УДК 556.18:556.114(470.23) *https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-5-92-108*

Оригинальная статья / Original paper

Особенности пространственно-временных изменений гидрофизических и гидрохимических характеристик воды в гидросистеме ГМЗ «Петергоф»

А. В. Горбунова[1], М. Л. Марков[2], Г. В. Пряхина[1], А. В. Козачек[1,3]

Alyona.gorbunowa2015@Yandex.ru

[1] *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*
[2] *Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия*
[3] *Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Водоподводящая система фонтанов музея-заповедника «Петергоф» существует почти три века. Благодаря продуманной конструкции она стабильно работает при минимальном обслуживании, что долго объясняло отсутствие мониторинга ее водного режима. Однако в последние десятилетия растет антропогенная нагрузка, усиливается и влияние изменения климата. Для сохранения гидросистемы нужны адаптивные мероприятия на основе комплексных исследований всех звеньев гидрографической цепи. Подобных работ до сих пор не проводилось ввиду отсутствия финансирования и высокой трудоемкости традиционных методов. **Методы.** Вместе с тем современные экспресс-методы позволяют оперативно получать данные и оценивать состояние среды. Цель данной работы – оценка пространственно-временных изменений гидрофизических и гидрохимических характеристик воды в гидросистеме Петергофа под воздействием природных и антропогенных факторов по данным экспресс-методов за 2025 г. и зиму 2026 г. на четырех участках. **Результаты.** Показано, что в холодный период характеристики воды слабо меняются по длине системы и соответствуют водам ордовикского горизонта (+4…+6 °С, 317–357 мг/л, $\delta^{18}O$ −11,85…−11,99 ‰). В теплый период, начиная от Шинкарского пруда, температура возрастает почти в три раза, а минерализация в Английском пруду снижается более чем на 1/3 относительно родников. Наибольшие изменения гидрофизических показателей отмечены в нижних частях системы, где водосбор занят городской застройкой и садоводческими постройками. Научная значимость работы заключается в комплексной оценке трансформации родниковых вод по каскаду прудов и каналов с использованием экспресс-методов и относительных коэффициентов. Практическая ценность исследования состоит в выявлении объектов, требующих улучшения водообмена и санации водосборов для снижения загрязнений, что необходимо для устойчивого функционирования гидросистемы ГМЗ «Петергоф» и парка «Сергиевка».

© Горбунова А. В., Марков М. Л., Пряхина Г. В., Козачек А. В., 2026

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водоподводящая система фонтанов; температура; минерализация; pH; изотопный состав воды ($\delta^{18}O$, d-excess); экспресс-методы; относительные коэффициенты; урбанизация водосбора; ручьи Ижорской возвышенности; парк «Сергиевка».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Горбунова А. В., Марков М. Л., Пряхина Г. В., Козачек А. В. Особенности пространственно-временных изменений гидрофизических и гидрохимических характеристик воды в гидросистеме ГМЗ «Петергоф» // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2026. № 5. С. 92–108; https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-5-92-108; EDN: DKDPUE

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают благодарность ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» за предоставление технической базы и проведение изотопного анализа проб воды, а также ФГБУ «Государственный гидрологический институт» за содействие в интерпретации полученных данных. Авторы признательны сотрудникам кафедры гидрологии суши Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета за ценные консультации и поддержку на всех этапах выполнения работы. Отдельная благодарность выражается О. А. Григорьевой, М. О. Каспину, А. А. Кобе, В. Д. Куклевой, Е. Д. Молчановой и П. В. Погореловой за помощь в организации и проведении полевых исследований.

Characteristics of spatio-temporal changes in hydrophysical and hydrochemical water parameters in the hydrosystem of the Peterhof State Museum-Reserve

Alena V. Gorbunova[1], Mikhail L. Markov[2], Galina V. Pryakhina[1], Anna V. Kozachek[1,3]

Alyona.gorbunowa2015@Yandex.ru

[1] *Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*
[2] *State Hydrological Institute, Saint Petersburg, Russia*
[3] *Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia*

ABSTRACT

Relevance. The water supply system for the fountains of the Peterhof State Museum-Reserve has existed for nearly three centuries. Thanks to its well-designed construction, it has been functioning stably with minimal maintenance, which for a long time explained the absence of monitoring of its water regime. However, in recent decades, the anthropogenic load has been increasing, and the influence of climate change has also been growing. To preserve the hydrosystem, adaptive measures based on comprehensive studies of all links of the hydrographic chain are needed. Such studies have not been conducted so far due to lack of funding and the high labor intensity of traditional methods. **Methods.** At the same time, modern express methods allow for rapid data acquisition and assessment of the state of the environment. The aim of this work is to assess spatio-temporal changes in hydrophysical and hydrochemical water parameters in the

Peterhof hydrosystem under the influence of natural and anthropogenic factors, based on data obtained by express methods during 2025 and winter 2026 at four sections. **Results.** It is shown that in the cold period, water parameters change only slightly along the system and correspond to the waters of the Ordovician horizon (+4…+6 °C, 317–357 mg/L, $\delta^{18}O$ -11.85…-11.99 ‰). In the warm period, starting from the Shinkarsky Pond, the temperature increases almost threefold, and the mineralization in the English Pond decreases by more than one-third relative to the springs. The greatest changes in hydrophysical parameters were recorded in the lower parts of the system, where the catchment area is occupied by urban development and horticultural plots. The scientific significance of the work lies in the comprehensive assessment of the transformation of spring waters along the cascade of ponds and canals using express methods and relative coefficients. The practical value of the study consists in identifying objects that require improved water exchange and remediation of catchments to reduce pollution, which is necessary for the sustainable functioning of the hydrosystem of the Peterhof State Museum-Reserve and Sergiyevka Park.

KEYWORDS: fountain water supply system; temperature; mineralization; pH; water isotopic composition ($\delta^{18}O$, d-excess); express methods; relative coefficients; catchment urbanization; streams of the Izhora Upland; Sergiyevka Park.

FOR CITATION: Gorbunova A.V., Markov M.L., Pryakhina G.V., Kozachek A.V. Characteristics of spatio-temporal changes in hydrophysical and hydrochemical water parameters in the hydrosystem of the Peterhof State Museum-Reserve. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2026. No. 5. P. 92–108; https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-5-92-108; EDN: DKDPUE

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors express their gratitude to the Arctic and Antarctic Research Institute for providing the technical facilities and conducting isotopic analysis of water samples, as well as to the State Hydrological Institute for assistance in the interpretation of the obtained data. The authors are grateful to the staff of the Land Hydrology Department, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, for valuable consultations and support at all stages of the work. Special thanks are extended to O. A. Grigorieva, M. O. Kaspin, A. A. Koba, V. D. Kukleva, E. D. Molchanova, and P. V. Pogorelova for their assistance in organizing and conducting field studies.

ВВЕДЕНИЕ

Водоподводящая система фонтанов (ВПСФ) Государственного музея-заповедника (ГМЗ) «Петергоф», спроектированная и построенная под руководством инженера-гидравлика В. Г. Туволкова [1] в XVIII–XIX вв., на протяжении трех столетий обеспечивает питание фонтанов Петродворца. В последние десятилетия ВПСФ испытывает все возрастающее антропогенное воздействие из-за масштабной жилой застройки водосбора. Исчезновение в XX в. некоторых элементов гидрографической сети, сокращение площади бассейна, заиление и зарастание водоемов оказывают влияние на санитарное состояние водных объектов. Дополнительным вызовом становится изменение климата: участившиеся засушливые периоды, аномально теплые зимы и перестройка

внутригодового стока оказывают значительное влияние на формирование ресурсов гидросистемы.

Изучение отдельных элементов гидросистемы Петергофа началось в 1930-е годы, а в 1960-е годы проведено первое комплексное исследование директором ГМЗ «Петергоф» Н. И. Архиповым [2]. Традиции историко-архивного изучения системы продолжены в монографии А. Л. Потравнова и Т. Ю. Хмельник [3], обобщающей 300-летнюю эволюцию ВПСФ. С рубежа XX–XXI вв. историко-архивные работы дополнились натурными обследованиями верхней части ВПСФ, выполненными сотрудниками Государственного гидрологического института.

Научных статей о современном состоянии системы немного. Большинство из них носит прикладной или узкотематический характер: оценка воздействия современной застройки представлена в [4], состояние берегоукреплений одного из прудов проанализировано в [5], вопросы эксплуатации гидротехнических сооружений освещены в [6]. Геофизические методы применялись для мониторинга утечек из водоемов системы [7], гидрогеологические предпосылки ее функционирования рассмотрены в [8]. Биологические аспекты зарастания прудов изучены в [9]; для парка «Сергиевка» аналогичные оценки выполнены в [10, 11].

Пространственно-временная изменчивость гидрофизических и гидрохимических характеристик воды, особенно изотопного состава, остается при этом изученной фрагментарно. Настоящая работа восполняет этот пробел.

Целью данной работы является оценка пространственно-временных изменений гидрофизических и гидрохимических характеристик воды в гидросистеме ГМЗ «Петергоф» под воздействием различных природных и антропогенных факторов на основе данных, полученных экспресс-методами в течение 2025–2026 гг.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования были выбраны водоемы и водотоки, входящие в состав исторической водоподводящей системы фонтанов Петергофа, расположенной в границах двух административных территорий – Ленинградской области (верхняя часть водосбора) и Санкт-Петербурга (г. Петергоф). Система представляет собой сложный гидрографический комплекс, сформированный как естественными водотоками, так и искусственными сооружениями, и в настоящее время включает 16 прудов-накопителей, 9 каналов, 12 ручьев и рек, а также 135 гидротехнических сооружений (рис. 1). Основу питания системы формируют водотоки, берущие начало преимущественно из родников на склонах Ижорской возвышенности. Кроме ВПСФ, исследования проведены и на водных объектах расположенного вблизи ООПТ «Памятник природы «Парк «Сергиевка» (№ 28, рис. 1).

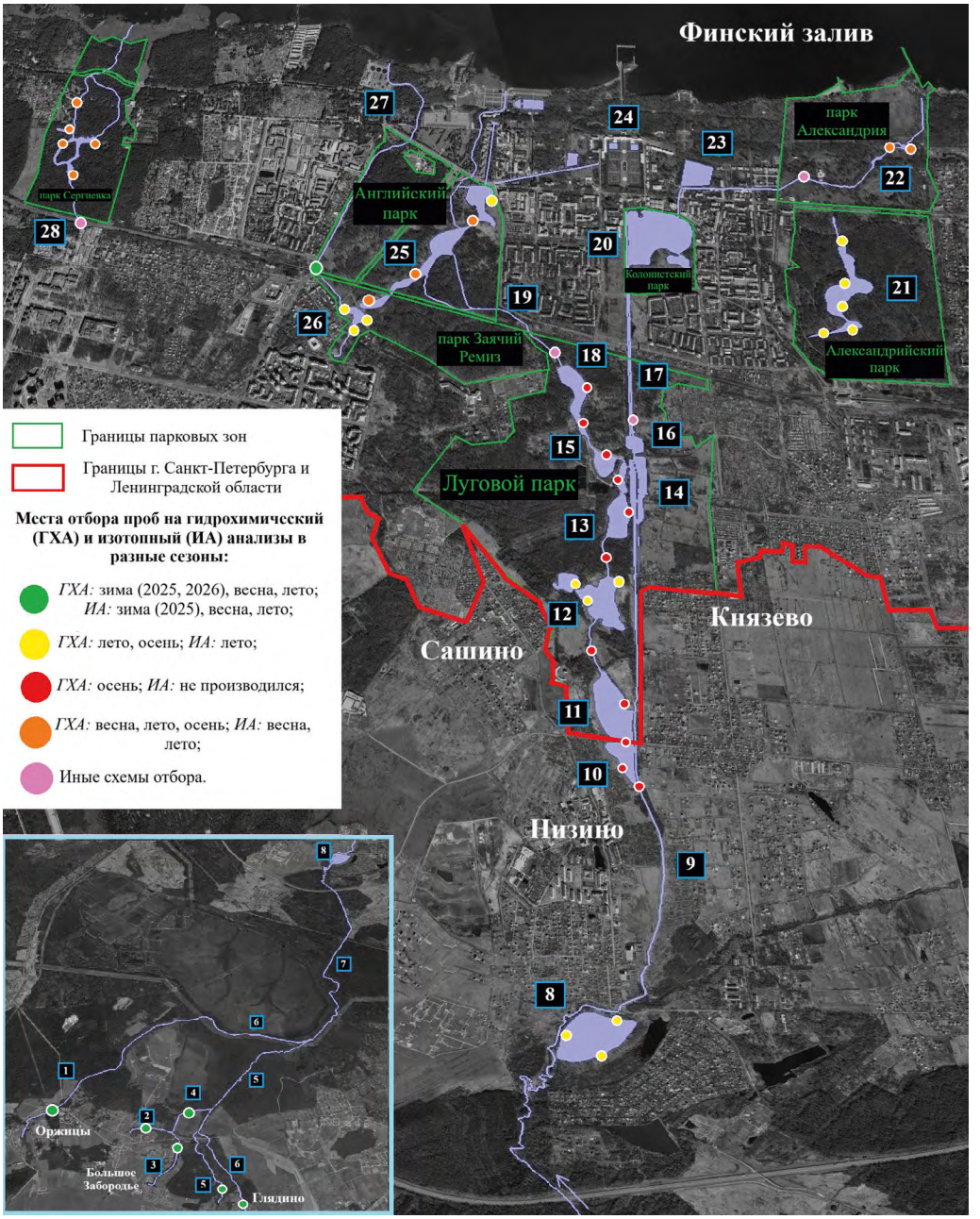


Рис. 1. Картосхема водоподводящей системы Петергофских фонтанов и места отбора проб на гидрохимический и изотопный анализы

Fig. 1. Map-scheme of the water supply system of the Peterhof fountains and sampling sites for hydrochemical and isotopic analyses

Цифрами на схеме обозначены: 1. Леваловский ручей; 2. Малый забородский ручей; 3. Большой забородский ручей; 4. р. Фабричная Речка; 5. Глядинский ручей; 6. Хабанский ручей; 7. р. Шингарка; 8. Новопетергофский канал; 9. Старопетергофский канал; 10. Шинкарский пруд; 11. Церковный пруд; 12. Бабигонский пруд; 13. Руинный и Саперный пруды; 14. Верхний и Нижний Орлиные пру-

ды; 15. Мельничный пруд; 16. Запасный пруд; 17. Круглый пруд; 18. Ольгинский канал и Самсониевский водовод; 19. Никольский пруд; 20. Ольгинский пруд; 21. Пролетарский пруд; 22. Александринский ручей и пруды Хмелевой и Дворцовый (Большой Александрийский); 23. Красный пруд; 24. Квадратные пруды; 25. Английский пруд; 26. Черный пруд; 27. Троицкий ручей; 28. Р. Кристателька и пруды парка «Сергиевка».

К иным схемам отбора проб относятся: р. Шингарка – ГХА: все 5 сезонов, ИА: зима, весна, лето; Старопетергофский канал – ГХА: лето, ИА: лето; Ольгинский канал – ГХА: лето, зима 2026, ИА: лето; р. Кристателька – ГХА: весна, лето, ИА: весна, лето; Александринский ручей – ГХА: весна, лето, осень, зима 2026, ИА: весна, лето.

The numbers on the scheme indicate: 1. Levalovsky Stream; 2. Maly Zaborodsky Stream; 3. Bolshoy Zaborodsky Stream; 4. Fabrichnaya Rechka River; 5. Glyadinsky Stream; 6. Khabansky Stream; 7. Shingarka River; 8. Novopeterhofsky Canal; 9. Staropeterhofsky Canal; 10. Shinkarsky Pond; 11. Tserkovny (Church) Pond; 12. Babigonsky Pond; 13. Ruinny and Sapyorny Ponds; 14. Verkhny and Nizhny Orlinye (Upper and Lower Eagle) Ponds; 15. Melnichny (Mill) Pond; 16. Zapasny (Reserve) Pond; 17. Krugly (Round) Pond; 18. Olginsky Canal and Samsonievsky Water Conduit; 19. Nikolsky Pond; 20. Olginsky Pond; 21. Proletarsky Pond; 22. Alexandrinsky Stream and Khmelevoy and Dvortsovy Ponds; 23. Krasny (Red) Pond; 24. Kvadratnye (Square) Ponds; 25. Angliysky (English) Pond; 26. Cherny (Black) Pond; 27. Troitsky Stream; 28. Kristatelka River and ponds of Sergiyevka Park.

Other sampling schemes include: Shingarka River – HCA(Hydrochemical Analysis): all 5 seasons, IA(Isotopic Analysis): winter, spring, summer; Staropeterhofsky Canal – HCA: summer, IA: summer; Olginsky Canal – HCA: summer, winter 2026, IA: summer; Kristatelka River – HCA: spring, summer, IA: spring, summer; Alexandrinsky Stream – HCA: spring, summer, autumn, winter 2026, IA: spring, summer.

Для оценки гидрофизических и гидрохимических характеристик водных объектов ВПСФ был выполнен комплекс полевых и лабораторных исследований. Отбор проб воды для изотопного анализа, определения минерализации и pH, а также визуальные наблюдения за состоянием водотоков и водоемов проводились: в период зимней межени (февраль 2025 г. и январь 2026 г.), половодья (март – апрель 2025 г.), летне-осенней межени (июль и сентябрь 2025 г.).

Количество обследованных водных объектов варьировалось в зависимости от сезона: 8 водотоков в первую зимнюю съемку (родниковые ручьи Ропшинской возвышенности); в весенний период к ним добавились пруды Английского парка, парков «Сергиевка» и «Александрия», а также Александринский ручей; летом количество объектов увеличилось до 24 за счет включения Ольгинского и Старопетергофского каналов, Шинкарского, Черного и Пролетарского прудов; осенью основное внимание было уделено системе р. Шингарки и связанным с ней прудам-накопителям (Церковный, Бабигонский, Руинный, Орлиный, Никольский). Отбор проб воды выполнялся из поверхностного слоя в прибрежной части водных объектов в соответствии с общепринятыми методиками[1] [7], одновременно измерялась температура воды поверхностного слоя с помощью цифрового термометра RGK CT-105. Кроме того, на части водотоков (ручьях Ропшинской возвышенности, Ольгинском и Старопетергофском каналах, Александринском ручье, р. Шингарке, р. Кристателькe и Троицком ручье) водомерной рейкой ГР-104 измерялась мощность донных отложений.

Анализ изотопного состава выполнен в Лаборатории изменений климата и окружающей среды Арктического и антарктического научно-исследователь-

1 ГОСТ Р 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб. Введ. 01.01.2023.

ского института (г. Санкт-Петербург). Измерения проводились на лазерном анализаторе Picarro L2130-i, реализующем технологию кольцевой спектроскопии (WS-CRDS – Wavelength-Scanned Cavity Ring-Down Spectroscopy). Подготовка проб и калибровка результатов выполнены сотрудниками лаборатории. Минерализация (TDS – Total Dissolved Solids) определялась кондуктометром HANNA HI 98311 Dist5; водородный показатель (pH) – pH-метром HANNA instruments HI98108; органолептические свойства – путем визуальной оценки цветности, наличия осадка и субъективной оценки запаха. Пространственная привязка всех точек отбора проб и промерных створов выполнялась с использованием GPS-навигатора GARMIN GPSMap 78s.

Для интерпретации полученных данных и составления сравнительной характеристики был использован метод относительных коэффициентов. В качестве эталона на каждую дату съемки приняты показатели Хабанского ручья, сток которого почти полностью обеспечен подземными водами, что позволяет рассматривать его как фоновую характеристику в разные сезоны родникового стока с Ижорской возвышенности (значения его показателей приняты за $K = 1$). Коэффициент рассчитан как отношение значения в исследуемом водном объекте к значению эталонного. Такой подход позволяет учесть сезонные колебания абсолютных величин исследуемых характеристик и выявить происходящие ниже родников изменения, обусловленные антропогенным влиянием, замедленным водообменом в прудах и поступлением поверхностного стока с предглинтовой низменности.

Поскольку термический и водный режимы водных объектов зависят от метеорологических условий, для корректной интерпретации результатов выполнен анализ данных о температуре воздуха и осадках по метеостанции «Санкт-Петербург» (26063)[2,3]. Учтены сведения за предшествующий период (ноябрь –

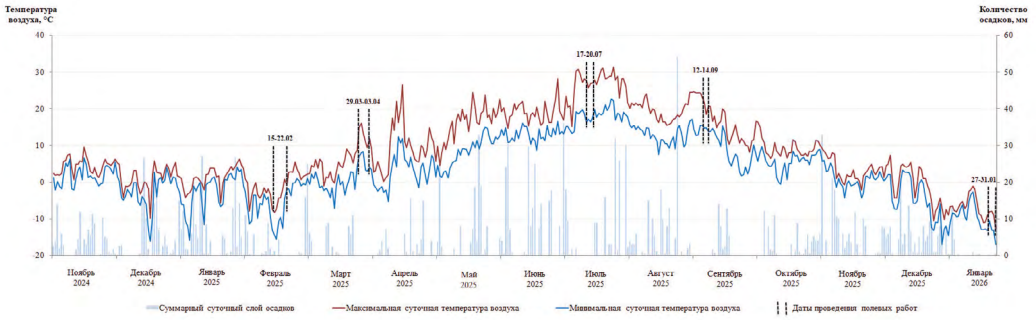


Рис. 2. Изменение метеорологических величин (ноябрь 2024 г. – январь 2026 г.) по данным метеостанции «Санкт-Петербург» (26063)

Fig.2. Changes in meteorological variables (November 2024 – January 2026) according to data from the St. Petersburg weather station (26063)

2 Архив погоды метеостанции «Санкт-Петербург» (26063). Режим доступа: https://rp5.ru (дата обращения: 10.03.2026).

3 ВНИИГМИ-МЦД. Режим доступа: http://meteo.ru/ (дата обращения: 18.12.2025).

декабрь 2024 г.) и за время проведения полевых работ, а также использованы официальные материалы Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)[4]. Метеорологические условия в период полевых работ в целом для Северо-Западного федерального округа характеризовались устойчивым превышением среднемесячных температур над климатической нормой и повышенной водностью года. Годовая сумма осадков составила 109 % от нормы (608 мм), а расчетная обеспеченность года по осадкам для периода наблюдений (1960–2025 гг., n = 65) составила 20 %, что соответствует условиям многоводного года. При этом в период проведения полевых работ осадки практически отсутствовали (менее 0,6 мм) (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате визуального обследования выявлено существенное влияние антропогенной деятельности на водные объекты. Русла водотоков на отдельных участках значительно засорены древесными остатками (Большой Забородский ручей), бытовыми и строительными отходами (р. Кристателька в районе ж/д моста у ст. Университет), зафиксированы желтоватый оттенок воды и устойчивый органический запах с нефтепродуктовой составляющей (Троицкий ручей и р. Шингарка, протекающие в черте Петергофа). На отдельных водотоках (Хабанском, Леваловском, а также Малом Забородском ручьях) выявлены участки русла, где в летний период населением осуществлялся забор воды (установлены насосы).

В теплый период года отмечено зарастание до 70–90 % северных частей акваторий Пролетарского, Черного и Английского прудов высшей водной растительностью (рогозом, тростником и рдестом). В Саперном пруду в результате дноуглубительных работ наблюдалось помутнение воды и снижение уровня. Гидротехнические сооружения (шлюзы, переливы, трубы) в Александрийском парке и парке «Сергиевка» находились в неудовлетворительном состоянии: они заилены, заросли, а в ряде случаев полностью бездействуют, нарушая водообмен. Берега многих водоемов в парковых зонах активно использовались для неорганизованного отдыха, что приводило к локальным скоплениям бытовых отходов.

Сезонная динамика гидрофизических, гидрохимических, изотопных характеристик воды

Гидрохимический и термический режим водоподводящей системы Петергофа формируется под действием двух групп факторов. С одной стороны, это питание водотоков из трещиноватых горизонтов ордовикского водоносного комплекса, дренирующих карбонатную толщу и задающих базовый уровень минерализации и pH. С другой – влияние сезонных и антропогенных факто-

4 Гидрометцентр России. Обзор погодных условий на территории Российской Федерации в 2025 году. М., 2026. Режим доступа: https://www.meteorf.gov.ru/press/news/42993/ (дата обращения: 03.03.2026).

ров, изменяющихся по мере движения водных потоков от Ижорской возвышенности к Финскому заливу через каскады прудов и каналов. Условно гидросеть была разделена на 4 участка: I. От верховий до Английского пруда; II. От Ольгинского канала до парка «Александрия»; III. Троицкий ручей – Черный пруд; IV. Р. Кристателька – пруды парка «Сергиевка».

I. От верховий до Английского пруда

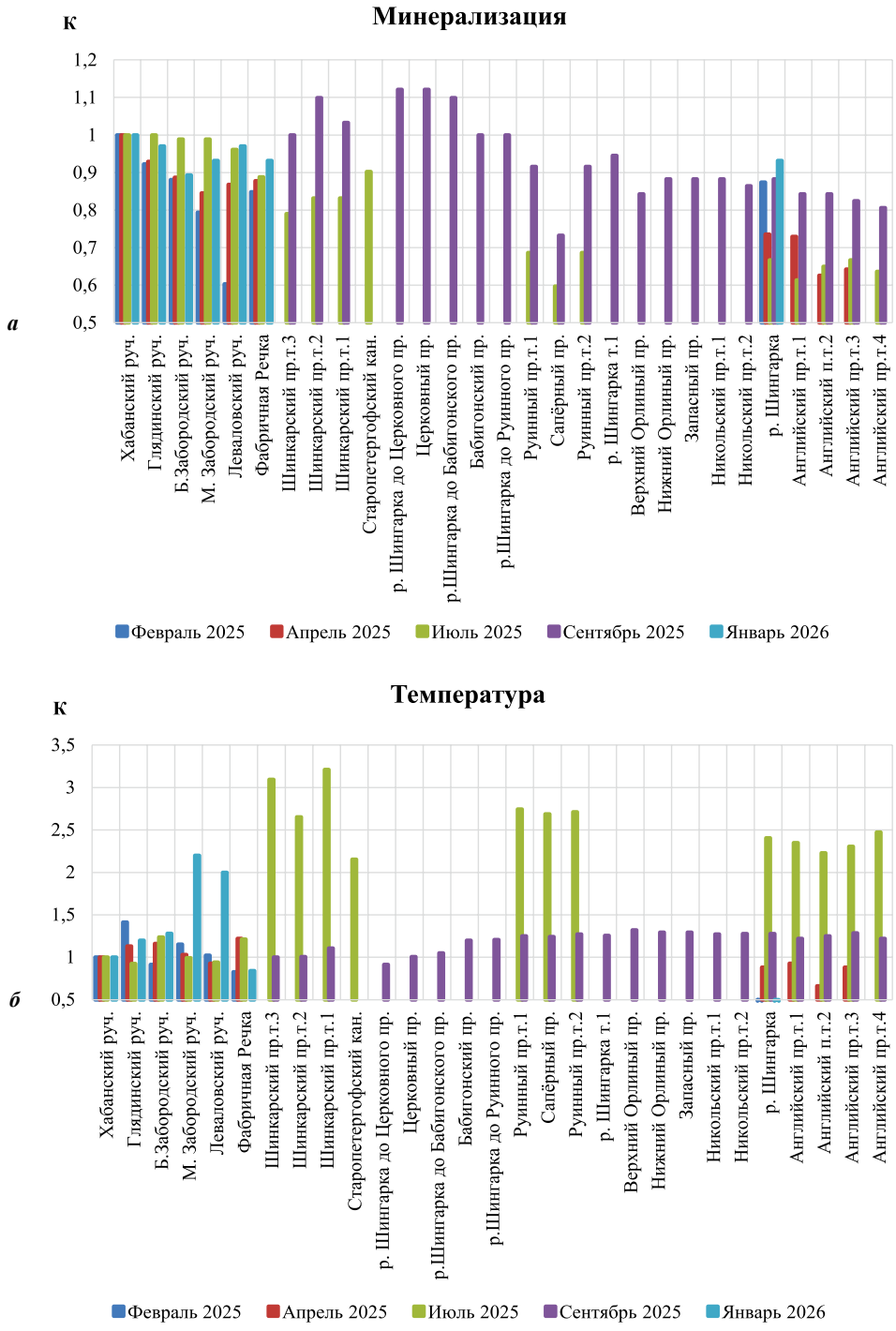
В первый участок объединены верховые ручьи, Старопетергофский канал, каскад прудов Лугового парка (Церковный, Бабигонский, Руинный, Саперный, Орлиные, Никольский) и замыкающий Английский пруд. Температура воды в водных объектах в зимний период составляла +4…+6 °С, летом изменялась в пределах +11…+14°С. Изотопный состав характеризовался значениями $\delta^{18}O$ от −11,85 до −11,99 ‰, d-excess 9,75–10,40. Минерализация сохранялась в интервале 317–357 мг/л. Относительные коэффициенты минерализации близки к 1 (рис. 3*а*). Исключение составил Леваловский ручей – 187 мг/л зимой 2025 г.

В Шинкарском пруду летом вода прогревалась до +37,9 °С (K = 3,21, рис. 3*б*), минерализация снижалась до 282–297 мг/л (K = 0,79–0,83). Далее по каскаду Лугового парка (осенние данные) температура повышалась от верховьев к устью (с +12,8 до +18,5 °С), а минерализация снижалась с 306 до 230 мг/л. Изотопный состав воды в прудах каскада утяжелялся по мере продвижения к устью: от $\delta^{18}O \approx -11{,}4$ ‰, d-excess ≈ 8,2–9,0 в Шинкарском пруду до максимального в Саперном пруду ($\delta^{18}O = -3{,}93$ ‰, d-excess = −14,26). В замыкающем Английском пруду – $\delta^{18}O \approx -10{,}0\ldots-10{,}4$ ‰, d-excess ≈ 5,2–6,1). В Саперном пруду летом минерализация составляла 213 мг/л (K = 0,60). Английский пруд сохранял пониженную относительно эталона минерализацию (K = 0,61–0,67) и высокую летнюю температуру (K = 2,2–2,5).

II. От Ольгинского канала до парка «Александрия»

Второй участок включает Ольгинский канал, а также водные объекты парка «Александрия» (Хмелевой и Дворцовый пруды), питающиеся от Александринского ручья. Ольгинский канал летом прогревался до +23,9 °С (K = 2,03, рис. 4*б*) при минерализации 317 мг/л (K = 0,89, рис. 4*а*), а зимой 2026 г. минерализация составляла 341 мг/л (K = 1,01). Изотопный состав канала – $\delta^{18}O \approx -11{,}70$‰, d-excess ≈ 9,4.

В точке 1 Пролетарского пруда, расположенной вблизи места врезки подземной трубы, соединявшей ранее канал с прудом, летняя минерализация составляла 187 мг/л (K = 0,52), изотопный состав – $\delta^{18}O$ до −6,62 ‰, d-excess до −8,01. В точке 5 Пролетарского пруда, наиболее близкой к границе двух парков, летняя минерализация – 116 мг/л (K = 0,32), $\delta^{18}O = -7{,}10$ ‰, d-excess = −5,22. В Александрийских прудах минерализация составляла 255–256 мг/л, $\delta^{18}O \approx -11{,}0\ldots-11{,}2$ ‰, d-excess ≈ 7–8.



а

б

Рис. 3. Изменение минерализации (*а*) и температуры (*б*) воды от родников до Английского пруда относительно измеренных в Хабанском ручье

Fig. 3. Changes in mineralization (*a*) and temperature (*b*) of water from the springs to the English Pond relative to the values measured in the Khabansky Stream

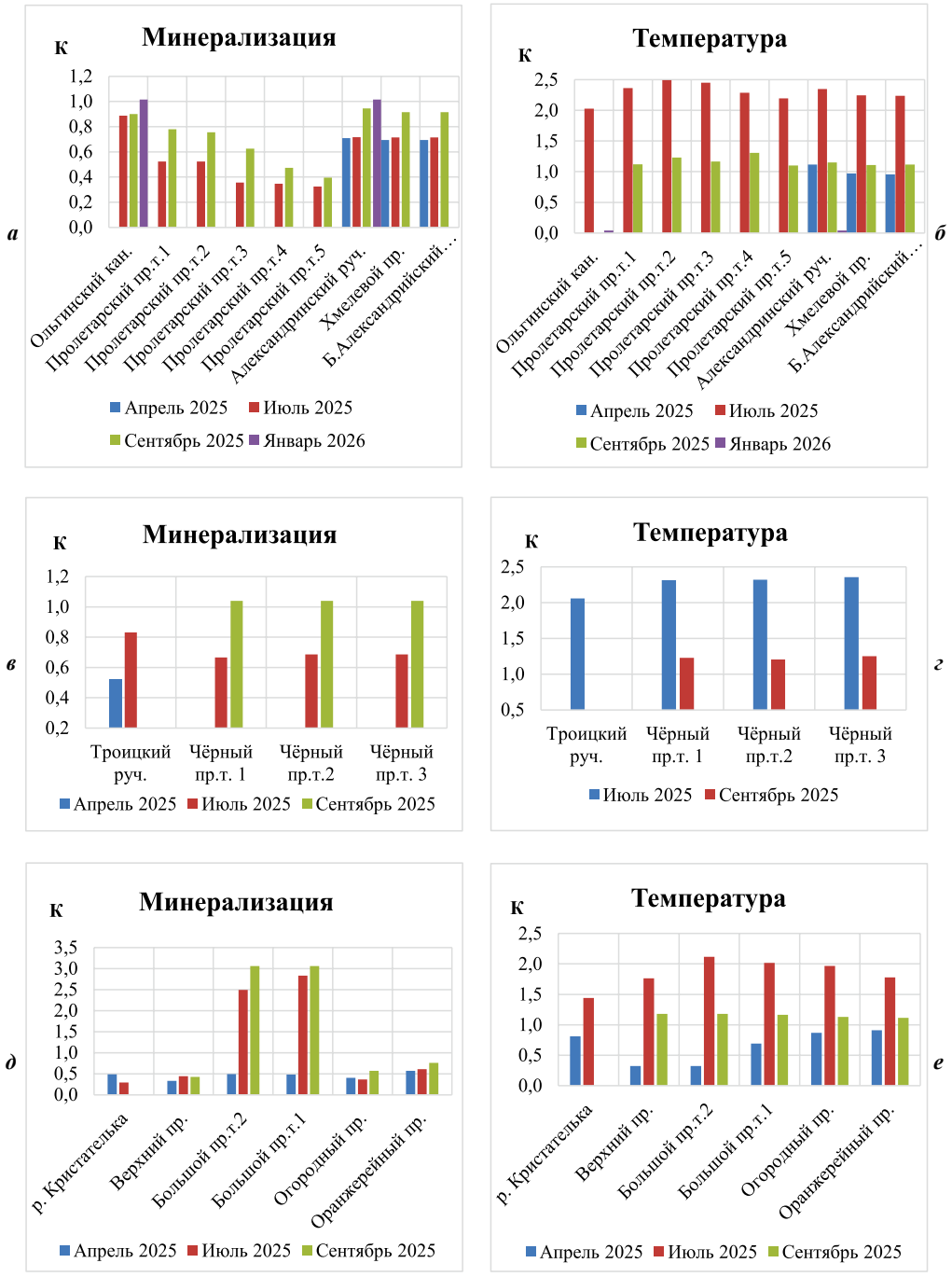


Рис. 4. Изменение минерализации и температуры воды относительно измеренных в Хабанском ручье: (*а, б*) – в водных объектах, связанных с Ольгинским каналом; (*в, г*) – в бассейне Троицкого ручья; (*д, е*) – в бассейне р. Кристателки

Fig. 4. Changes in water mineralization and temperature relative to the values measured in the Khabansky Stream: (*a, b*) – in water bodies associated with the Olginsky Canal; (*c, d*) – in the Troitsky Stream basin; (*e, f*) – in the Kristatelka River basin

Александринский ручей и связанные с ним Хмелевой и Дворцовый пруды характеризовались минерализацией с K = 0,71–0,72, температурой до +27,7 °C (K = 2,35), $\delta^{18}O \approx -11{,}2\ldots-11{,}0$ ‰, d-excess ≈ 8,0–7,8.

III. Троицкий ручей – Черный пруд

Третий участок представлен Троицким ручьем и Черным прудом, который в настоящее время гидравлически не связан с Английским прудом.

Для Троицкого ручья характерна сезонная изменчивость показателей. Зимой минерализация составляла 280–336 мг/л (K = 0,90–1,00), температура – около 0 °C, изотопный состав – $\delta^{18}O = -12{,}25$ ‰, d-excess = 8,82. Летом минерализация снижалась до 297 мг/л (K = 0,83, рис. 4*в*), температура повышалась до +24,3 °C (K = 2,06, рис. 4*г*), изотопный состав – $\delta^{18}O = -10{,}72$ ‰, d-excess = 7,04.

Черный пруд летом прогревался до +27,8 °C (K = 2,36), изотопный состав – $\delta^{18}O \approx -10{,}35$ ‰, d-excess ≈ 6,2. В теплый сезон pH снижался до 6,9–7,1. Осенняя минерализация возрастала до 284 мг/л (K = 0,92).

IV. Р. Кристателька – пруды парка «Сергиевка»

Четвертый участок включает р. Кристателька и каскад прудов парка «Сергиевка» (Верхний, Большой, Огородный, Оранжерейный).

Летняя минерализация Кристателька составляла 105 мг/л (K = 0,29, рис. 4*д*), $\delta^{18}O = -9{,}67$ ‰, d-excess = 3,3. Минерализация в прудах парка «Сергиевка» в тот же период варьировалась от 130 до 219 мг/л (Верхний – 159, Огородный – 130, Оранжерейный – 219). В Большом пруду зафиксирована минерализация до 1012 мг/л (K = 2,83) при pH 6,7–6,8.

В сентябре минерализация Большого пруда снизилась до 836 мг/л, в остальных прудах каскада значения не превышали 156–208 мг/л. К концу ноября 2025 г. минерализация составила: Большой – 36–109 мг/л, Огородный – 55 мг/л, Верхний – 65 мг/л, Оранжерейный – 99 мг/л, а pH сместился в кислую область (6,3–6,6). Река Кристателька в этот период имела минерализацию 165 мг/л.

Выводы о причинах выявленных изменений характеристик воды

Полученные результаты пространственно-временного изменения гидрофизических характеристик и изотопного состава воды показали следующее. В холодный период года в водных объектах преобладают подземные воды, поверхностное питание незначительно, поэтому наблюдаемые характеристики воды мало различаются от истоков до устьевых участков гидрографической сети. Основные изменения происходят в летний период: последовательное прохождение воды через пруды усиливает ее нагревание, а снижение минерализации связано с осаждением солей и разбавлением талыми и до-

ждевыми водами с прилегающих территорий. На изменение характеристик воды оказывают влияние степень проточности прудов и урбанизация водосборов.

На слабопроточных прудах (Саперном, западной части Английского) летом возрастает питание дождевыми водами, что приводит к более высокому росту температуры, снижению минерализации и увеличению потерь на испарение по сравнению с проточными водоемами. Парадоксальное сочетание низкой минерализации с экстремальным изотопным сдвигом в Саперном пруду объясняется его слабой проточностью и питанием преимущественно с заболоченного водосбора; ранее пруд был более проточным и соединен двумя каналами с Черным прудом. На непроточном в современных условиях Пролетарском пруду дополнительным фактором, влияющим на солевой баланс, является активное зарастание акватории высшей водной растительностью (до 70–90 %). Отсутствие гидравлической связи Пролетарского пруда с Ольгинским каналом подтверждается различиями минерализации (116–187 мг/л против 317 мг/л) и изотопного состава ($\delta^{18}O$ до −6,6 ‰ против −11,7 ‰).

Наибольшее влияние урбанизации на формирование гидрологического режима выявлено у Троицкого ручья и гидравлически связанного с ним Черного пруда, а также у прудов парка «Сергиевка». Водосбор Троицкого ручья в XX в. застроен более чем на 2/3, а водосбор прудов «Сергиевки» сокращен почти в 10 раз. В результате на этих объектах зафиксированы высокий летний прогрев воды и низкая минерализация даже зимой. Сезонная динамика Троицкого ручья отражает смешанный тип питания: зимой доминируют подземные воды, летом добавляются поверхностные (талые и дождевые), которые снижают минерализацию и утяжеляют изотопный состав. Черный пруд выступает как локальный аккумулятор тепла и зона трансформации гидрохимических характеристик, однако его изолированность от нижележащих звеньев системы ограничивает влияние на магистральный поток.

Система р. Кристательки и прудов парка «Сергиевка» функционирует обособленно. Хроническое нарушение водосбора (низкая минерализация и тяжелый изотопный состав) сохраняется круглый год. Летняя аномалия минерализации в Большом пруду (до 1012 мг/л) не является результатом многолетнего испарительного концентрирования, а представляет собой локальный антропогенный эпизод. Наиболее вероятными причинами являются неорганизованный сброс сточных или дренажных вод с прилегающей территории либо вторичное загрязнение от ранее загрязненных донных отложений, поступавших со стоком р. Кристательки в период активной застройки ее водосбора. Прямых доказательств сброса не выявлено. Изменение гидрохимических показателей в предледоставный период свидетельствует о способности системы к сезонному снижению минерализации под влиянием природных факторов.

ВЫВОДЫ

Выполненные исследования выявили существенное изменение гидрофизических и гидрохимических характеристик воды в гидросистемах ГМЗ «Петергоф» и в ООПТ «Памятник природы «Парк «Сергиевка», которые нарастают от основной зоны питания из родников с Ижорской возвышенности к побережью Финского залива. Особенности этих изменений состоят в следующем.

Наибольшие изменения гидрофизических характеристик по длине гидросистемы ГМЗ наблюдаются в летний период. Начиная от Шинкарского пруда, температура воды летом вырастает почти в три, а осенью – в 1,5 раза по отношению к температуре воды в родниках. Минерализация начинает снижаться от Шингарского пруда и в Английском она уже ниже более чем на 1/3. В зимний период эти характеристики меняются по длине незначительно.

Изменение минерализации в водных объектах, связанных с Ольгинским каналом, показывает, что в питании Пролетарского пруда воды Шингарской системы играют очень малую роль и он слабопроточный. Хмелевой и Дворцовый (Большой Александрийский) пруды сохранили питание от родников.

В питании Троицкого ручья роль родникового стока мала, т. к. он вытекает из заболоченной предглинтовой территории. Высокая минерализация в нем обусловлена высокой степенью урбанизации водосбора.

Основная река, питающая пруды парка «Сергиевка», в современных условиях не получает подземное питание от родников Ижорской возвышенности. Ее сток формируется преимущественно из осадков на водосбор. Существенный рост минерализации летом в Большом пруду, вероятно, связан с локальным антропогенным воздействием – неорганизованным сбросом сточных или дренажных вод с прилегающей территории либо вторичным загрязнением от ранее загрязненных донных отложений. Прямых доказательств сброса не выявлено.

Наибольшее антропогенное влияние на гидрохимические характеристики выявлено в Черном и Большом прудах. Слабая проточность оказывает влияние на наблюдаемые показатели на Саперном и Пролетарском прудах.

Для устойчивой эксплуатации гидросистемы ГМЗ «Петергоф» и сохранения ООПТ «Памятник природы «Парк «Сергиевка» необходимы:

а) восстановление проточности Саперного и Пролетарского прудов и гидравлической связи Пролетарского пруда с Ольгинским каналом;

б) санация водосборов Троицкого ручья, Черного и Большого прудов со снижением поступления загрязнений;

в) регулярный мониторинг изотопного состава и минерализации воды в контрольных точках;

г) ограничение неорганизованного сброса сточных и дренажных вод с прилегающих урбанизированных территорий.

В перспективе планируется дальнейшая застройка водосборной площади ВПСФ, что может усилить выявленные негативные тенденции (как это уже произошло на примере Троицкого ручья, Черного, Пролетарского и Большого прудов). Это указывает на чрезвычайную актуальность скорейшей разработки мероприятий по сохранению и улучшению состояния водных объектов дворцово-парковых ансамблей в Петергофе. Для более точной оценки влияния урбанизированной части водосбора необходимы дальнейшие исследования с расширением перечня измеряемых показателей.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ
Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.
CONFLICT OF INTERESTS
The authors declare no relevant conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Памятники архитектуры пригородов Ленинграда. Л.: Стройиздат, 1985. С. 120–135. Режим доступа: https://djvu.online/file/opgHrBICN0xQ0 (дата обращения: 20.03.2026).
2. Архипов Н. И. Исследования по истории Петергофа: сборник трудов. СПб.: ГМЗ «Петергоф», 2016. С. 592. ISBN 978-5-91598-022-7. Режим доступа: https://peterhofmuseum.ru/assets/files/20170904/d31f3f8b1f758a51bf5a5c633e53da57.pdf (дата обращения: 20.03.2026).
3. Потравнов А. Л. Петергофская водоподводящая система: 300 лет истории / А. Л. Потравнов, Т. Ю. Хмельник. СПб., 2019.
4. Карпенко А. Г. Научно-практическая оценка возможности воздействия строительства и эксплуатации локальных малоэтажных зданий на Петергофскую водоподводящую систему фонтанов // Актуальные проблемы недропользования: тезисы докладов XIX Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов (Санкт-Петербург, 12–16 апр. 2021 г.). Т. 4. СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2021. С. 32–33. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47142132 (дата обращения: 23.03.2026).
5. Чайников Н. А. Ремонт берегоукрепления Сухого пруда – элемента водоподводящей системы Петергофа // Неделя науки ИСИ: сборник материалов Всероссийской конференции (Санкт-Петербург, 04-10 апр. 2022 г.). Ч. 1. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. С. 72–75. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50111037 (дата обращения: 25.03.2026).
6. Яковлева Н. М. Эксплуатация гидротехнических сооружений водоподводящей системы фонтанов Петергофа // Окружающая среда Санкт-Петербурга, 2023. № 2. С. 26–30. Режим доступа: https://ecopeterburg.ru/2023/07/14/эксплуатация-гидротехнических-соор/ (дата обращения: 25.03.2026).
7. Titov K. Monitoring of water seepage from a reservoir using resistivity and self polarization methods: case history of the Petergoph fountain water supply system / K. Titov, V. Loukhmanov, A. Potapov // First Break. 2000. Vol. 18. Iss. 10. P. 431–435. Режим доступа: https://pureportal.spbu.ru/en/publications/monitoring-of-water-seepage-from-a-reservoir-using-resistivity-and-self-polarization-methods(575ba75c-d458-4d55-97cf-0ff1bf30e4cf).html (дата обращения: 20.03.2026).
8. Ромачевский В. М. Водоподводящая система Петергофских фонтанов – чудо русской гидротехники / В. М. Ромачевский, А. Н. Евдокимов, А. В. Зыков // История Петербурга. 2022. № 2 (86). С. 130–146. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48617427 (дата обращения: 20.04.2026).

9. Рябова В. Н. Восстановление растительности рекультивированных прудов западной ветви водоподводящей системы г. Петергофа / В. Н. Рябова, В. А. Васильева // Вестник СПбГУ. Сер. 3. Биология. 2009. № 3. С. 146–157. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12915729 (дата обращения: 20.04.2026).
10. Старыгина А. Л. Современное состояние дворцово-паркового ансамбля «Сергиевка»: магистерская диссертация. СПб., 2015. Режим доступа: http://elib.spbstu.ru/dl/2/6020.pdf (дата обращения: 20.04.2026).
11. Румянцева Е. А. Современное состояние ручья Кристательки и прудов парка «Сергиевка». СПб. : Университет ИТМО, 2023. Режим доступа: https://kmu.itmo.ru/digests/article/11795 (дата обращения: 20.04.2026).
12. Алекин О. А., Семенов А. Д., Скопинцев Б. А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. С. 269.

REFERENCES

1. Architectural monuments of Leningrad suburbs. Leningrad: Stroyizdat, 1985. P. 120-135. URL: https://djvu.online/file/opgHrBICN0xQ0 (accessed: 20.03.2026). (In Russ.).
2. Arkhipov N. I. Studies on the history of Peterhof: collected works. St. Petersburg: Peterhof State Museum-Reserve, 2016. P. 592. ISBN 978-5-91598-022-7. URL: https://peterhofmuseum.ru/assets/files/20170904/d31f3f8b1f758a51bf5a5c633e53da57.pdf (accessed: 20.03.2026). (In Russ.).
3. Potravnov A. L., Khmelnik T. Yu. The Peterhof water supply system: 300 years of history. St. Petersburg, 2019. (In Russ.).
4. Karpenko A. G. Scientific and practical assessment of the possible impact of construction and operation of local low-rise buildings on the Peterhof fountain water supply system. In: Current problems of subsoil use. Proceedings of the XIX All-Russian Conference-Contest of Students and Postgraduates, St. Petersburg, April 12-16, 2021. Vol. 4. St. Petersburg: St. Petersburg Mining University, 2021. P. 32-33. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47142132 (accessed: 23.03.2026). (In Russ.).
5. Chaynikov N. A. Repair of the bank protection of the Sukhoy Pond – an element of the Peterhof water supply system. In: Science Week of the Institute of Civil Engineering. Proceedings of the All-Russian Conference, St. Petersburg, April 04-10, 2022. Part 1. St. Petersburg: POLYTECH-PRESS, 2022. P. 72–75. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50111037 (accessed: 25.03.2026). (In Russ.).
6. Yakovleva N. M. Operation of hydraulic structures of the water supply system of the Peterhof fountains. *Environment of Saint Petersburg*. 2023. No. 2. P. 26–30. URL: https://ecopeterburg.ru/2023/07/14/эксплуатация-гидротехнических-соор/ (accessed: 25.03.2026). (In Russ.).
7. Titov K., Loukhmanov V., Potapov A. Monitoring of water seepage from a reservoir using resistivity and self polarization methods: case history of the Petergoph fountain water supply system. *First Break*. 2000. Vol. 18. Iss. 10. P. 431–435. URL: https://pureportal.spbu.ru/en/publications/monitoring-of-water-seepage-from-a-reservoir-using-resistivity-and-self-polarization-methods(575ba75c-d458-4d55-97cf-0ff1bf30e4cf).html (accessed: 20.03.2026).
8. Romachevsky V. M., Evdokimov A. N., Zykov A. V. The water supply system of the Peterhof fountains – a wonder of Russian hydraulic engineering. *History of Petersburg*. 2022. Iss. 2 (86). P. 130–146. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48617427 (accessed: 20.04.2026). (In Russ.).
9. Ryabova V. N., Vasilyeva V. A. Restoration of vegetation of reclaimed ponds of the western branch of the water supply system of Peterhof. *Vestnik SPbGU. Ser. 3. Biology*. 2009. Iss. 3. P. 146–157. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12915729 (accessed: 20.04.2026). (In Russ.).
10. Starygina A. L. Current state of the palace and park ensemble “Sergievka”: master’s thesis. St. Petersburg, 2015. URL: http://elib.spbstu.ru/dl/2/6020.pdf (accessed: 20.04.2026). (In Russ.).

11. Rumyantseva E. A. Current state of the Kristatelka stream and ponds of Sergiyevka Park. St. Petersburg: ITMO University, 2023. URL: https://kmu.itmo.ru/digests/article/11795 (accessed: 20.04.2026). (In Russ.).
12. Alekin O. A., Semyonov A. D., Skopintsev B. A. Guide to chemical analysis of surface waters. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973. P. 269. (In Russ.).

Сведения об авторах:

Горбунова Алёна Вячеславовна, корреспондирующий автор, студентка кафедры гидрологии суши, Санкт-Петербургский государственный университет, 199178, Россия, Санкт-Петербург, 10-я линия В. О., 33; https://orcid.org/0009-0002-9457-4760; e-mail: Alyona.gorbunowa2015@Yandex.ru

Марков Михаил Леонидович, канд. геогр. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, отдел гидрологических процессов, ФГБУ «Государственный гидрологический институт», 199053, Россия, Санкт-Петербург, 2-я линия В. О., 23; https://orcid.org/0000-0002-6118-2704; e-mail: 2014mml@gmail.com

Пряхина Галина Валентиновна, канд. геогр. наук, доцент, зав. кафедрой гидрологии суши, Санкт-Петербургский государственныцй университет, 199178, Россия, Санкт-Петербург, 10-я линия В. О., 33; https://orcid.org/0000-0003-3684-4638; e-mail: g.pryahina@spbu.ru

Козачек Анна Владимировна, канд. геогр. наук, старший преподаватель, Санкт-Петербургский государственный университет, 199178, Россия, Санкт-Петербург, 10-я линия В. О., 33; заместитель заведующего отделом географии полярных стран лаборатории изменений климата и окружающей среды, ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», 199397, Россия, Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38; https://orcid.org/0000-0002-9704-8064; e-mail: Kozachek@aari.ru

About the authors:

Alena V. Gorbunova, corresponding author, Student, Land Hydrology Department, St. Petersburg State University, 33, 10th Line V. O., 199178, St. Petersburg, Russia; https://orcid.org/0009-0002-9457-4760; e-mail: Alyona.gorbunowa2015@Yandex.ru

Mikhail L. Markov, Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Leading Researcher, Department of Hydrological Processes, State Hydrological Institute, 23, 2nd Line V. O., 199053, St. Petersburg, Russia; https://orcid.org/0000-0002-6118-2704; e-mail: 2014mml@gmail.com

Galina V. Pryakhina, Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Head of the Land Hydrology Department, St. Petersburg State University, 33, 10th Line V. O., 199178, St. Petersburg, Russia; https://orcid.org/0000-0003-3684-4638; e-mail: g.pryahina@spbu.ru

Anna V. Kozachek, Cand. Sci. (Geogr.), Senior Lecturer, St. Petersburg State University, 33, 10th Line V. O., 199178, St. Petersburg, Russia; Deputy Head of the Department of Polar Countries Geography, Laboratory of Climate and Environmental Change, Arctic and Antarctic Research Institute, 38, Bering St., 199397 St. Petersburg, Russia; https://orcid.org/0000-0002-9704-8064; e-mail: Kozachek@aari.ru

Поступила в редакцию / Received 17.06.2026.
Поступила после рецензирования / Revised 02.10.2026.
Принята к публикации / Accepted 06.10.2026.