

ЗИМНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОЁМОВ ОКРЕСТНОСТЕЙ ББС МГУ ПО ДАННЫМ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2014, 2015 И 2024 ГГ.

А.Н. Василенко^{1,2}, В.А. Ефимов^{1,2}, В.А. Ломов^{1,2}, И.А. Репина^{1,2},
А.А. Сазонов^{1,2}, Н.Л. Фролова^{1,2}, Е.Д.Краснова¹, Д.А.Воронов¹,
Е.М. Аландаренко¹, Д.А. Глызин¹, И.А. Кенсовский¹, Д.А. Кириллов¹,
У.А. Конева¹, А.А. Кочнев¹, А.Д. Кузнецова¹, И.А. Кузнеченко¹,
С.Б. Подчезерцева¹, Т.А. Пойменова¹, У.А. Романова¹, И.М. Сенин¹,
С.С. Соловьева¹, А.Д. Теплякова¹, К.К. Фаев¹, И.А. Шереметьев¹

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, an_vasilenko24@mail.ru

² ИФА им. А.М. Обухова РАН, г. Москва

WINTER HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF LAKES IN WSBS SURROUNDINGS DUE TO MATERIALS OF FIELD STUDIES IN 2014, 2015 AND 2024

A.N. Vasilenko^{1,2}, V.A. Efimov^{1,2}, V.A. Lomov^{1,2}, I.A. Repina^{1,2}, A.A. Sazonov^{1,2},
N.L. Frolova^{1,2}, E.M. Alandarenko¹, D.A. Glyzin¹, I.A. Kensovskii¹, D.A. Kirillov¹,
U.A. Koneva¹, A.A. Kochnev¹, A.D. Kuznetsov¹, I.A. Kuznechenko¹,
S.B. Podchezertseva¹, T.A. Poimenova¹, U.A. Romanova¹, I.M. Senin¹,
S.S. Solovyova¹, A.D. Teplyakova¹, K.K. Faev¹, I.A. Sherementiev¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow

² A.M. Obukhov institute of Atmosphere Physics of RAS, Moscow

Аннотация. В работе сопоставлен ряд зимних гидрологических съемок, отстоящих друг от друга почти на 9-10 лет. Показано, что в озере Кисло-Сладком, отделяющемся от моря, произошёл рост солёности на 2-4 епс в 2024 г. по сравнению с 2015 г.; произошло увеличение опресненного слоя в меромиктическом озере Трёхцветном и увеличение его солёности; не были обнаружены солоноватые воды в озере Нижнее Ершовское, в бывших меромиктических озёрах снизилась общая электропроводность. Полученные позволяют предположить достаточно высокую скорость эволюции водоёмов с завершённым отделением от моря, особенно, после разрушения меромиксии, при этом, при продолжающемся взаимодействии с морем, интенсивность трансформации зимнего гидрологического режима может быть не столь велика.

Ключевые слова: меромиктические озёра, гидрологический режим, ледовый режим

Введение

Водоёмы, находящиеся на разных стадиях отделения от моря, могут эволюционировать с достаточно высокой (в геологическом масштабе) скоростью в связи, с одной стороны, с изменениями климата [2], так и, на Карельском берегу Белого моря, с достаточно быстрым гляциоизостатическим поднятием территории [3]. Высокое разнообразие стадий отделения водоёмов от моря, наблюдающееся на Карельском берегу Белого моря позволяет оценивать эволюцию гидрологических характеристик рассматриваемых объектов, что открывает возможности для долгосрочных оценок будущего экосистем данных водоёмов. При этом, гидрологические исследования рассматриваемых объектов происходит, преимущественно, в период свободный ото льда. Последние подробные гидрологические съемки озёр в окрестностях ББС МГУ проводились

зимой 2014 и 2015 гг. Зимой 2024 г. в период с 27.01 по 4.02 были произведены, во-первых, повторные съемки водных объектов; во-вторых – гидрологические съемки новых, ранее не обследованных гидрологами, объектов.

Объекты и методы

В течение экспедиции было обследовано 9 водных объектов на разной стадии отделения от моря, они приведены в таблице 1.

Таблица 1. Перечень исследованных объектов и характеристика их отделения от моря в экспедициях 2014, 2015 и 2024 гг.

Водный объект	Стадия отделения от моря в 2014 и 2015 гг.	Стадия отделения от моря в 2024 г.	Первичная / повторная съемка
Бухта Биофильтров	Нет данных	Ковшовый залив с анаэробной зоной	Первичная
Лагуна на Зелёном мысе	Водоем с регулярной связью с морем	Водоем с регулярной связью с морем	Повторная
Озеро Кисло-Сладкое	Водоём с периодической связью с морем	Водоём с периодической связью с морем	Повторная
Озеро Большие Хрусломены	Нет данных, предположительно меромиктическое озеро	Меромиктическое озеро	Первичная
Озеро Трёхцветное	Меромиктическое озеро	Меромиктическое озеро	Повторная
Озеро Нижнее Ершовское	Сильно опресненное меромиктическое озеро	Пресное озеро	Повторная
Озеро Верхнее Ершовское	Пресное озеро	Пресное озеро	Повторная
Озеро Верхнее	Пресное озеро	Пресное озеро	Повторная
Озеро Водопроводное	Пресное озеро	Пресное озеро	Повторная

Во всех водных объектах производилась гидрологическая съемка с измерением температуры и электропроводности (и солёности) воды с частотой по глубине 1 м с использованием кондуктометра YSI Pro, и с частотой 0,15 м с использованием SonTek CastAway CTD.

Обсуждение результатов

Основные гидрофизические характеристики водных объектов в период проведения экспедиции приведены в таблице 2.

Таблица 2. Основные гидрофизические характеристики изучаемых водоёмов в период проведения зимних исследований 2024 г.

Водный объект	Глубина на вертикали, м	Минимальная температура воды, °С	Максимальная температура воды, °С	Минимальная электропроводность воды, мкСм/см (солёность, епс)	Максимальная электропроводность воды, мкСм/см (солёность, епс)
Бухта Биофильтров	13,5	-1,4	1	(26,1)	(26,9)
Лагуна на Зелёном мысе	6,5	-1,2	-0,2	40430 (24,7)	43050 (26,3)
Озеро Кисло-Сладкое	4,5	-0,6	2,4	29790 (18,2)	37000 (22,6)
Озеро Большие Хрусломены	17,5	0,1	8,3	(5,7)	(23,9)
Озеро Трёхцветное	7	0,2	6,6	340 (0,2)	35350 (22)
Озеро Нижнее Ершовское	2,7	0,3	5,2	128,1	255,6 (<1)
Озеро Верхнее Ершовское	5	0,4	5,3	104,2	215,9 (<1)
Озеро Верхнее	2,4	1,1	3,6	17,73	48,69 (<1)
Озеро Водопроводное	2,4	0,5	4,5	-	-

Градиент температуры воды в лагуне на Зелёном мысу уменьшился в 2024 г. относительно 2015 г., при этом водоём по всей толще имел солёность близкую к морской. Предположительно в прошедшей экспедиции наблюдался случай зимнего промывания водоёма, что является достаточно характерным для водных объектов такого типа [1].

В озере Кисло-Сладком термические условия были близки к таковым 2015 г., стратификация, наблюдавшаяся в 2014 г., практически отсутствовала. При этом произошел рост солёности на 2-4епс на различных горизонтах. Важно отметить ранее не наблюдавшееся практически полное отсутствие кислорода в водной массе озера.

Озеро Трёхцветное является классическим меромиктическим. В 2014 г. распреснённый слой на поверхности имел мощность около 1,5 м. Температура изменялась от 0°С на поверхности до 7°С на глубине 3,5 м, затем она понижается

до 5°C в придонных областях. Солёность в этот год колебалась от 0 пс у поверхности до 20,5 пс у дна. В 2015 г. сохранялась устойчивая вертикальная структура озера, не наблюдалось и значительных изменений в солёности по сравнению с 2014 г. В 2024 г. пресноводный слой распространился на глубину 2 м, что на 0,5 м глубже, чем 10 лет назад (рис. 1). Также произошло увеличение солёности, в придонных слоях солёность на 2 пс больше, чем при предыдущих исследованиях. Вертикальное распределение температуры воды, при этом, мало отличалось от таковых в 2014 и 2015 гг.

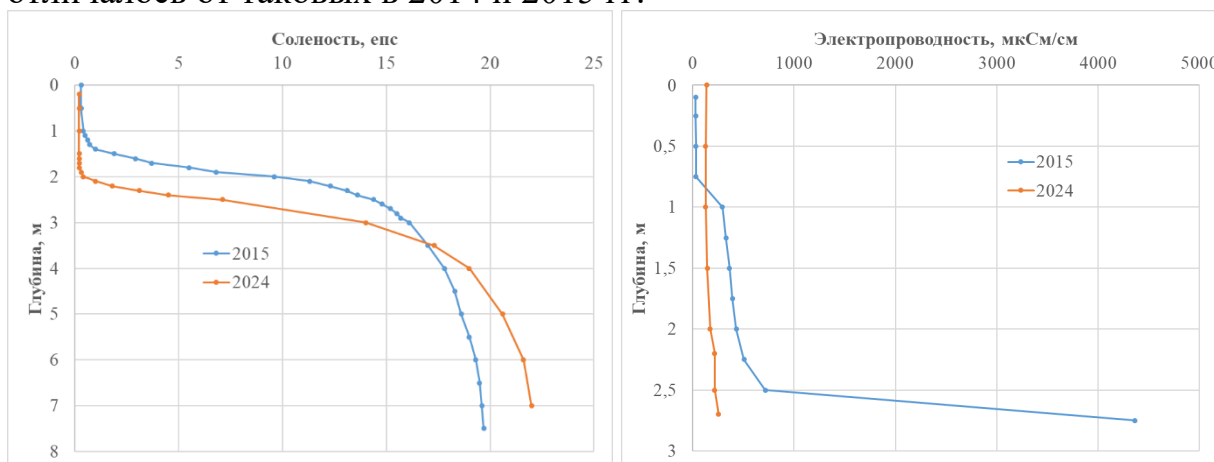


Рис. 1. Вертикальное распределение солёности в оз. Трёхцветное зимой 2015 и 2024 гг. (слева) и вертикальное распределение электропроводности в озере Нижнее Ершовское зимой 2015 и 2024 гг. (справа)

Озеро Нижнее Ершовское претерпело наиболее значительные изменения за период после экспедиций 2014 и 2015 гг. Температура воды в 2014 и 2015 гг. была распределена одинаковым образом – однородна в приповерхностном слое, затем равномерно увеличивалась ко дну, значения её колебались от 0 до $5,5-6,3^{\circ}\text{C}$. Электропроводность в 2014 г. колебалась от 176 до 3828 мкСм/см, в 2015 же году – от 100 до 2680 мкСм/см. Скачок электропроводности в этих экспедициях приходился на глубину 0,5 м и около 0,75 м (2014 и 2015 г. соответственно), однако по амплитуде они сильно различаются. Так, если в 2014 г. от 0,5 м до 0,75 м электропроводность изменилась от 180 до 1745 мкСм/см, то в 2015 году в слое 0,75-1 м она возросла от 100 до 400 мкСм/см. По данным съёмки в 2024 г. Нижнее Ершовское озеро является полностью пресным (рис. 1). Температура воды колеблется от $0,3$ до $5,2^{\circ}\text{C}$; электропроводность меняется от 128 до 256 мкСм/см. Отсутствие солоноватого придонного горизонта позволяет предположить переход оз. Нижнее Ершовское на следующую стадию отделения от моря, однако, подтверждение этого факта требует дополнительных исследований. Его водная масса была распреснена поверхностным притоком.

Гидрофизические характеристики озера Верхнего Ершовского практически не отличались ни в одной из проведенных экспедиций. В 2024 г. лишь отмечено некоторые «выравнивание» характеристик электропроводности по вертикали, что может быть связано с гидрометеорологическими условиями конкретного года.

Изменения в величинах электропроводности отмечены также на озёрах Верхнем и Водопроточном, где максимальные величины этой характеристики снизились примерно на 20 мкСм/см, что, может быть связано как с изменениями в водном балансе водоёмов, так и с их усиливающейся эвтрофикацией и трансформацией химического состава.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания кафедры гидрологии суши МГУ им. М.В. Ломоносова (номер ЦИТИС 121051400038-1).

Авторы благодарят за помощь в организации и проведении исследований сотрудников ББС МГУ им. Н.А. Перцова и лично директора, проф. А.Б. Цетлина, с.н.с. Е.Д. Краснову и Д.А. Воронова, а также руководителя лаборатории парниковых газов ИФА РАН В.С. Казанцева.

Литература

- [1] Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Мардашова М.В. Многолетняя динамика гидрологической структуры озера Кисло-Сладкого – полуизолированной лагуны на берегу Белого моря // География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции LXXIII Герценовские чтения, Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 22-25 апреля 2020 года. Т. 1. СПб.: Астерион. Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена 2020. С. 319-324.
- [2] Krasnova E.D., Efimov V.A., Feduk M.L., Frolova N.L., Kokryatskaya N.M., Kossenkova A.V., Patsaeva S.V., Vasilenko A.N., Voronov D.A., Strelkov P.P. New data on Lake Mogilnoe (Kildin Island, Barents Sea): the results of the 2018 expeditions / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 263. P. 1-8.
- [3] Repkina T., Shilova O., Krasnova E., Entin A., Grigoriev V., Vakhrameyeva E., Losyuk G., Kublitskiy Yu., Leontiev P., Lugovoy N., Voronov D., Frolova N. From the sea strait to the meromictic lake: Evolution and ecosystem of a water body at the Fiard Coast (Lake Kislo-Sladkoe at the Karelian Coast of the Kandalaksha Bay, the White Sea, Russia) / Quaternary International, 2023. Vol. 644-645, P. 96-119, ISSN 1040-6182. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.05.015>

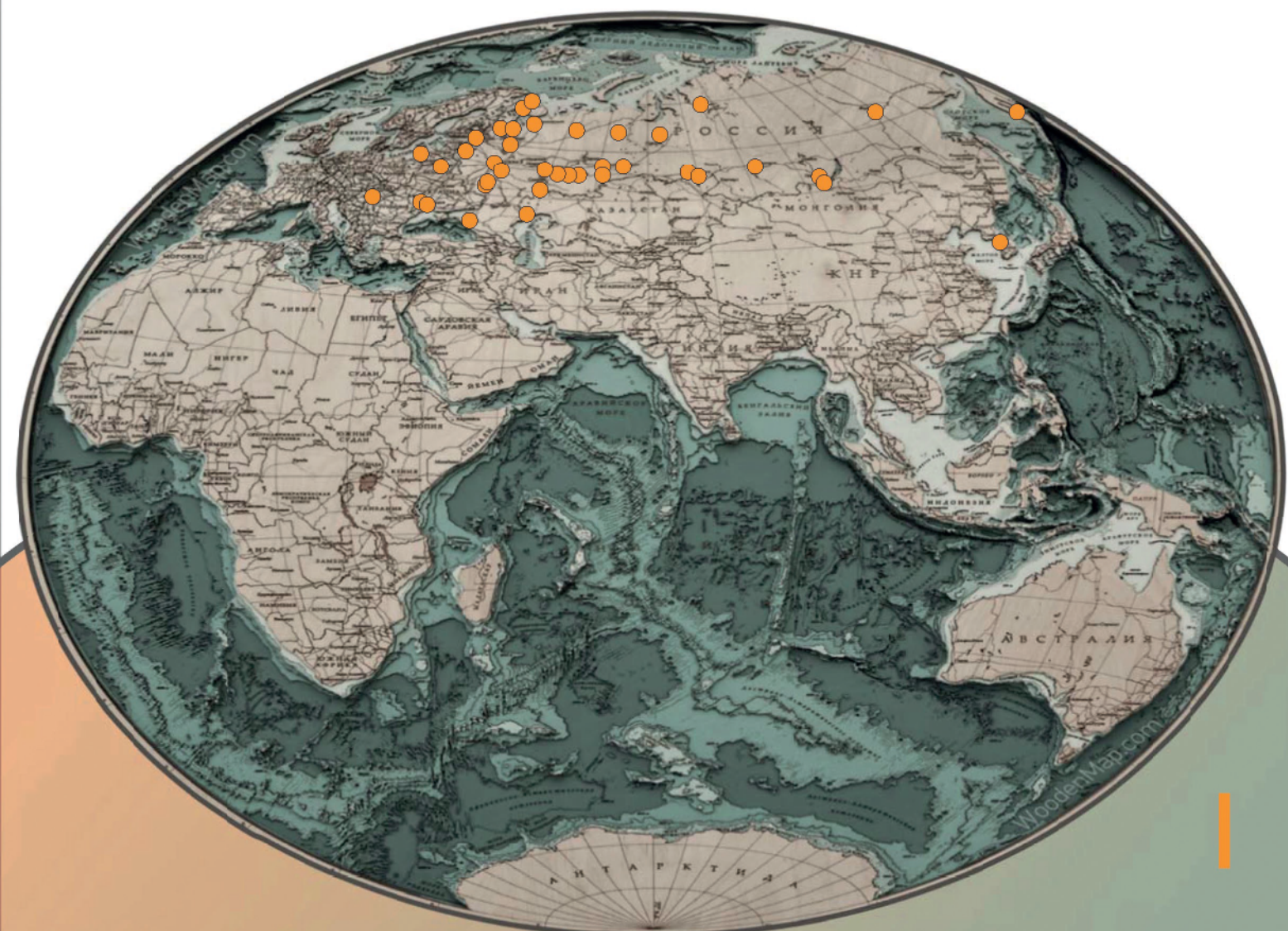
S u m m a r y. The report presents comparing of three winter hydrological surveys that are almost 9-10 years apart from each other. It is shown that in the Sweet and Sour Lake, which is separating from the sea, there was a decrease in salinity by 2-4%; there was an expansion of desalinated layer in the meromictic lake Tricolor; brackish waters from lake Nizhnie Yershovskoye completely disappeared; the total conductivity decreased in all former meromictic lakes. The results suggest a fairly high rate of evolution of reservoirs with complete separation from the sea, especially after the destruction of meromixia, while, with continued interaction with the sea, the intensity of transformation of the winter hydrological regime may not be so great.



LXXVII
Герценовские
Чтения

География: Развитие науки и образования

Международная
научно-практическая
конференция
22–26 апреля 2024 года



РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. А. И. ГЕРЦЕНА
HERZEN STATE PEDAGOGICAL UNIVERSITY OF RUSSIA

LXXVII Герценовские чтения
География:
развитие науки и образования

Материалы Международной научно-практической конференции
22–26 апреля 2024 года

В 2-х томах

I
LXXVII Herzen readings
Geography:
Development of Science and Education

Materials of the International Scientific and Practical Conference
on April 22–26, 2024

In 2 volumes

Санкт-Петербург
Издательство РГПУ им. А. И. Герцена
2024

УДК 911.5

Рецензенты:

Ал. А. Григорьев, доктор географических наук, профессор, Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена

Д. В. Севастьянов, доктор географических наук, профессор, Ленинградский государственный университет им. А. С. Пушкина

Редакционная коллегия:

Д. А. Субетто (отв. ред.), *Ю. Л. Войтеховский* (отв. ред.), *А. Н. Паранина* (отв. ред.),
А. С. Баранов, *Д. А. Гдалин*, *Ю. Н. Гладкий*, *И. М. Греков*, *С. В. Ильинский*, *В. Ф. Куликов*,
Л. А. Пестрякова, *В. Д. Сухоруков*, *М. А. Науменко*

LXXVII Герценовские чтения. География: развитие науки и образования : Материалы Международной научно-практической конференции 22–26 апреля 2024 года : в 2 т. Т. I / отв. ред. Д. А. Субетто, Ю. Л. Войтеховский, А. Н. Паранина. — Санкт-Петербург : Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2024. — 1 электронно-оптический диск. — Текст : электронный.

LXXVI Gertsenovsky readings. Geography: development of science and education. Materials of the International Scientific and Practical Conference on April 22–26, 2024 : in 2 vol. Part I / by ed. D. A. Subetto, Yu. L. Voitekhovsky, A. N. Paranina. — St. Petersburg : Publishing house of Herzen State Pedagogical University of Russia, 2024. — 1 optical disc. — Text : electronic
ISBN 978-5-8064-3535-5

ISBN 978-5-8064-3534-8 (том 1)

Сборник «География: развитие науки и образования» отражает результаты работы научно-практической конференции 77 Герценовские чтения 22–26 апреля 2024 года, посвященной Международному дню Земли.

Материалы сгруппированы в два тома. Том I включает главы: 1. География — основа моделирования мира, 2. Современные вопросы физической географии, 3. Исследования полярных областей, 4. Лимнология и меромиктические озера, 5. Палеолимнологические и палеогеографические исследования. Том II включает главы: 1. История Наук о Земле, 2. Математические методы исследований в географии, геологии и геоэкологии, 3. Геоэкология и охрана окружающей среды, 4. Развитие географического образования, 5. Социально-экономические системы и географические аспекты глобализации, 6. Регионоведение, краеведение, туризм.

УДК 911.5

Минимальные системные требования:

Тип компьютера, процессор, частота: IBM/PC; Intel Core J3 3,3 ГГц

Оперативная память (RAM): 512 Мб

Необходимо на винчестере: 160 Мб

Дополнительные программные средства: Adobe Acrobat Reader

ISBN 978-5-8064-3535-5

ISBN 978-5-8064-3534-8 (1 том)

© РГПУ им. А. И. Герцена, 2024

© Р. В. Паранин, обложка, 2024