // *Izvestiya RGO*. 2014. T. 146, vy'p. 4. S. 27–33.
11. *Poverxnostnye vody ozerno-rechnoj sistemy Shui v usloviyax antropogenogo vozdejstviya* / Pod red. P.A. Lozovika, V.A. Frejndlinga. Petrozavodsk: Kareliya, 1991. 212 s.
12. Federal'naya sluzhba RF po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushhej sredy. Sajt. Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut gidrometeorologicheskoy informacii – mirovoj centr dannyh. URL: <http://meteo.ru/data> (data obrashheniya: 16.08.2021).
13. Shver Cz.A. *Zakonomernosti raspredeleniya kolichestva osadkov na kontinentax*. L.: Gidrometeoizdat, 1984. 285 s.
14. Shiklomanov I.A., Borzenkova I.I., Georgievskij V.Yu., Kolosov P.A., Speranskaya N.A. *Vodnye resursy // Ochenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii*. T. 2. *Posledstviya izmenenij klimata*. Moskva: Rosgidromet, 2008. S. 77–86.
15. Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S., Palutikof J.P. Eds. *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC Secretariat, 2008. 210 p.
16. Filatov N., Baklagin V., Efremova T., Nazarova L., Palshin N. Climate change impacts on the watersheds of Lakes Onego and Ladoga from remote sensing and in situ data // *Inland Waters*. 2019. V. 9. P. 130–141.  
<https://doi.org/10.1080/20442041.2018.1533355>
17. Kritzberg, E.S., Ekström, S.M. Increasing iron concentrations in surface waters – a factor behind brownification? // *Biogeosciences*. 2012. V. 9. № 4. P. 1465–1478.  
<https://doi.org/10.5194/bg-9-1465-2012>
18. R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org/> (data obrashheniya 1.09.2021).
19. Solomon Ch.T., Jones S.E., Weidel B.C., Buffam I., Fork M.L., Karlsson J., Larsen S., Lennon J.T., Read J.S., Sadro S., Saros J.E. Ecosystem consequences of changing inputs of terrestrial dissolved organic matter to lakes: current knowledge and future challenges // *Ecosystems*. 2015. V. 18. P. 376–389.  
<https://doi.org/10.1007/s10021-015-9848-y>
20. Weyhenmeyer G.A., Karlsson J. Nonlinear response of dissolved organic carbon concentrations in boreal lakes to increasing temperatures // *Limnology and Oceanography*. 2009. V. 54. № 6. Part 2. P. 2513–2519.  
[https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6\\_part\\_2.2513](https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2513)
21. Vuori K.M. Direct and indirect effects of iron on river ecosystems // *Ann. Zool. Fennici*. 1995. V. 32. P. 317–329.