

Статья принята в печать и будет опубликована в журнале:
«Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле»



Накопление осадочного вещества на современном этапе развития лимногенеза территории Юго-Восточной части Фенноскандинавского кристаллического щита на примере озера Вендюрское

Белкина Наталья Александровна, Здоровеннова Галина Эдуардовна, Ефременко Наталья Анатольевна, Выборова (Кулик) Наталья Владимировна, Потахин Максим Сергеевич, Богданова Мария Сергеевна, Гатальская Екатерина Владимировна, Здоровеннов Роман Эдуардович¹, Рябинкин Александр Валентинович¹, Кухарев Вячеслав Иванович, Мясникова Надежда Александровна, Субетто Дмитрий Александрович
DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu07.2025.102>

Дата получения рукописи: 14.05.2024

Дата принятия рукописи в печать: 27.12.2024

Для цитирования: Белкина Н. А., Здоровеннова Г. Э., Ефременко Н. А., Выборова (Кулик) Н. В., Потахин М. С., Богданова М. С., Гатальская Е. В., Здоровеннов Р. Э., Рябинкин А. В., Кухарев В. И., Мясникова Н. А., Субетто Д. А. (2025) Накопление осадочного вещества на современном этапе развития лимногенеза территории Юго-Восточной части Фенноскандинавского кристаллического щита на примере озера Вендюрское. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 70 (1).
<https://doi.org/10.21638/spbu07.2025.102>

Это неотредактированный файл принятой к публикации рукописи. До публикации в окончательном виде она будет подвергнута редактированию и верстке. Обратите внимание, что во время производственного процесса могут быть выявлены ошибки, влияющие на содержание. К данной рукописи применяются все правовые оговорки, относящиеся к журналу.

1 УДК 551.89

2 **Накопление осадочного вещества на современном этапе развития лимногенеза**
3 **территории Юго-Восточной части Фенноскандинавского кристаллического щита**
4 **на примере озера Вендюрское¹**

5 Белкина Наталья Александровна¹, Здоровеннова Галина Эдуардовна¹, Ефременко
6 Наталья Анатольевна¹, Выборова (Кулик) Наталья Владимировна¹, Потахин Максим
7 Сергеевич^{1,2}, Богданова Мария Сергеевна¹, Гатальская Екатерина Владимировна¹,
8 Здоровеннов Роман Эдуардович¹, Рябинкин Александр Валентинович¹, Кухарев
9 Вячеслав Иванович¹, Мясникова Надежда Александровна¹, Субетто Дмитрий
10 Александрович²

11 ¹Институт водных проблем Севера — обособленное подразделение Федерального
12 государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского
13 центра "Карельский научный центр Российской академии наук" (ИВПС КарНЦ РАН),
14 Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Александра Невского, 50, 185030

15 ²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
16 образования «Российский государственный педагогический университет им. А.И.
17 Герцена» (РГПУ им. А.И. Герцена), Россия, г. Санкт Петербург, Набережная реки
18 Мойки, 48, 191186

19 Белкина Н.А.: bell10863@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9928-022X>

20 Здоровеннова Г.Э.: zdorovennova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2726-0104>

21 Ефременко Н.А.: efremna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2584-8708>

22 Выборова (Кулик) Н.В.: nadiet11@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9260-2436>

23 Потахин М.С.: mpotakhin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2630-2176>

24 Богданова М.С.: mari-mb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7568-3799>

25 Гатальская Е.В.: katusha9210@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2985-1565>

26 Здоровеннов Р.Э.: romga74@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1695-4872>

27 Рябинкин А.В.: sorbus08@mail.ru

28 Кухарев В.И.: vi9114231104@yandex.ru

29 Мясникова Н.А.: gold_dream@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3594-3805>

¹ Работа выполнена в рамках госзадания ИВПС КарНЦ РАН (FMEN-2021-0006), литологические исследования донных отложений - грант РФФ 23-17-00206.

30 Субетто Д.А.: subetto@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3585-8598>

31 Контактное лицо:

32 Выборова Наталья Владимировна,

33 Телефон +7 921 622 03 66

34 Email: nadiet11@yandex.ru

35 Адрес: Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Александра Невского, д. 50,

36 185030

37 **Аннотация**

38 Статья посвящена изучению современных процессов накопления осадочного
39 вещества в оз. Вендюрское, сформировавшемся в период дегляциации юго-восточной
40 части Фенноскандинавского щита и функционирующем в настоящее время в типичных
41 ландшафтных условиях среднетаежной зоны. На основе комплексных исследований
42 водоема в разные сезоны 2018-2023 гг. были получены новые знания о современном
43 седиментогенезе. Выполнена оценка ландшафтной структуры водосбора озера, изучено
44 строение его котловины, проведены наблюдения за распределением взвешенного
45 вещества в водной толще, с помощью седиментационных ловушек собраны взвеси,
46 поступающие на дно. Выявлены термогидродинамические особенности озера и оценено
47 влияние глубины, ветрового и конвективного перемешивания, температуры воды и
48 развития водорослей на процесс накопления взвесей в котловине озера в разные сезоны
49 года. Обсуждены вопросы трансформации взвешенного вещества в ходе осаждения в
50 воде и раннедиагенетические преобразования в донных отложениях. Показан
51 изменчивый характер современных седиментационных процессов в озере в зависимости
52 от синоптической ситуации и изменения уровня воды и оценены скорости поступления
53 осадочного вещества на дно. Изучены количественные и качественные характеристики
54 химического состава воды, взвешенного вещества, донных отложений и выявлены их
55 геохимические особенности, определяемые как естественными, так и антропогенными
56 факторами. Показано, что химический состав материала, поступающего в настоящее
57 время в донные отложения, отличается от состава донных отложений содержанием
58 органического вещества, биогенных элементов и микрокомпонентов (Pb, Cd, Zn).

59 **Ключевые слова:** седиментогенез гумидного типа, осадочное вещество, распределение
60 и скорость накопления, геохимический состав воды, взвешенного вещества и донных
61 отложений.

62 1. Введение

63 Изучение современных процессов седиментогенеза с целью выявления
64 изменений, происходящих в озерах и их водосборах в условиях климатических
65 колебаний и антропогенного воздействия, является актуальной научной задачей.
66 Процесс формирования озерных донных отложений контролируется климатом,
67 геологическими, геоморфологическими и ландшафтными особенностями водосборной
68 территории. Озерный седиментогенез включает три стадии: (1) иммобилизацию
69 вещества на водосборе, (2) его трансформацию в ходе транспортировки и осаждения на
70 дно водоема и (3) преобразования осадочного вещества в результате диагенетических
71 процессов в донных отложениях (Страхов, 1960а; Страхов, 1960б; Субетто, 2009).

72 В настоящее время озера юго-восточной части Фенноскандинавского
73 кристаллического щита, образовавшиеся на рубеже нео-плейстоцена – голоцена,
74 развиваются в условиях влажного климата (переходного от морского к
75 континентальному) с относительно теплой зимой, коротким прохладным летом и
76 неустойчивым режимом погоды весной и осенью (Назарова, 2015). Невысокие
77 положительные среднегодовые температуры (от 1,3 до 3,1°C) и количество атмосферных
78 осадков (600–650 мм в год) обеспечивают значимую роль поверхностного стока,
79 формирующегося в процессах выветривания и транспортировки осадочного вещества в
80 озера (Белкина и Кулик, 2019).

81 Фенноскандинавский щит имеет сложное геологическое строение
82 (разнообразные тектонические структуры, архейские и протерозойские кристаллические
83 породы, рыхлые четвертичные отложения). Геоморфологические особенности
84 (ярусность рельефа, горизонтальная и вертикальная расчлененность поверхности,
85 мощность рыхлых четвертичных отложений, их литологический состав) определяют
86 условия водного стока и транспортировку осадочного материала в озера. Источником
87 минеральной части осадочного вещества являются горные породы, представленные
88 тоналит-грандъемитовыми гнейсами, гранитами, мигматитами и гранулитами,
89 толеитовыми и феррометабазальтами, метадацитами, металипаритами, конгломератами,
90 а также габбро-анортозитами и щелочными гранитами, сформированными от 3240 до
91 2680 млн лет назад (Субетто и др., 2022). Органическая часть осадочного вещества имеет
92 как аллохтонный (почвенный гумус, растительный опад), так и автохтонный
93 (продукционно-деструкционные процессы в озере) генезис (Белкина, 2019).

94 Гидрологический цикл, термический режим и динамика вод влияют на
95 количественный и качественный состав и механизм поступления осадочного вещества в
96 донные отложения. Распределение взвешенного вещества в водоемах крайне
97 неоднородно в пространственном и временном масштабах, что требует комбинации
98 различных методов (отбор проб в полевых условиях, дистанционное зондирование,
99 моделирование) для получения достоверных характеристик этого параметра (Соколов и
100 др., 2011; Cao et al., 2017; Рахуба и Шмакова, 2020). Степень турбулизованности среды
101 оказывает определяющее влияние на распределение взвеси по водной толще, поэтому
102 изменения режима перемешивания, обусловленные наблюдаемой климатической
103 изменчивостью, могут приводить к изменениям в потоках взвешенного вещества в
104 озерах (North et al., 2014; Woolway and Merchant, 2019; Woolway et al., 2021). В период
105 открытой воды в мелководных озерах и водохранилищах, подверженных ветровому
106 воздействию, и в прибрежных мелководьях глубоких озер взвешенное вещество
107 распределено квазиоднородно по водному столбу, а при ослаблении ветра –
108 концентрируется в придонных слоях (Zdorovenkova et al., 2023). В устойчиво
109 стратифицированных озерах процессы тепло- и массопереноса происходят с наибольшей
110 интенсивностью в поверхностном перемешанном слое, где турбулентность
111 генерируется, главным образом, ветро-волновым перемешиванием и конвективным
112 охлаждением (MacIntyre et al., 1999; MacIntyre et al., 2020). В придонном граничном слое
113 и в основной водной толще энергетика движений заметно слабее (Lorke et al., 2008).
114 Критичным фактором взмучивания верхнего слоя донных отложений является
115 придонное сдвиговое напряжение, зависящее от типа донных частиц, и определяемое
116 взаимодействием гравитационных склоновых течений, ветрового перемешивания,
117 внутренних волн, сейш и проникающей конвекции в придонном пограничном слое
118 (Lemmin and Imboden, 1987; Lorke et al., 2008; Мартьянов и Рябченко, 2013; Doda et al.,
119 2023). В покрытых льдом озерах в отсутствие прямого ветрового воздействия
120 гидродинамика ослаблена, однако разнообразные виды движений (геострофические
121 циркуляции, сейши, короткие внутренние волны, адвективные и конвективные токи,
122 двойная диффузия могут оказывать влияние на перенос взвешенного вещества как по
123 водному столбу, так и между мелководьями и глубоководными котловинами (Noges et
124 al., 1999; Kirillin et al., 2012; Jansen et al., 2021; Schwefel et al., 2023).

125 Несмотря на большое количество публикаций (в том числе и обобщающих
126 монографий), посвященных исследованиям донных отложений озер, расположенных в

127 краевой зоне валдайского оледенения, в основном они касаются истории перехода от
128 литогенеза ледового типа к гумидному (Страхов, 1960а; Страхов, 1960б; Субетто, 2009;
129 Шелехова и др. 2011; Субетто и др., 2022).

130 Исследований о геохимических особенностях формирования и строения
131 современных озерных осадков малых озер Северо-Запада России значительно меньше.
132 Основная доля их приходится на арктическую зону и водоемы селитебных территорий
133 (Даувальтер и Даувальтер, 2014; Слуковский и Медведев, 2015; Белкина и Кулик, 2019;
134 Белкина, 2019; Титова и др., 2019; Слуковский и Даувальтер 2020;). В последние годы
135 опубликовано большое число работ по этой тематике на Онежском озере (Кулик и др.
136 2020; Strakhovenko et al., 2022; Belkina et al., 2023; Kulik et al., 2023).

137 Целью исследования является получение новых знаний о закономерностях
138 процесса формирования донных отложений на современном этапе развития
139 лимнических систем на территории юго-восточной части Фенноскандинавского щита на
140 примере малого озера Вендюрское, сформировавшегося в краевой зоне валдайского
141 оледенения и функционирующего в типичных ландшафтных условиях среднетаежной
142 зоны.

143 Первые сведения о строении донных отложений оз. Вендюрское были получены
144 в 2016 г. По данным георадиолокационных исследований дна выделено пять
145 литологических комплексов: коренные горные породы, ледниковые отложения (морена),
146 и ледниково-озерные и озерные осадки (Старовойтов и др., 2016). Мощность озерных
147 отложений на склонах котловины не превышает 2 м, а в глубоководной части
148 оценивается более чем в 5 м. Верхняя их часть представлена бурым однородным
149 органическим илом, ниже залегает оливковый глинистый ил, далее – слоистые пески.
150 Подробного изучения вещественного состава донных отложений оз. Вендюрское не
151 проводилось. Краткие сведения о химическом составе поверхностного слоя донных
152 отложений и обменных процессах на границе вода-дно, а также структуре бентосных
153 сообществ опубликованы в (Озера..., 2013; Белкина, 2019; Белкина и др., 2023).

154 2. Район и объекты исследования

155 В системе физико-географического районирования Северо-Запада России регион
156 исследования относится к Карельской среднетаежной области Восточно-Европейской
157 таежной зоны (Атлас..., 2021). Оз. Вендюрское расположено на юге Республики
158 Карелии, между Онежским и Ладожским озерами (Онежско-Ладожский перешеек), в
159 пределах Вохтозерской ледораздельной аккумулятивной возвышенности.

160 Возвышенность формировалась в позднеледниковье на границе раздела Онежского и
161 Ладожского ледовых потоков и относится к краевой зоне невской стадии валдайского
162 оледенения (Атлас..., 2021). Ледораздельные возвышенности являются наиболее
163 сложными формами гляциального рельефа, т.к. в их создании принимали участие не
164 только ледниковые отложения, но и осадки водно-ледникового генезиса. Они
165 характеризуется сильной расчлененностью (как вертикальной, так и горизонтальной), и
166 представляют собой чередование холмов и гряд, понижения между которыми заняты
167 многочисленными озерами и болотами (Демидов, 2005). В пределах Вохтозерской
168 возвышенности (более 100 озер, 40 из которых морфометрически исследованы)
169 преобладают малые озера ледниково-аккумулятивного и ледниково-просадочного
170 генезиса. Немногочисленные относительно крупные озера (в том числе Вендюрское)
171 относятся к водоемам аккумулятивно-остаточного типа и являются довольно типичным
172 водоемом для территории юго-восточной части Фенноскандинавского щита (Потахин,
173 2013). Ранее методом кластерного анализа была проведена типизация озер Карелии по
174 основным морфометрическим показателям, где подобные водоемы ледникового
175 происхождения составили самую многочисленную группу (30 %) (Тержевик и др., 2010).

176 В гидрографическом плане оз. Вендюрское (62°13' с.ш., 33°16' в.д., 143.8 м БС),
177 принадлежит к бассейну Балтийского моря, расположено в нижней части водосбора р.
178 Суна – притока Онежского озера. Площадь водосбора 79.8 км². Основные
179 морфометрические характеристики водоема: площадь зеркала озера 10.1 км², объем
180 озера 0.0609 км³, длина озера 7.0 км, ширина 1.4 км, средняя глубина 6.1 м, наибольшая
181 –12.1 м (Озера..., 2013). Батиметрическая карта оз. Вендюрское приведена на рисунке
182 1. В озеро впадают две протоки из озер Риндозеро и Глубокого и несколько ручьев,
183 вытекает р. Кулапдеги, а также канал, соединяющий его с оз. Сяргозеро. На берегу в
184 северо-восточной части озера располагается д. Вендюры (без постоянного населения). С
185 2011 г. акватория озера используется форелевым хозяйством.

186 Погодные условия района исследований анализировались по данным
187 метеостанции Петрозаводск, которые были получены на сайте «Расписание погоды»
188 (Reliable Prognosis). Среднемесячные данные по температуре воздуха и осадкам за
189 период 1961-1990 гг. (климатическая норма) получены на сайте ВНИИГМИ Мировой
190 центр данных (Meteo.ru) (Табл. 1, 2).

191 В период ледостава водная толща оз. Вендюрского обратно стратифицирована,
192 градиент температуры в центральной глубоководной котловине достигает 0.3-0.4°С/м.

193 Период весеннего перемешивания после взлома льда продолжается в разные годы в
194 зависимости от погодных условий от нескольких дней до 2-3 недель. В период открытой
195 воды стратификация устанавливается в конце мая-начале июня, разрушается в августе.
196 На фоне прохождения циклонов устойчивость водной толщи уменьшается, и в
197 некоторые годы полное перемешивание озера может происходить до 3-5 раз в период с
198 мая по август. Максимальные значения устойчивости Шмидта достигали 100–120 Дж/м²
199 в жаркие летние месяцы 2010, 2021 и 2022 гг. и не превышали 20 Дж/м² в большую часть
200 холодных летних месяцев 2008, 2009, 2012, 2015, 2017, 2019 гг. с редкими повышениями
201 до 30–40 Дж/м² (Smirnov et al. 2024). На этапе осеннего охлаждения водная толща озера
202 находится в перемешанном состоянии 3.5-4 месяца (с середины-конца августа до ноября-
203 середины декабря).

204 **3. Методы исследования**

205 Изучение процессов накопления осадочного вещества в оз. Вендюрское включало
206 ландшафтные исследования его водосбора, наблюдения за распределением взвешенного
207 вещества в водной толще и его поступлением на дно, анализ химического состава воды,
208 взвешенного вещества и донных отложений. При изучении ландшафтной структуры
209 применялся ландшафтно-динамический подход, а также методы маршрутных
210 ландшафтных описаний и ландшафтного картографирования ключевых участков
211 (Исаченко, 1999). Гидрофизические исследования на станциях 1-6 проводились в 2018-
212 2023 гг. (рис. 1). Отбор проб воды на станциях 1 и 3 был выполнен в 2021 (март, май,
213 август и октябрь), 2022 (март и август) и 2023 (март, август и октябрь).

214 Сбор взвешенного вещества, поступающего на дно, производился в период с 2017 по
215 2023 гг. с помощью седиментационных ловушек на ст. 1. Время экспозиции 1 год,
216 переустановка ловушек производилась в июне месяце. Дополнительно были проведены
217 сезонные наблюдения в вегетационный (7.06.22 по 12.10.22) и подледный (с 31.11.22 по
218 30.03.23) периоды. Ловушки устанавливались в 1 м от дна. Конструкции
219 седиментационных ловушек и особенности постановки были описаны в (Субетто и др.
220 2022, Belkina et al., 2023). Выбор станции наблюдения был сделан с учетом
221 георадиолокационных профилей оз. Вендюрского (Старовойтов и др., 2016). Послойный
222 (1 см) отбор поверхностных проб донных отложений (колонка мощностью 40 см) был
223 выполнен стратометром Limnos в 2023 гг. на станции 1.

224 Зондирование водной толщи с целью определения температуры,
225 электропроводности и мутности (в единицах мутности по формазину ЕМФ (англ. FTU)

226 или в мг/л по каолину: 1 FTU = 0.58 мг/л) воды проводилось мультипараметрическим
227 зондом CTD-90m.

228 Отбор проб воды и ДО выполнялся в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01-80 и ГОСТ
229 17.1.5.04-81 (ИПК Издательство стандартов, 2002; ИПК Издательство стандартов, 2003].
230 Лабораторные анализы химического состава воды, взвесей и донных отложений
231 выполнялись по общепринятым в мировой практике методикам на базе лабораторий
232 ИВПС КарНЦ РАН и ЦКП КарНЦ РАН. В воде определяли следующие показатели:
233 электропроводность, pH, щелочность, главные ионы (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^-),
234 биогенные элементы ($P_{мин}$, $P_{общ}$, NH_4^+ , NO_3^- , $N_{орг}$, $N_{общ}$), растворенные газы (O_2 , CO_2),
235 литофильные элементы (Fe, Mn, Si), органическое вещество (цветность, перманганатная
236 окисляемость – ПО, химическое потребление кислорода – ХПК, БПК₅, $C_{орг}$),
237 микроэлементы (Аналитические..., 2017). Для определения типа воды были применены
238 классификация Алекина (Алекин, 1970) и геохимическая классификация поверхностных
239 вод гумидной зоны Лозовика П.А. (Лозовик, 2013; Аналитические..., 2017). Анализ
240 взвешенного вещества и донных отложений проводился по 31 показателем: физические
241 (плотность - d, пористость - Por, естественная влажность - Wet_{20} , абсолютная влажность
242 - Wet_{105}) и физико-химические (pH, Eh) характеристики, органическое вещество (потери
243 при прокаливании при 550°C – IG, органический углерод - $C_{орг}$), биогенные элементы
244 (фосфор лабильный - $P_{мин}$, фосфор общий P_{tot} , азот органический - $N_{орг}$, азот
245 аммонийный - N_{NH_4}), металлы (Ca, Mg, Na, Al, K, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Zn, Cr, Ni, Co, V,
246 Ba, Mo) и зольность (Ash) (Аринушкина, 1982). Гранулометрический анализ проводился
247 на лазерном многофункциональном анализаторе частиц LS 13 320 (фирмы Beckman
248 Coulter, США) в ЦКП КарНЦ РАН. Классификация фракций донных отложений по
249 размерам частиц выполнена по Межгосударственному стандарту (Стандартинформ,
250 2018).

251 3. Результаты и обсуждение

252 *Современная ландшафтная структура* водосбора Вендюрского озера главным
253 образом обусловлена геологическим и геоморфологическим строением. Озерность
254 водосбора составляет 17% (без учета оз. Вендюрского). Основной рисунок ландшафта
255 создают сочетания волнистых и слабоволнистых равнин, куполовидных холмов,
256 кольцевых и вытянутых гряд, а также торфяников. На водосборе доминируют водно-
257 ледниковые ландшафты (31%) — плоские и слабоволнистые дренированные равнины на
258 песках (часто с содержанием гальки), а также озовые гряды, сложенные косослоистыми

259 отмытыми разнозернистыми песками (редко хорошо окатанными валунами).
260 Ледниковые (моренные) ландшафты (27%): холмы и гряды, сложенные галечно-
261 валунными песками; слабоволнистые и волнистые дренированные равнины на галечно-
262 валунных песках; дренированные равнины на валунных песках и супесях, а также
263 переувлажненные равнины на валунных песках, часто с маломощным торфом (до 0,5 м).
264 Менее 1% территории приходится на озерно-ледниковые равнины на тонкозернистых
265 песках, супесях, а также суглинках и глинах. В растительном покрове водосбора
266 преобладают сосновые зеленомошные и кустарничково-зеленомошные леса, часто с
267 примесью березы и ели. Высока доля производных сосново-березовых и березовых с
268 участием ели чернично-вейниковых лесов, возникающих на месте вырубок. В почвенном
269 покрове выделяются подзолы иллювиально-железистые, поверхностно-подзолистые и
270 оподзоленные почвы. В местоположениях с преобладанием валунного материала
271 формируются подбуры песчаные и супесчаные, в том числе оподзоленные. Широко
272 распространены также торфяно-глеевые и торфяные болотные (верховые и переходные)
273 почвы.

274 Площадь болот (с учетом осушенных земель) составляет 24 %. Крупные
275 болотные массивы (более 3%), часто водораздельные, представлены грядово-
276 мочажинными и грядово-озерковыми комплексами с сочетанием пушицево-
277 кустарничково-сфагновых с редкой сосной болот на грядах и очеретниково-
278 шейхцериево-сфагновых мочажин. Небольшие болотные массивы занимают понижения
279 между холмами и грядами (около 8% площади водосбора), часто расположены в
280 контактной зоне между ледниковым и водно-ледниковыми ландшафтами. На водосборе
281 имеются модифицированные ландшафты, образовавшиеся в результате направленной
282 деятельности человека при лесной мелиорации 1970-х гг. — это искусственно
283 дренированные равнины и осушенные торфяники (10%). Окультуренные
284 местоположения, возникшие в ходе длительного сельскохозяйственного освоения
285 (менее 1%), часть из них используется под сенокосы. В настоящее время основное
286 антропогенное воздействие на ландшафты водосбора в связано с вырубкой лесов.

287 Таким образом, оценка ландшафтной структуры водосбора оз. Вендюрского, где
288 распространены типичные для региона ледниковые и водно-ледниковые холмисто-
289 грядовые среднезаболоченные ландшафты, с преобладанием сосновых и
290 мелколиственно-сосновых лесов, дает основание предполагать, что процессы
291 выветривания и транспортировки вещества на водосборе выбранного нами объекта

292 исследования, в целом, характерны для Карелии. На дренирование с водосборной
293 площади поверхностного и подземного стока рек существенное влияние оказывает
294 различная глубина залегания коренных пород под толщей четвертичных отложений,
295 чрезвычайно расчлененный рельеф и близость водоразделов к базисам эрозии.
296 Значительная часть вещества в условиях средней тайги иммобилизуется и переносится
297 водой в озеро в растворенном виде. Подзолистые почвы, развитые на водосборе оз.
298 Вендюрское, оказывают влияние на состав органического вещества (ОВ) речных вод,
299 причем, лесная мелиорация болот и заболоченных земель, проведенная в 1970-е годы,
300 способствует увеличению притока растворенных гумусовых веществ и связанных с ними
301 металлов в озеро, что влияет на вещественный состав воды и донных отложений.

302 *Химический состав воды* оз. Вендюрское (Табл. 3 – 7) отличается низкими
303 показателями минерализации (от 14 до 18 со средним 16 мг/л) и соответствует
304 гидрокарбонатному классу вод группы кальция (Табл. 3). Формула усредненного
305 ионного состава воды (в %-экв), имеет следующий вид:



307 По величине щелочности (9,3 мгHCO₃⁻/л) и рН воды (6,8) озеро можно
308 классифицировать как среднещелочностное слабокислое нейтральное.

309 По содержанию ОВ в воде оз. Вендюрское относится к олиго-мезогумусным
310 водоемам (Табл. 4). Валовое содержание ОВ в течение года менялось мало (ХПК от 17,8
311 до 22,9 мгО/л, со средним значением 20 мгО/л; C_{орг} от 6,2 до 7,9 мг/л, со средним
312 значением 6,8 мг/л). Динамика содержания ОВ в озере во многом определялся
313 поступлением приточных вод, обогащенных болотным и почвенным гумусом, поэтому
314 его качественный состав зависит от сезона года. Например, концентрация легко-
315 окисляемого ОВ изменялась в 5 раз (БПК₅ от 0,40 мгО₂/л зимой до 2,21 мгО₂/л летом).
316 Цветность колебалась в пределах от 27 до 81 градусов (в среднем 39⁰Pt). Для
317 внутригодовой динамики ПО, наоборот, характерны незначительные изменения (от 6,2
318 до 8,9 мгО/л со средним значением 7,3мгО/л). Минимальные величины ПО отмечены в
319 осенний период, а наиболее высокие – наблюдались в весной, когда почвенное ОВ
320 активно поступает с водосбора с паводковыми водами. Соотношение ПО/ХПК,
321 характеризующее долю биохимически стойких веществ в их общем количестве, в
322 среднем составило 0,37. Межгодовые колебания в содержании ОВ в воде оз. Вендюрское
323 были незначительны.

324 Воды оз. Вендюрское достаточно хорошо аэрированы. В периоды интенсивного
325 перемешивания водных масс весной и осенью наблюдалось относительно однородное
326 распределение растворенного O_2 в водной толще озера (в среднем 10,7 мг/л, 90 %
327 насыщения) (Табл. 5). В зимний и летний периоды содержание O_2 в поверхностном
328 горизонте менялось незначительно (от 8,3 мг/л летом до 12,4 мг/л зимой, 90 и 81%
329 насыщения, соответственно). Придонные воды в период зимней и летней межени
330 закономерно характеризовались дефицитом O_2 (со средними значениями 47 % зимой и
331 71 % летом), минимальные концентрации наблюдали в 2022 г.

332 Распределение CO_2 в воде весной и осенью было однородным (среднее 2,55 мг/л).
333 В летний и зимний сезоны наблюдалось возрастание концентрации CO_2 от
334 поверхностного к придонному горизонту. Значительные колебания в содержании CO_2
335 отмечались зимой в придонном слое (от 6,60 до 11,88 мг/л со средним 9,92 мг/л).

336 Полученные данные по содержанию биогенных элементов в оз. Вендюрское
337 (средние значения 20 мкгP/л и 380 мкгN/л) указывают на мезотрофный статус водоема
338 (Табл. 6). Содержание фосфора ($P_{мин}$ от 1 до 16 мкгP/л и $P_{общ}$ от 8 до 36 мкгP/л) зависело
339 от сезона. Максимальные концентрации $P_{мин}$ фиксировались зимой (в среднем 6 мкгP/л
340 в поверхностном горизонте и 9 мкгP/л - в придонном) и составляли до 45 % от $P_{общ}$.
341 Содержание $P_{общ}$ в летний период было максимальным (до 36 мкгP/л у дна), при этом
342 доля $P_{мин}$ уменьшалась (до 8 % на поверхности и до 20 % у дна), что связано с переходом
343 минерального фосфора в органическую форму в результате потребления
344 фитопланктоном. Межгодовые колебания в содержании фосфора были незначительны.

345 Динамика изменения состава и соотношения различных форм азота в течение
346 годового цикла определяется интенсивностью их биохимической (бактериальной)
347 трансформации. Для оз. Вендюрское, также как для большинства водоемов гумидной
348 зоны, характерно превалирование в воде азота органического (в среднем 75% от общего).
349 Соотношение минеральных форм азота изменялось в зависимости от сезона. Если в
350 период ледостава преобладала нитратная форма (в среднем 92 мкгN/л $N-NO_3^-$ и 48
351 мкгN/л $N-NH_4^+$), то с мая по октябрь наблюдались ее минимальные концентрации (33
352 мкгN/л весной и менее 5 мкгN/л летом и осенью), а содержание аммонийной формы
353 наоборот возрастало (среднее 80 мкгN/л). В целом, содержание нитратного и
354 аммонийного азота в придонном слое было выше, чем в поверхностном, а нитриты
355 аналитически не обнаруживались на протяжении всего периода наблюдений (Табл. 6).

356 Содержание $Fe_{\text{общ}}$ в водной толще за период исследований варьировало в
357 широких пределах (от 0,10 до 0,62 мг/л) и, как правило, увеличивалось от
358 поверхностного горизонта к придонному (Табл. 7). Максимальные концентрации $Fe_{\text{общ}}$
359 были отмечены в весенне-летний период, минимальные – осенью. При этом наблюдалась
360 хорошая корреляция с цветностью анализируемых проб воды, что указывает на
361 поступление Fe в озеро с растворимым почвенным гумусом (Белкина и др, 2018).

362 Несколько другая картина наблюдалась в распределении Mn в воде (Табл. 7). В
363 период гомотермии (весной и осенью) концентрация Mn в воде варьировала от 0,054 до
364 0,105 мг/л (в среднем 0,085 мг/л), при этом разница для поверхностного и придонного
365 горизонтов была незначительна (0,016 мг/л). В период летней и зимней стратификации
366 содержание Mn изменялось в более широких пределах (от 0,010 до 0,292 мг/л). В
367 придонном слое концентрация Mn летом была выше чем в поверхностном в 1,5 раза, а
368 зимой – в 10 раз. Самое высокое содержание Mn было зафиксировано зимой 2023 г.,
369 когда насыщение кислородом придонного слоя воды составляло всего 37 %. Подобное
370 увеличение обычно связано с поступлением из донных отложений ионов Mn^{2+} ,
371 образующихся в результате деструкции ОВ в анаэробных условиях.

372 Для микроэлементного состава воды можно отметить, что в сравнении с рекам
373 мира (Savenko et al., 2020) в период гомотермии были повышены содержание таких
374 металлов как Zn (4,8 мкг/л) и Pb (0,46 мкг/л), а зимний период Cu (1,1 мкг/л).

375 Диапазон изменения концентрации Si в воде за период наблюдений – 0,43-2,91
376 мг/л. Аналогично железу и марганцу содержание кремния возрастало с глубиной.
377 Максимальные концентрации Si наблюдались в зимний и летний периоды в придонном
378 горизонте, 2,91 и 2,64 мг/л, соответственно. Осенью наблюдалось ее снижение в среднем
379 до 0,44 мг/л.

380 Содержание взвешенного вещества в воде центрального района изменялось от 0,4
381 до 4,5 мг/л. Минимальные значения (0,4-2,7 мг/л) фиксировались в зимний период,
382 максимальные (1,63-4,5 мг/л) – весной. Значимых отличий концентрации взвесей
383 поверхностного и придонного (1-1,5 м от дна) горизонтов не выявлено.

384 **Седиментационная обстановка** в оз. Вендюрское оценивалась на основе
385 наблюдений за распределением взвешенного вещества в водной толще. Измерения
386 температуры, электропроводности и мутности воды выполнялись на 6 станциях в
387 подледный период (февраль – апрель) и в период открытой воды (июнь – ноябрь) (рис.
388 1–4). Во все сезоны во всех районах озера было характерно увеличение значений

389 мутности воды от поверхностного слоя к придонному. В центральном глубоководном
390 районе озера (ст. 1, где получен наибольший объем данных) зимой мутность была
391 минимальной практически по всему водному столбу (не превышала 0,5 FTU) и только в
392 0,5-м придонном слое резко увеличивалась до 5-8 FTU (рис. 2). Измерения летом
393 показали более высокие значения: до глубины 6-7 м мутность менялась в пределах от 1
394 до 3 FTU, глубже – от 2,5 до 9,0 FTU. Максимальное значение было зафиксировано в
395 августе 2022 г. в слое 8-10,5 м. Наименьшие значения мутности в слое 0-7 м для летнего
396 сезона (0,5-1,5 FTU) наблюдали на фоне жаркой безветренной погоды в начале июля
397 2022 г., когда температура воздуха повышалась в дневные часы до 25-29 °С, в ночные –
398 составляла 16-20 °С, средняя скорость ветра не превышала 2 м/с и штилевые условия
399 наблюдались не только в ночные часы, но и в дневные.

400 В этот период по всему озеру в результате активного развития фитопланктона
401 фиксировался локальный максимум мутности в слое 2,5-3,5 м (до 10 FTU на ст. 5),
402 совпадающий с максимумом хлорофилла «а» (по флуоресценции) (рис.3). В осенний
403 период при полном перемешивании водной толщи значения мутности воды
404 выравнивались по водному столбу (1,5-2,5 FTU). Электропроводность воды в зимние и
405 осенние месяцы на ст. 1 имела минимальные (0,015-0,018 мСм/см), а в летние (0,019-
406 0,024 мСм/см) – максимальные значения. Увеличение показателя до 0,030-0,031 мСм/см
407 в 1,5 м придонном слое наблюдалось зимой. Летом мощность слоя с повышенными
408 значением электропроводности достигала 3 м.

409 В открытом прибрежном районе озера (ст. 3, акватория форелевого хозяйства)
410 наблюдались более высокие значения мутности воды. Так, в апреле 2023 г. до глубины 6
411 м значения мутности воды составляли 0,4-0,5 FTU, ниже она резко увеличилась до 8.5
412 FTU (рис. 4а). Синхронно с мутностью возрастала электропроводность: на глубине 6 м
413 изменилась от 0,017 до 0,022 мСм/см, глубже – до 0,030-0,035 мСм/см. В октябре, в
414 период гомотермии по всему водному столбу наблюдалось максимальное значение
415 мутности (2,0-2,5 FTU). В июне и августе в поверхностном перемешанном слое
416 наблюдались повышенные значения мутности, в слое скачка температуры значения
417 мутности, как правило, снижались, а ниже слоя скачка – увеличивались в направлении
418 дна. Максимальные значения электропроводности были отмечены в июне, минимальные
419 – в октябре и апреле.

420 В малом заливе (ст. 4, акватория форелевого хозяйства) минимальные значения
421 мутности фиксировались зимой (от 0,1-1,0 FTU, увеличиваясь до 2,5 в тонком 30 см

422 придонном слое воды) (рис. 4б). Периодически в течение периода открытой воды выше
423 слоя скачка температуры (до глубины 4 м) отмечалось увеличение мутности (до 5-5,2
424 FTU на глубине 2 м), как правило, совпадающее с максимумом хлорофилла «а». В
425 отчлененном южном заливе влияние ветро-волнового перемешивания существенно
426 слабее, чем на открытом плесе озера, поэтому связь мутности и хлорофилла «а» была
427 здесь наиболее явной. Электропроводность в заливе изменялась от минимума 0,015
428 мСм/см зимой до 0,027 мСм/см летом. В глубоководной котловине у западного берега
429 озера (ст. 5) в конце зимнего сезона и летом в придонном слое (мощность 2-3 м)
430 периодически наблюдалось резкое увеличение мутности (наибольшее из всех
431 полученных данных) и синхронное увеличение электропроводности (рис. 4в). В
432 мелководных районах озера на ст. 2 (восточная часть) и в районе истока (р. Кулапдеги)
433 мутность и электропроводность были однородно распределены по водному столбу,
434 изменяясь в течение года в пределах от 0,5 до 3-4 FTU с минимальными значениями
435 зимой и при максимальной устойчивости водной толщи в штилевых условиях в период
436 открытой воды (рис. 4г).

437 Наблюдения за скоростью накопления осадочного вещества в донных отложениях
438 проводили с помощью седиментационных ловушек, установленных на ст. 1. Осадки,
439 накопленные в ловушках, были представлены неконсолидированной взвесью
440 коричневых и темно-коричневых оттенков. Во взвешенном веществе преобладала
441 фракция с размером частиц 50-10 мкм (грубый ил). Доли фракций с размером частиц
442 100-50 мкм (крупноалевритовый ил или тонкий песок) и 250-100 мкм (мелкий песок)
443 были близки. Сортировка всех исследованных осадков - средняя (коэффициент
444 сортировки изменялся от 2,3 до 3,6). Гистограммы гранулометрического состава осадков
445 из СЛ, поднятых в 2019, 2022 и 2023 гг. были двухвершинные (с максимумами фракций
446 грубого ила и мелкого песка) (рис. 5).

447 В 2021 и 2022 гг. распределение по размерам частиц имело одновершинный
448 характер. Увеличение доли мелкого песка в составе взвесей из СЛ, по-видимому, связано
449 с развитием течений в мелководной песчаной литорали северного берега во время
450 падения уровня озера летом и под действием ветро-волнового перемешивания,
451 способствующих взмучиванию, переносу и отложению твердых частиц этой размерной
452 фракции в глубоководной аккумуляционной зоне озера.

453 Количественная оценка оседающего на дно твердого материала показала
454 значительные межгодовые колебания (в 9 раз). Масса вещества, поступающего за год на
455 1 кв. м дна, менялась в течение 5 лет наблюдений от 0,3 до 2,8 кг (рис. 6).

456 Средняя скорость поступления осадочного вещества в аккумуляционную зону оз.
457 Вендюрское равна $2 \text{ г}/(\text{м}^2\text{сутки})$ или $0,73 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{год})$. Если бы вещественный состав осадка
458 при захоронении в донных отложениях не изменялся, наблюдаемое поступление
459 формально соответствовало бы средней скорости осадконакопления 4 мм в год при
460 колебаниях от 2 до 10 мм/год (расчет выполнен с учетом уплотнения осадка в донных
461 отложениях на глубине 20 см). Максимальная скорость накопления вещества в
462 седиментационных ловушках была зафиксирована в 2019 г, что может быть связано с
463 синоптической ситуацией в весенне-летний период 2018 г. (ловушка была установлена в
464 1 м от дна в июне 2018 г. и поднята на поверхность в июне 2019 г.). Лето 2018 г.
465 отличалось более высокими температурами воздуха (более чем на $2 \text{ }^\circ\text{C}$) и меньшим
466 количеством осадков (на 150 мм) по сравнению с 2017 и 2019 гг. (Табл. 1, 2). Это
467 закономерно повлекло за собой уменьшение объема приточных вод, вызвавшее падение
468 уровня озера, и более интенсивный прогрев верхнего слоя водной массы. В
469 вегетационный период в 2018 г. падение уровня составило 0,8 м, что было больше, чем
470 значения для 2017 и 2019 гг. (0,3 и 0,5 м соответственно) (рис. 7). Увеличение
471 длительности вегетационного периода и более высокие температуры воды, по-
472 видимому, явились причиной более высокой продуктивности водоема и, как следствие,
473 количество детрита, поступившего на дно, было выше. С другой стороны, падение
474 уровня воды, по-видимому, вызвало включение в абразионные процессы участков дна с
475 мелким песком, который в условиях «высокой» воды накапливается на склонах
476 котловины.

477 Минимальное поступление осадка (334 г на кв. м за год) в седиментационные
478 ловушки наблюдали в 2023 г. (экспозиция с июня 2022 г. по июнь 2023 г.) (рис. 7).
479 Основная масса вещества накопилась с июня по октябрь (85,5 % от общей массы за год),
480 что подтверждается представленными выше данными о максимумах мутности в
481 придонных слоях воды глубоководных зон в конце лета. Зимой (с декабря по конец
482 марта) в ловушки пришло только 1,5 % от общей массы вещества, а весной во время
483 паводка (апрель-май) – 13 %. Необходимо отметить, что лето 2022 г. отличалось заметно
484 большим количеством атмосферных осадков по отношению к климатической норме
485 (Табл. 1, 2).

486 Изучение геохимических особенностей взвешенного вещества из
487 седиментационных ловушек показало, что по макрокомпонентному составу он оставался
488 стабильным (табл. 8). Осадки содержат более 30 % органического вещества и обогащены
489 биогенными элементами (1 % азота и 0,3 % фосфора). Зольность в среднем составила 65
490 %. Железо и марганец превышают кларковые значения (в 2 и 10 раз соответственно).
491 Микроэлементный состав взвешенного вещества из ловушек характеризуется
492 аномальными концентрациями кадмия, свинца и цинка (рис. 8а). Полученные результаты
493 согласуются с исследованиями микроэлементного состава воды озера в 2015-2016 гг.
494 Согласно которым основным источником поступления металлов в озеро является речной
495 сток (от 56,3 до 98 % от общего поступления каждого в отдельности) (рис. 8б), а
496 атмосферные осадки вносят существенный вклад в баланс Cd (43,5%), Zn (24,7%), Pb
497 (21,9%) и Cu (20,6%) (неопубликованные данные Выборовой Н.В.).

498 На основании химического баланса озера по модели Лозовика (Лозовик и др.
499 2020) были рассчитаны параметры трансформации этих элементов в Вендюрском озере
500 (Табл. 9)

501 Как видно из таблицы наибольшая удерживающая способность (R) отмечается
502 для Fe (0,84), высокие значения характерны для Mn, Zn, Cd (0,35-0,49), тогда как для Pb
503 и Cu она составляет 0,19 и 0,11 соответственно. Полученная константа скорости
504 трансформации k в соответствии со значением R была максимальна для Fe (0,81 год⁻¹), а
505 время полупревращения ($\tau_{1/2}$) Fe в озерной системе составило около 10 месяцев (0,86
506 года). Для Mn, Pb, Cd получены близкие значения констант (от 0,2 до 0,32 год⁻¹) и
507 большие времена полупревращения (2,2-3,5 года). Самые низкие значения констант (0,09
508 и 0,05 год⁻¹) и самые высокие времена полупревращения (7,5 и 13,4 года) установлены
509 для Pb и Cu соответственно. Скорость удаления из водной среды литофильных
510 элементов и тяжелых металлов в Вендюрском озере (As_{oz} ассимиляционная способность
511 озера), составляет (в мкг/л в год): для Fe – 452, Mn – 4, Zn – 1,6, Pb – 0,05, Cu – 0,04 и Cd
512 – 0,01 (таблица). Величина озерной ассимиляции металлов (As_{oz}) в два раза больше чем
513 удаление металлов из озера с водами р. Куллапеги ($As_{сток}$), что говорит о седиментации
514 этих элементов в составе взвешенного вещества в озерной котловине и дальнейшей их
515 аккумуляции в донных отложениях (табл. 9).

516 Сравнение физических характеристик и химического состава свежесосажденного
517 взвешенного вещества из осадкоуловителей и донных отложений показало значительные
518 отличия. В первую очередь – это более высокое содержание органического вещества и

519 биогенных элементов (показатели органического вещества в 1,5 раза превышают их
520 значения в поверхностном слое донных отложений) (рис.9). Физические и физико-
521 химические свойства также различаются. Например, осадок в ловушках представляет
522 собой обводненную аморфную неконсолидированную взвесь по сравнению с
523 уплотненным илом донных отложений. Обращают на себя внимание относительно
524 высокие концентрации железа и марганца (в 2 и 100 раз выше кларковых значений и в
525 1,5 и 10 раз выше, чем в донных отложениях, соответственно). Необходимо отметить,
526 что неравномерный характер накопления Fe и Mn (о чем свидетельствуют
527 периодические локальные максимумы концентраций по вертикали колонки донных
528 отложений: на глубине 16 см 0,24% Mn, а в слое 21-25 см 8-9% –Fe, рис. 9) является
529 характерной особенностью формирования донных осадков озера и связан, по-видимому,
530 с изменчивостью процессов их иммобилизации и переноса с водосборной территории.
531 Большинство исследователей связывают рост поступления в озеро гумидной зоны Fe и
532 Mn (в составе органоминеральных комплексов с растворимым гумусовым веществом
533 почв) с увеличением длительности вегетационного периода за счет потепления климата
534 (Калинкина и др., 2019). Устойчивое возрастание концентраций железа, марганца и
535 фосфора, начиная с глубины 8 см к поверхности донных отложений, подтверждает эту
536 тенденцию. Физические характеристики донных отложений (плотность, пористость,
537 естественная влажность), содержание органического вещества (IG, C_{org}, N_{org}),
538 минеральный компонент (зольность) и pH с глубиной меняются мало. Значения Eh
539 закономерно уменьшаются вниз по колонке (рис. 9).

540 Микроэлементный состав взвешенного вещества СЛ отличается от донных
541 осадков, представленных однородным буро-зеленым илом. Высоких концентраций Cd,
542 Pb и Zn в поверхностном слое донных отложений, которые наблюдаются во взвесах
543 ловушек не отмечено (табл. 10). По-видимому, активное поступление этих металлов в
544 донные отложения в настоящее время может быть связано с изменениями процессов
545 выветривания в зоне гипергенеза на территории бассейна и с иммобилизацией металлов,
546 принесенных ранее в составе атмосферных осадков и с непосредственным влиянием
547 хозяйственной деятельности на акватории и берегах озера.

548 Отличительной особенностью малых водоемов от более крупных является
549 поступление в донные отложения значительного количества слаботрансформированного
550 детритового материала. Значительную разницу между химическим составом вещества
551 седиментационных ловушек и донных отложений можно объяснить, следующими после

552 осаднения и аккумуляции вещества на дне водоема, активными диагенетическими
553 преобразованиями осадка в поверхностном «живом» слое донных отложений. Процесс
554 разложения органического вещества на границе вода-дно сопровождается не только
555 превращением элементов живого вещества до их минеральных форм, но и растворением
556 минеральной части осадка. На это указывает более высокая минерализация придонных
557 вод в оз. Вендюрском, описанная выше, а также материалы, опубликованные ранее в
558 (Белкина, 2019; Белкина и др., 2023), о различиях в составе придонных и надосадочных
559 вод и оценке солевых потоков Mn, Fe, Ca, Mg, SO₄²⁻ и др. (среднее значение суммарного
560 потока 200 мг/м² в сутки) из иловых осадков этого озера в весенний период.

561 **4. Заключение**

562 Впервые были получены данные о современных процессах формирования донных
563 отложений озера Вендюрского, определены количественные и качественные
564 характеристики взвешенного вещества. Было выявлено, что химический состав
565 материала, поступающего в донные отложения, отличается от состава захороненного
566 материала. Активный процесс трансформации взвесей происходит в пограничном слое
567 вода – донные отложения. Высокие концентрации железа и марганца при изменении
568 кислородного режима придонных вод способствуют пространственному разделению
569 процессов разложения органического вещества в ходе раннего диагенеза.

570 **5. Выводы**

571 **1.** На водосборе оз. Вендюрского преобладают типичные для региона ледниковые и
572 водно-ледниковые холмисто-рядовые среднезаболоченные ландшафты с
573 преобладанием сосновых и мелколиственно-сосновых лесов. Лесная мелиорация болот
574 и заболоченных земель, проведенная в бассейне в 70-е годы прошлого века, способствует
575 увеличению выноса растворенных гумусовых веществ и связанных с ними металлов в
576 озеро. Основное антропогенное воздействие на ландшафты в настоящее время —
577 вырубка лесов.

578 **2.** Озеро Вендюрское относится к низкоминерализованным водоемам,
579 соответствует гидрокарбонатному классу вод группы кальция. Согласно геохимической
580 классификации поверхностных вод гумидной зоны озеро относится к
581 среднещелочным слабокислым нейтральным, по содержанию органических веществ
582 в воде - к олиго-мезогумусным водоемам. Содержание в воде биогенных элементов

583 указывает на мезотрофный статус водоема. Воды озера достаточно хорошо аэрированы,
584 но зимой в придонных слоях наблюдается дефицит кислорода.

585 **3.** На распределение взвешенного вещества в озере Вендюрском оказывают влияние
586 разные факторы – глубина, ветровое и конвективное перемешивание, развитие
587 водорослей и температура воды. В отчлененном южном заливе, вблизи форелевого
588 хозяйства, влияние развития фитопланктона выражено в наибольшей степени. В
589 глубоководных районах озера в придонных слоях в конце летнего сезона и в конце зимы
590 происходит накопление осаждающегося вещества, что проявляется в увеличении
591 мутности. В мелководных районах мутность однородна по столбу вследствие ветро-
592 волнового перемешивания.

593 **4.** Поступление осадочного вещества на дно аккумуляционной зоны оз. Вендюрское
594 по данным наблюдений в седиментационных ловушках отличается значительной
595 межгодовой и сезонной изменчивостью. Установлено, что основная масса взвешенного
596 вещества поступает в конце летнего сезона (85% с июня по октябрь), в зимний период
597 поступление минимально (<2%), на долю весеннего паводка приходится 13%.
598 Количественные характеристики скорости в течение 5 лет наблюдений (2018-2023 гг)
599 различались в 9 раз (от 300 до 2800 г на кв. метр в год или от 2 до 24 мм/год) и
600 определялись синоптической ситуацией.

601 **5.** Химический состав осадочного вещества седиментационных ловушек не
602 изменялся в течение наблюдений. Соотношение органической и минеральной
603 компоненты осадка (1:2), содержание биогенных элементов и аномальные концентрации
604 марганца, железа свинца, кадмия и цинка оставались стабильными.

605 **6.** Сравнение химического состава взвешенного вещества, поступающего на дно, с
606 составом поверхностного слоя донных отложений показало, что во взвесах из
607 седиментационных ловушек зафиксированы более высокие концентрации
608 органического вещества, биогенных элементов, и микрокомпонентов (Pb, Cd, Zn).

609

610 **Литература**

611 *Алекин, О.А. (1970). Основы гидрохимии. Л: Гидрометеиздат, 442.*

612 *Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике*
613 (2017). СПб. : Нестор-История, 272.

614 *Аринушкина, Е.В. (1982). Руководство по химическому анализу почв. Москва:*
615 *МГУ, 487.*

616 *Атлас Республики Карелия* (2021). Петрозаводск: Версо. 48.

617 Белкина, Н.А. (2019). Особенности процесса трансформации органического
618 вещества в донных отложениях озер Карелии и его влияние на химический состав
619 придонных вод. *Геополитика и экогеодинамика регионов*, 5(4), 262–275

620 Белкина, Н.А., Ефременко, Н.А., Кулик, Н.В. (2018). Особенности миграции,
621 трансформации и накопления железа в Выгозерском водохранилище. *Водные ресурсы*.
622 45(5), 505–513. <https://doi.org/10.1134/S0321059618050036>.

623 Белкина, Н.А., Кулик Н.В. (2019). Изучение современных донных отложений
624 Заонежского полуострова. *Общество. Среда. Развитие*, 4, 84–90.

625 Белкина, Н.А., Потахин, М.С., Субетто, Д.А., Рябинкин, А.В., Кухарев, В.И.,
626 Кравченко, И.Ю., Кулик, Н.В., Ефременко, Н.А., Гатальская, Е.В. (2023). Процессы
627 формирования донных отложений в озере Вендюрское (южная Карелия). В: *География:
628 развитие науки и образования. Международная научно-практической конференция
629 LXXVI Герценовские чтения*. СПб. : Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 228-231.

630 Виноградов, А. П. (1962). Среднее содержание химических элементов в горных
631 породах. *Геохимия*, (7), 555-571.

632 Даувальтер, В.А., Даувальтер, М.В. (2014). *Геоэкологическая оценка состояния
633 природных вод в зоне влияния комбината "Североникель"*. Мурманск : Изд-во МГТУ,
634 215.

635 Демидов, И.Н. (2005). Деградация поздневалдайского оледенения в бассейне
636 Онежского озера. *Геология и полезные ископаемые Карелии*, 8. 134-142.

637 ИПК Издательство стандартов (2002). *ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы.
638 Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для
639 анализа на загрязненность*. Москва.

640 ИПК Издательство стандартов (2003). *ГОСТ 17.1.5.04-81. Охрана природы.
641 Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб
642 природных вод. Общие технические условия*. Москва.

643 Исаченко, Г.А. (1999). *Методы полевых ландшафтных исследований и
644 ландшафтно-экологическое картографирование*. СПб : Издательство Санкт-
645 Петербургского государственного университета, 112.

646 Калинкина, Н.М., Теканова, Е.В., Сабылина, А.В., Рыжаков, А.В. (2019).
647 Изменения гидрохимического режима Онежского озера с начала 1990-х годов. *Известия*

648 *Российской академии наук. Серия географическая*, (1), 62-72.
649 <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019162-72>

650 Касимов, Н.С., Власов, Д.В. (2015). Кларки химических элементов как эталоны
651 сравнения в экогеохимии. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*, (2),
652 7-17.

653 Кулик, Н.В., Белкина, Н.А., Ефременко, Н.А. (2020). Поступление,
654 трансформация и распределение марганца в Онежском озере. *Московский*
655 *экономический журнал*, (1), 112-128 <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2020-10063>

656 Лозовик, П. А., Кулик, Н.В., Ефременко, Н.А.(2020). Литофильные элементы и
657 тяжелые металлы в Онежском озере: источники поступления, содержание и
658 трансформация. *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*, (4), 62-
659 74. <https://doi.org/10.17076/lm1189>

660 Лозовик, П.А. (2013) Геохимическая классификация поверхностных вод
661 гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия. *Водные ресурсы*, 40 (6),
662 583-588. <https://doi.org/10.7868/S0321059613060072>

663 Мартянов, С.Д., Рябченко, В.А. (2013). Воспроизведение взмучивания и
664 переноса донных осадков в Невской губе на основе трехмерной модели циркуляции.
665 *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*, 6(4), 32-43.

666 Назарова, Л.Е. (2015). Современное состояние и изменчивость климата на
667 водосборах Онежского озера и Выгозерского водохранилища. В: Н.Н. Филатов, под ред.,
668 *Крупнейшие озера - водохранилища Северо-Запада европейской территории России:*
669 *современное состояние и изменение экосистем при климатических и антропогенных*
670 *воздействиях*. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 10-19.

671 *Озера Карелии. Справочник* (2013). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 463.

672 Потахин, М.С. (2013). Морфологические особенности озер ледораздельных
673 аккумулятивных возвышенностей Карелии. В: *География: инновации в науке и*
674 *образовании. Международная научно-практической конференция LXVI Герценовские*
675 *чтения*, СПб.: Астерион, 193-196.

676 Рахуба, А.В., Шмакова, М.В. (2020). Моделирование распределения мутности
677 воды в Куйбышевском водохранилище. *Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География*, 4, 51-
678 57.

679 *Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 2. Карелия и Северо-Запад. Ч. 3.*
680 *Гидрографические описания рек и озер*. (1972). Ленинград : Гидрометеиздат, 553.

681 Слуковский, З.И., Даувальтер, В.А. (2020). Особенности накопления свинца,
682 сурьмы и кадмия в отложениях малых озер юга Карелии. *Труды Карельского научного*
683 *центра Российской академии наук*, (4), 75-94. <https://doi.org/10.17076/lim1198>.

684 Слуковский, З.И., Медведев, А.С. (2015). Вертикальное распределение
685 микроэлементов в донных отложениях малого озера в условиях урбанизированной
686 среды. *Вода: химия и экология*, 3 (81), 77-82.

687 Соколов, Д. И., Кременецкая, Е. Р., Ломова, Д. В., Аракельянц, А. Д., Филиппова,
688 П. С. (2011). Особенности режима мутности в долинном водохранилище при низком
689 уровне воды. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*, 3, 27-32.

690 Стандартинформ (2018). *ГОСТ 25100-2011. ГРУНТЫ. Классификация*. Москва.

691 Старовойтов, А.В., Токарев, М.Ю., Марченко, А.Л., Субетто, Д. А., Рыбалко, А.Е.,
692 Алешин, М.И. (2016). Возможности георадиолокации при изучении четвертичных
693 отложений озер Карелии. *Труды Карельского научного центра РАН*, (5), 62–75.
694 <https://doi.org/10.17076/lim268>.

695 Страхов, Н.М. (1960а). *Основы теории литогенеза*. Т.1. Типы литогенеза и их
696 размещение на поверхности Земли. Москва: Изд-во АН СССР, 231.

697 Страхов, Н.М. (1960б). *Основы теории литогенеза*. Т.2. Закономерности состава
698 и размещения гумидных отложений. Москва: Изд-во АН СССР, 586.

699 Субетто, Д.А. (2009). *Донные отложения озер: палеолимнологические*
700 *реконструкции*. Санкт-Петербург: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 339.

701 Субетто, Д.А., Белкина, Н.А., Страховенко, В.Д., Рыбалко, А.Е., Зобков, М.Б.,
702 Потахин, М.С., Кулик, Н.В., Ефременко, Н.А., Лаврова, Н.Б., Рязанцев, П.А., Тарасов,
703 А.Ю., Филимонова, Л.В., Шелехова, Т.С., Шварев, С.В., Алешин, М.И., Беляев, П.Ю.,
704 Бородулина, Г.С., Здоровеннова, Г.Э., Здоровеннов, Р.Э., Ибрагимова, А.Г., Карпечко,
705 Ю.В., Корост, С.Р., Корост, Д.В., Кузнецов, В.Ю., Кухарев, В.И., Левичев, М.А., Малов,
706 В.И., Никонов, А.А., Овдина, Е.А., Орлов, А.В., Рябинкин, А.В., Слабунов, А.И.,
707 Токарев, М.Ю., Фролова, Л.А., Гатальская, Е.В., Кравченко, И.Ю., Ханг, Т. (2022).
708 *Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям*.
709 Петрозаводск: КарНЦ РАН., 331. <https://doi.org/10.17076/m-onegopaleo23>

710 Тержевик, А.Ю., Пальшин, Н.И., Голосов, С.Д., Здоровеннов, Р.Э., Здоровеннова,
711 Г.Э., Митрохов, А.В., Потахин, М.С., Шипунова, И.А., Зверев, И.С. (2010).
712 Гидрофизические аспекты формирования кислородного режима мелководного озера,
713 покрытого льдом. *Водные ресурсы*, 37(5), 568-579.

714 Титова, К.В., Кокрятская, Н.М., Жибарева, Т.А., Захарова, Е.Е. (2019).
715 Особенности сульфатредукции и накопления соединений восстановленной серы в
716 пресноводном неглубоком озере Назаровское (Архангельская область). *Принципы*
717 *экологии*, 4 (34), 69-80. <https://doi.org/10.15393/j1.art.2019.8722>.

718 Шелехова, Т. С., Субетто, Д. А., Тихонова, Ю. С., Потахин, М. С. (2015).
719 Диатомовые водоросли современных отложений озер Заонежья: палеоэкологические и
720 палеоклиматические реконструкции. *Общество. Среда. Развитие*, 2 (35), 151-160.

721 Belkina, N.A., Kulik, N.V., Efremenko, N.A., Potakhin, M.S., Kukharev, V.I.,
722 Ryabinkin, A.V., Zdorovenov, R.E., Georgiev, A.P., Strakhovenko, V.D., Gatalskaya, E.V.,
723 Kravchenko I.Y., Ludikova A.V., Subetto D.A.. (2023). Contemporary Sedimentation in Lake
724 Onego: Geochemical Features of Water, Suspended Matter, and Accumulation Rate. *Water*, 15,
725 1014. <https://doi.org/10.3390/w15061014>

726 Cao, Z., Duan, H., Feng, L., Ma, R., Xue, K. (2017). Climate- and human-induced
727 changes in suspended particulate matter over Lake Hongze on short and long timescales.
728 *Remote Sensing of Environment*, 192, 98-113, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.02.007> .

729 Doda, T., Ulloa, H.N., Ramón, C.L., Wüest, A., Bouffard, D. (2023). Penetrative
730 convection modifies the dynamics of downslope gravity currents. *Geophysical Research*
731 *Letters*, 50, e2022GL100633. <https://doi.org/10.1029/2022GL100633> .

732 Jansen, J., MacIntyre, S., Barrett, D. C., Chin, Y.-P., Cortés, A., Forrest, A. L., et al.
733 (2021). Winter limnology: How do hydrodynamics and biogeochemistry shape ecosystems
734 under ice? *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 126, e2020JG006237.
735 <https://doi.org/10.1029/2020JG006237>

736 Kirillin, G., Leppäranta, M., Terzhevik, A., Granin, N., Bernhardt, J., Engelhardt, C., et
737 al. (2012). Physics of seasonally ice-covered lakes: A review. *Aquatic Sciences*, 74(4), 659–
738 682. <https://doi.org/10.1007/s00027-012-0279-y>

739 Kulik, N., Efremenko, N., Belkina, N., Strakhovenko, V., Gatalskaya, E., Orlov, A.
740 (2023). Fe, Mn, Al, Cu, Zn, and Cr in the sedimentary matter of Lake Onego. *Quaternary*
741 *International*, 644–645, 134-144. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.04.005>

742 Lemmin, U., Imboden, D.M. (1987). Dynamics of bottom currents in a small lake.
743 *Limnol. Oceanogr.*, 32(1), 62-75.

744 Lorke, A., Umlauf, L., Mohrholz, V. (2008). Stratification and mixing on sloping
745 boundaries. *Geophysical Research letters*, 35, L14610, <https://doi.org/10.1029/2008GL034607>

746 MacIntyre, S., Bastviken, D., Arneborg, L., Crowe, A.T., Karlsson, J., Andersson, A.,
747 et al. (2020). Turbulence in a small boreal lake: Consequences for air–water gas exchange.
748 *Limnol. Oceanogr.*, 66(3), 827–854. <https://doi.org/10.1002/lno.11645>

749 MacIntyre, S., Flynn, K.M., Jellison, R., Romero, J.R. (1999). Boundary mixing and
750 nutrient fluxes in Mono Lake, California. *Limnol. Oceanogr.*, 44(3), 512–529.
751 <https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.3.0512>

752 Noges, P., Tuvikene, L., Noges, T., Kisand, A. (1999). Primary production,
753 sedimentation and resuspension in large shallow lake Vortsjarv. *Aquatic Sci. Res. Across*
754 *Boundaries*, 61(2), 168–182. <https://doi.org/10.1007/PL00001323>

755 North, R.P., North, R.L., Livingstone, D.M., Köster, O., Kipfer, R. (2014). Long-term
756 changes in hypoxia and soluble reactive phosphorus in the hypolimnion of a large temperate
757 lake: Consequences of a climate regime shift. *Glob. Change Biol.*, 20, 811–823.
758 <https://doi.org/10.1111/gcb.12371>.

759 Savenko, A.V., Savenko, V.S., Pokrovsky, O.S. (2020). New data on the concentrations
760 of dissolved trace elements in waters of Russian Arctic rivers. *Doklady Earth Sciences*, 491,
761 257-263. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1028334X20040169>

762 Schwefel, R., MacIntyre, S., Cortés, A., Sadro, S. (2023). Oxygen depletion and
763 sediment respiration in ice-covered arctic lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 68(7), 1470-1489.
764 <https://doi.org/10.1002/lno.12357>

765 Smirnov, S. I., Zdorovenov, R. E., Efremova, T. V., Palshin, N. I., Smirnovsky, A. A.,
766 Bogdanov, S. R., Terzhevik, A. Yu., Zdorovenova, G. E. (2024) Parameters of Water Column
767 Stability in a Small Polymictic Lake in Years of Different Weather Conditions. *Water*
768 *Resources*, 51(3), pp. 299–313. <https://doi.org/10.1134/S0097807824700817>

769 Strakhovenko, V.D.; Belkina, N.A.; Efremenko, N.A.; Potakhin, M.S.; Subetto, D.A.;
770 Frolova, L.A.; Nigmatzyanova, G.R.; Ludikova, A.V.; Ovdina, E.A. (2022). The First Data on
771 the Mineralogy and Geochemistry of the Suspension of Lake Onego. *Russian Geology*
772 *Geophysics*, 63 (1), 55–71. <https://doi.org/10.2113/RGG20204280>

773 Wedepohl, K.H. (1995). The composition of the continental crust. *Geochimica et*
774 *cosmochimica Acta.*, 59(7), 1217-1232.

775 Woolway, R.I., Merchant, C.J. (2019). Worldwide alteration of lake mixing regimes in
776 response to climate change. *Nature Geoscience*, 12 (4), 271-276.
777 <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0322-x> .

778 Woolway, R.I., Sharma, S., Weyhenmeyer, G.A., Debolskiy, A., Golub, M., Mercado-
779 Bettin, D., Perroud, M., Stepanenko, V., Tan, Z., Grant, L., Ladwig, R., Mesman, J., Moore,
780 T.N., Shatwell, T., Vanderkelen, I., Austin, J.A., DeGasperi, C.L., Dokulil, M., La Fuente, S.,
781 Mackay, E.B., Schladow, S.G., Watanabe, S., Marcé, R., Pierson, D.C., Thiery, W., Jennings,
782 E. (2021). Phenological shifts in lake stratification under climate change. *Nature Comm.*, 12,
783 2318. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22657-4>.

784 Zdorovenova, G., Zdorovenov, R., Palshin, N., Bogdanov, S., Smirnov, S., Nikulina,
785 A., Efremova, T. (2023). Hydrophysical factors affecting the distribution of chlorophyll "a" in
786 a small lake. *E3S Web of Conference*, 420, 09006, P. 21-30.
787 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342004006>

788 References

789 Alekin, O.A. (1970). *Fundamentals of Hydrochemistry*. Leningrad: Gidrometeoizdat,
790 442. (In Russian)

791 *Analytical, kinetic and calculation methods in hydrochemical practice (2017)*. St.
792 Petersburg: Nestor-History, 272. (In Russian)

793 Arinushkina, E.V. (1982). *Handbook of Chemical Analysis of Soils*. Moscow: Moscow
794 State University, 487. (In Russian)

795 *Atlas of the Republic of Karelia (2021)*. Petrozavodsk: Verso. 48. (In Russian)

796 Belkina, N.A. (2019). Features of the transformation process of organic substances in
797 sediments lakes of Karelia and its effect on the chemical composition of water. *Geopolitics and*
798 *ecogeodynamics of regions*, 5(4), 262–275. (In Russian)

799 Belkina, N.A., Efremenko, N.A., Kulik, N.V. (2018). Specifics of iron migration,
800 transformation, and accumulation in the Vygozero reservoir. *Water Resources*, 45(5), 738-745.
801 <https://doi.org/10.1134/S0097807818050032>

802 Belkina, N.A., Kulik N.V. (2019). Study of modern bottom sediments of the Zaonezhye
803 Peninsula. *Society. Environment. Development*, 4, 84–90.

804 Belkina, N.A., Kulik, N.V., Efremenko, N.A., Potakhin, M.S., Kukharev, V.I.,
805 Ryabinkin, A.V., Zdorovenov, R.E., Georgiev, A.P., Strakhovenko, V.D., Gatalskaya, E.V.,
806 Kravchenko I.Y., Ludikova A.V., Subetto D.A.. (2023). Contemporary Sedimentation in Lake
807 Onego: Geochemical Features of Water, Suspended Matter, and Accumulation Rate. *Water*, 15,
808 1014. <https://doi.org/10.3390/w15061014>

809 Belkina, N.A., Potakhin, M.S., Subetto, D.A., Ryabinkin, A.V., Kuharev, V.I.,
810 Kravchenko, I.Y., Kulik. N.V., Efremenko, N.A., Gatalskaya, E.V. (2023). Processes of

811 formation of bottom sediments in lake Vendyurskoye (South Karelia). In: *Geography:*
812 *development of science and education. International scientific and practical conference LXXVI*
813 *Herzen readings*. St. Petersburg: Publishing house of the A.I. Herzen State Pedagogical
814 University, 228-231. (In Russian)

815 Cao, Z., Duan, H., Feng, L., Ma, R., Xue, K. (2017). Climate- and human-induced
816 changes in suspended particulate matter over Lake Hongze on short and long timescales.
817 *Remote Sensing of Environment*, 192, 98-113, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.02.007> .

818 Dauvalter, V.A., Dauvalter, M.V. (2014). *Geoecological assessment of the state of*
819 *natural waters in the zone of influence of the "Severonickel" company: manual on disciplines*
820 *"Geochemistry of the environment", "Hydrogeology", "Geoecology" for students of direction*
821 *022000.62 "Ecology and nature management" and specialty 020804.65 "Geoecology"*.
822 Murmansk: Publishing house of Moscow State Technical University, 215. (In Russian)

823 Demidov, I.N. (2005). Degradation of the Late Valdai glaciation in the Lake Onega
824 basin. *Geology and mineral resources of Karelia*, 8, 134-142. (In Russian)

825 Doda, T., Ulloa, H.N., Ramón, C.L., Wüest, A., Bouffard, D. (2023). Penetrative
826 convection modifies the dynamics of downslope gravity currents. *Geophysical Research*
827 *Letters*, 50, e2022GL100633. <https://doi.org/10.1029/2022GL100633> .

828 IPC Publishing House of Standards (2002). *GOST 17.1.5.01-80. Nature Conservation.*
829 *Hydrosphere. General Requirements for Sampling Bottom Sediments of Water Bodies for*
830 *Pollution Analysis*. Moscow. (In Russian)

831 IPC Publishing House of Standards (2003). *GOST 17.1.5.04-81. Environmental*
832 *Protection. Hydrosphere. Devices and Equipment for Sampling, Primary Processing, and*
833 *Storage of Natural Water Samples. General Specifications*. Moscow. (In Russian)

834 Isachenko, G.A. (1999). *The methods of field study of landscape and the landscape-*
835 *ecological mapping*. Saint-Petersburg : Saint Petersburg State University Publishing House,
836 112.

837 Jansen, J., MacIntyre, S., Barrett, D. C., Chin, Y.-P., Cortés, A., Forrest, A. L., et al.
838 (2021). Winter limnology: How do hydrodynamics and biogeochemistry shape ecosystems
839 under ice? *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 126, e2020JG006237.
840 <https://doi.org/10.1029/2020JG006237>

841 Kalinkina, N.M., Tekanova, E.V., Sabylina, A.V., Ryzhakov, A.V. (2019). Changes in
842 the hydrochemical regime of Onego lake since the early 1990s. *News of the Russian Academy*

843 *of Sciences. Geographical series*, (1), 62-72. <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019162-72>.
844 (In Russian)

845 Kasimov, N.S., Vlasov, D.V. (2015). Clarkes of chemical elements as comparison
846 standards in Ecogeochemistry. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria 5, Geografia*, (2), 7-
847 17. (In Russian)

848 Kirillin, G., Leppäranta, M., Terzhevik, A., Granin, N., Bernhardt, J., Engelhardt, C., et
849 al. (2012). Physics of seasonally ice-covered lakes: A review. *Aquatic Sciences*, 74(4), 659–
850 682. <https://doi.org/10.1007/s00027-012-0279-y>

851 Kulik, N., Efremenko, N., Belkina, N., Strakhovenko, V., Gatalskaya, E., Orlov, A.
852 (2023). Fe, Mn, Al, Cu, Zn, and Cr in the sedimentary matter of Lake Onego. *Quaternary*
853 *International*, 644–645, 134-144. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.04.005>

854 Kulik, N.V., Belkina, N.A., Efremenko, N.A. (2020). Introduction, transformation and
855 distribution of manganese in lake Onego. *Moscow Economic Journal*, (1), 112-128.
856 <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2020-10063>. (In Russian)

857 *Lakes of Karelia. Handbook* (2013). Petrozavodsk: Karelian Research Center of the
858 Russian Academy of Sciences, 463. (In Russian)

859 Lemmin, U., Imboden, D.M. (1987). Dynamics of bottom currents in a small lake.
860 *Limnol. Oceanogr.*, 32(1), 62-75.

861 Lorke, A., Umlauf, L., Mohrholz, V. (2008). Stratification and mixing on sloping
862 boundaries. *Geophysical Research letters*, 35, L14610, <https://doi.org/10.1029/2008GL034607>

863 Lozovik, P. A. (2013). Geochemical classification of surface waters in humid zone
864 based on their acid-base equilibrium. *Water Resources*, 40 (6), 631-639.
865 <https://doi.org/10.1134/S0097807813060067>

866 Lozovik, P. A., Kulik, N. V., Efremenko, N. A. (2020). Lithophile elements and heavy
867 metals in lake Onego: sources, concentrations and transformation. *Transactions of the Karelian*
868 *Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, (4), 62-74.
869 <https://doi.org/10.17076/lim1189>. (In Russian)

870 MacIntyre, S., Bastviken, D., Arneborg, L., Crowe, A.T., Karlsson, J., Andersson, A.,
871 et al. (2020). Turbulence in a small boreal lake: Consequences for air–water gas exchange.
872 *Limnol. Oceanogr.*, 66(3), 827–854. <https://doi.org/10.1002/lno.11645>

873 MacIntyre, S., Flynn, K.M., Jellison, R., Romero, J.R. (1999). Boundary mixing and
874 nutrient fluxes in Mono Lake, California. *Limnol. Oceanogr.*, 44(3), 512–529.
875 <https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.3.0512>

876 Martyanov, S.D., Ryabchenko, V.A. (2013). Simulation of the resuspension and
877 transport of bottom sediments in the Neva bay using a 3D circulation model. *Fundamental and*
878 *Applied Hydrophysics*, 6(4), 32-43. (In Russian)

879 Nazarova, L.E. (2015). Current state and climate variability in the catchment areas of
880 Lake Onega and Vygozero Reservoir. In: N.N. Filatov, ed., *The Largest Lakes - reservoirs of*
881 *the North-West of European Russia: current state and changes in ecosystems under climatic*
882 *and anthropogenic impacts*. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy
883 of Sciences, 10-19. (In Russian)

884 Noges, P., Tuvikene, L., Noges, T., Kisand, A. (1999). Primary production,
885 sedimentation and resuspension in large shallow lake Vortsjarv. *Aquatic Sci. Res. Across*
886 *Boundaries*, 61(2), 168–182. <https://doi.org/10.1007/PL00001323>

887 North, R.P., North, R.L., Livingstone, D.M., Köster, O., Kipfer, R. (2014). Long-term
888 changes in hypoxia and soluble reactive phosphorus in the hypolimnion of a large temperate
889 lake: Consequences of a climate regime shift. *Glob. Change Biol.*, 20, 811–823.
890 <https://doi.org/10.1111/gcb.12371>.

891 Potakhin, M.S. (2013). Lake morphology of glacial accumulative heights of Karelia. In:
892 *Geography: Innovations in Science and Education. International scientific and practical*
893 *conference LXVI Herzen Readings*, St. Petersburg: Asterion, 193-196. (In Russian)

894 Rakhuba, A.V., Shmakova, M.V. (2020). Modeling of water turbidity distribution in the
895 Kujbyshev reservoir. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria 5, Geografia*, 4, 51-57. (In
896 Russian)

897 Savenko, A.V., Savenko, V.S., Pokrovsky, O.S. (2020). New data on the concentrations
898 of dissolved trace elements in waters of Russian Arctic rivers. *Doklady Earth Sciences*, 491,
899 257-263. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1028334X20040169>

900 Schwefel, R., MacIntyre, S., Cortés, A., Sadro, S. (2023). Oxygen depletion and
901 sediment respiration in ice-covered arctic lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 68(7), 1470-1489.
902 <https://doi.org/10.1002/lno.12357>

903 Shelekhova, T. S., Subetto, D. A., Tikhonova, Yu. S., Potakhin, M. S. (2015). Diatoms
904 of modern sediments of Zaonezhye lakes: paleoecological and paleoclimatic reconstructions.
905 *Society. Environment. Development*, 2 (35), 151-160. (In Russian)

906 Slukovskii, Z., Dauvalter, V. (2020). Features of Pb, Sb, Cd accumulation in sediments
907 of small lakes in the South of the Republic of Karelia. *Transactions of the Karelian Research*

908 *Centre of the Russian Academy of Sciences*, (4), 75-94. <https://doi.org/10.17076/lim1198>. (In
909 Russian)

910 Slukovsky, Z.I., Medvedev, A.S. (2015). Vertical distribution of microelements in small
911 lake sediments into urbanized environment. *Water: chemistry and ecology*, 3(81), 77-82. (In
912 Russian)

913 Smirnov, S. I., Zdorovenov, R. E., Efremova, T. V., Palshin, N. I., Smirnovsky, A. A.,
914 Bogdanov, S. R., Terzhevnik, A. Yu., Zdorovenova, G. E. (2024) Parameters of Water Column
915 Stability in a Small Polymictic Lake in Years of Different Weather Conditions. *Water*
916 *Resources*, 51(3), pp. 299–313. <https://doi.org/10.1134/S0097807824700817>

917 Sokolov, D.I., Kremenetskaya, E.R., Lomova, D.V., Arakelyants, A.D., Filippova, P.S.
918 (2011). Specific features of turbidity regime in a valley reservoir under low water level, *Vestnik*
919 *Moskovskogo Universiteta. Seria 5, Geografia*, 3, 27-32. (In Russian)

920 Standartinform (2018). *GOST 25100-2011. SOILS. Classification*. Moscow. (In
921 Russian)

922 Starovoytov, A., Tokarev, M., Marchenko, A., Subetto, D., Rybalko, A., Aleshin, M.
923 (2016). GPR potential when investigating quaternary deposits in lakes of Karelia. *Transactions*
924 *of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, (5), 62–75.
925 <https://doi.org/10.17076/lim268>. (In Russian)

926 Strakhov, N.M. (1960a). *Fundamentals of the Theory of Lithogenesis*. Vol. 1. Types of
927 Lithogenesis and Their Distribution on the Earth's Surface. Moscow: Publishing House of the
928 USSR Academy of Sciences, 231. (In Russian)

929 Strakhov, N.M. (1960b). *Fundamentals of the Theory of Lithogenesis*. Vol. 2.
930 Regularities of the Composition and Placement of Humid Deposits. Moscow: Publishing House
931 of the USSR Academy of Sciences, 586. (In Russian)

932 Strakhovenko, V.D.; Belkina, N.A.; Efremenko, N.A.; Potakhin, M.S.; Subetto, D.A.;
933 Frolova, L.A.; Nigamatzyanova, G.R.; Ludikova, A.V.; Ovdina, E.A. (2022). The First Data on
934 the Mineralogy and Geochemistry of the Suspension of Lake Onego. *Russian Geology*
935 *Geophysics*, 63 (1), 55–71. <https://doi.org/10.2113/RGG20204280>

936 Subetto, D.A. (2009). *Bottom sediments of lakes: paleolimnological reconstructions*. St.
937 Petersburg: Publishing house of the Herzen State Pedagogical University, 339. (In Russian)

938 Subetto, D.A., Belkina, N.A., Strakhovenko, V.D., Rybalko, A.E., Zobkov, M.B.,
939 Potakhin, M.S., Kulik, N.V., Efremenko, N.A., Lavrova, N.B., Ryazantsev, P.A., Tarasov,
940 A.Yu., Filimonova, L.V., Shelekhova, T.S., Shvarev, S.V., Aleshin, M.I., Belyaev, P.Yu.,

941 Borodulina, G.S., Zdorovenнова, G.E., Zdorovenнов, R.E., Ibragimova, A.G., Karpechko,
942 Yu.V., Korost, S. R., Korost, D.V., Kuznetsov, V.Yu., Kukharev, V.I., Levichev, M.A., Malov,
943 V.I., Nikonov, A.A., Ovdina, E.A., Orlov, A.V., Ryabinkin, A.V., Slabunov, A.I., Tokarev, M.
944 .Yu., Frolova, L.A., Gatalskaya, E.V., Kravchenko, I.Yu., Hang, T. (2022). Paleolimnology of
945 lake Onego: from the Onego Ice Lake to the Present State. Petrozavodsk: Karelian Research
946 Center of the Russian Academy of Sciences, 331. <https://doi.org/10.17076/m-onegopaleo23> (In
947 Russian)

948 *Surface Water Resources of the USSR. Vol. 2. Karelia and the North-West. Part 3.*
949 *Hydrographic Descriptions of Rivers and Lakes.* (1972). Leningrad: Gidrometeoizdat, 553. (In
950 Russian)

951 Terzhevnik, A. Y., Pal'shin, N. I., Golosov, S. D., Zdorovenнов, R. E., Zdorovenнова,
952 G. E., Mitrokhov, A. V., Potakhin, M.S., Shipunova, E.A., Zverev, I. S. (2010). Hydrophysical
953 aspects of oxygen regime formation in a shallow ice-covered lake. *Water Resources*, 37, 662-
954 673. <https://doi.org/10.1134/S0097807810050064>

955 Titova, K., Kokryatskaya, N., Zhibareva, T., Zhaharova, E. (2019). Features of sulfate
956 reduction and accumulation of reduced sulfur compounds in freshwater shallow lake
957 Nazarovskoe (Arkhangelsk region). *Principles of the Ecology*, 4(34), 69-80.
958 <https://doi.org/10.15393/j1.art.2019.8722>. (In Russian)

959 Vinogradov, A. P. (1962). Average content of chemical elements in rocks.
960 *Geochemistry*, (7), 555-571. (In Russian)

961 Wedepohl, K.H. (1995). The composition of the continental crust. *Geochimica et*
962 *cosmochimica Acta.*, 59(7), 1217-1232.

963 Woolway, R.I., Merchant, C.J. (2019). Worldwide alteration of lake mixing regimes in
964 response to climate change. *Nature Geoscience*, 12 (4), 271-276.
965 <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0322-x> .

966 Woolway, R.I., Sharma, S., Weyhenmeyer, G.A., Debolskiy, A., Golub, M., Mercado-
967 Bettin, D., Perroud, M., Stepanenko, V., Tan, Z., Grant, L., Ladwig, R., Mesman, J., Moore,
968 T.N., Shatwell, T., Vanderkelen, I., Austin, J.A., DeGasperi, C.L., Dokulil, M., La Fuente, S.,
969 Mackay, E.B., Schladow, S.G., Watanabe, S., Marcé, R., Pierson, D.C., Thiery, W., Jennings,
970 E. (2021). Phenological shifts in lake stratification under climate change. *Nature Comm.*, 12,
971 2318. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22657-4>.

972 Zdorovenнова, G., Zdorovenнов, R., Palshin, N., Bogdanov, S., Smirnov, S., Nikulina,
973 A., Efremova ,T. (2023). Hydrophysical factors affecting the distribution of chlorophyll "a" in

974 a small lake. *E3S Web of Conference*, 420, 09006, P. 21-30.
 975 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342004006>

976 Таблица 1. Отклонения температуры воздуха (°C) по метеостанции Петрозаводск
 977 в 2017-2023 гг. от климатической нормы 1961-1990 гг. розовый – теплее нормы на 1
 978 градус и более, голубой – холоднее нормы, зеленый – близко к норме.

Год	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.
2017	4.1	2.3	3.4	-1.3	-3.4	-1.8	-0.6	1.9	1.0	-0.1	2.3	5.7
2018	6.0	-1.3	-3.8	1.6	4.1	0.0	2.5	2.9	2.6	1.5	2.8	1.2
2019	2.5	5.9	2.7	2.5	0.7	3.0	-2.6	-0.6	0.8	-0.5	1.3	6.4
2020	9.4	7.1	4.3	0.0	-1.1	2.6	0.1	0.6	2.5	2.6	4.0	3.8
2021	2.3	-4.6	0.8	1.8	1.1	5.7	3.9	0.7	-1.1	2.6	1.9	-2.3
2022	3.3	5.3	2.1	0.2	-1.1	1.8	2.7	4.3	-0.6	2.0	0.6	2.2
2023	6.4	3.9	1.7	1.8	2.2	0.3	-0.6	2.7	5.2	-1.2	-1.0	-0.9

979 Таблица 2. Сумма осадков (мм) по метеостанции Петрозаводск в 1961-1990 и
 980 2017-2023 гг.

Год	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.
1961-1990	30.4	22.7	31.1	34.6	40.4	59.3	69.8	85.1	69.8	55.7	45.5	40.3
2017	29	26	21.7	58.2	41.1	68.1	74.7	62.6	138.4	45.1	36.8	60.2
2018	32.3	27.6	41	67.3	17.2	36.6	57.7	106.3	49.9	42.3	20	13.8
2019	54.8	51.5	40.8	10.9	54	29	131.8	47.1	42.4	91.9	29.8	84.7
2020	26.1	41.9	23.2	35.4	24.2	39.6	59	56.8	68.7	53.4	26.1	44.3
2021	52.9	49.9	22.5	37.9	60.4	69.5	33.6	186.8	44.6	64.7	58.6	62.5
2022	21.6	43.5	18.7	18.7	86.3	71.3	99.8	100.2	120.6	38.6	24.5	44.1
2023	35.3	14.3	46.6	20.5	20.6	38.5	150.8	69.7	76.4			

981 Таблица 3. Ионный состав, минерализация (мг/л) и pH воды.

Ca ²⁺ мг/л	Mg ²⁺ мг/л	Na ⁺ мг/л	K ⁺ мг/л	SO ₄ ²⁻ мг/л	Cl ⁻ мг/л	Alk, мгHCO ₃ ⁻ /л	∑ _и	æ, мСм/см	pH
$\frac{1,8 - 2,4}{2,0}$ *	$\frac{0,6 - 0,7}{0,7}$	$\frac{1,3 - 1,7}{1,5}$	$\frac{0,5 - 0,7}{0,6}$	$\frac{0,7 - 1,6}{1,1}$	$\frac{0,6 - 1,1}{0,8}$	$\frac{8,05 - 10,70}{9,30}$	$\frac{14 - 18}{16}$	$\frac{21,8 - 30,1}{24,5}$	$\frac{6,3 - 7,2}{6,8}$

982 * Здесь и далее над чертой – пределы колебаний, под чертой – среднее значение

983 Таблица 4. Показатели органического вещества в воде оз. Вендюрское

Сезон	Горизонт	БПК ₅ , мгО ₂ /л	Цветность, Град.Рт	ХПК, мгО/л	ПО, мгО/л	Сорг, мг/л
Зима	поверхностный	$\frac{0,40 - 0,71}{0,60}$	$\frac{28 - 40}{35}$	$\frac{18,8 - 19,8}{19,3}$	$\frac{6,6 - 7,4}{7,0}$	$\frac{6,9 - 7,4}{7,1}$
	придонный	$\frac{0,60 - 0,69}{0,65}$	$\frac{33 - 54}{44}$	$\frac{18,0 - 22,9}{20,0}$	$\frac{6,6 - 7,0}{7,7}$	$\frac{6,8 - 7,9}{7,3}$
Весна	поверхностный	$\frac{1,13 - 1,39}{1,23}$	$\frac{30 - 50}{42}$	$\frac{20,0 - 22,6}{20,9}$	$\frac{7,5 - 7,9}{7,7}$	Не опр.
	придонный	$\frac{1,07 - 1,23}{1,14}$	$\frac{30 - 53}{45}$	$\frac{18,0 - 20,6}{19,7}$	$\frac{7,5 - 7,6}{7,6}$	Не опр.
Лето	поверхностный	$\frac{0,84 - 2,02}{1,47}$	$\frac{33 - 81}{47}$	$\frac{17,8 - 22,3}{19,9}$	$\frac{6,2 - 7,5}{6,7}$	$\frac{6,2 - 7,5}{6,7}$
	придонный	$\frac{0,50 - 2,21}{1,33}$	$\frac{32 - 45}{40}$	$\frac{18,2 - 21,4}{20,2}$	$\frac{6,8 - 8,9}{7,5}$	$\frac{6,2 - 7,8}{6,8}$
Осень	поверхностный	$\frac{1,26 - 2,16}{1,54}$	$\frac{27 - 33}{29}$	$\frac{18,3 - 22,2}{20,4}$	$\frac{6,8 - 7,4}{7,1}$	6,41
	придонный	$\frac{1,17 - 1,52}{1,36}$	$\frac{27 - 33}{29}$	$\frac{18,8 - 20,8}{19,6}$	$\frac{6,8 - 7,4}{7,1}$	6,65

984

Таблица 5. Газовый режим оз. Вендорское

Сезон	Горизонт	О ₂ , мг/л	О ₂ , %	СО ₂ , мг/л
Зима	поверхностный	$\frac{11,2 - 12,4}{11,8}$	$\frac{79 - 85}{81}$	$\frac{2,75 - 3,52}{3,20}$
	придонный	$\frac{4,1 - 8,8}{6,4}$	$\frac{31 - 64}{47}$	$\frac{6,60 - 11,88}{9,92}$
Лето	поверхностный	$\frac{8,3 - 9,6}{8,9}$	$\frac{87 - 99}{90}$	$\frac{1,76 - 2,86}{2,28}$
	придонный	$\frac{5,8 - 7,9}{7,3}$	$\frac{52 - 86}{71}$	$\frac{4,18 - 7,59}{5,54}$
Весна-Осень	поверхностный	$\frac{10,0 - 11,6}{10,7}$	$\frac{85 - 93}{90}$	$\frac{2,42 - 2,75}{2,50}$
	придонный	$\frac{10,0 - 11,5}{10,7}$	$\frac{85 - 90}{89}$	$\frac{2,42 - 2,64}{2,56}$

985

Таблица 6. Биогенные элементы в озере Вендорское

Сезон	горизонт	Р _{мин}	Р _{общ}	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N _{орг}	N _{общ}
		мкгР/л		мкгN/л			
Зима	поверхностный	$\frac{4 - 7}{6}$	$\frac{8 - 20}{15}$	$\frac{32 - 82}{55}$	$\frac{48 - 144}{95}$	$\frac{180 - 470}{290}$	$\frac{270 - 580}{420}$

	придонный	$\frac{7-16}{9}$	$\frac{15-28}{20}$	$\frac{23-91}{50}$	$\frac{32-183}{90}$	$\frac{120-320}{250}$	$\frac{200-550}{390}$
Весна	поверхностный	$\frac{3-4}{4}$	$\frac{19-22}{20}$	$\frac{55-111}{76}$	$\frac{32-37}{35}$	$\frac{220-380}{280}$	$\frac{320-410}{350}$
	придонный	$\frac{3-4}{4}$	$\frac{19-24}{20}$	$\frac{70-99}{85}$	$\frac{20-41}{32}$	$\frac{220-270}{250}$	$\frac{370-390}{380}$
Лето	поверхностный	$\frac{1-3}{2}$	$\frac{21-29}{25}$	$\frac{23-90}{47}$	$\frac{<5-8}{<5}$	$\frac{290-430}{350}$	$\frac{330-510}{410}$
	придонный	$\frac{2-13}{7}$	$\frac{25-36}{31}$	$\frac{54-114}{80}$	$\frac{5-46}{20}$	$\frac{230-460}{320}$	$\frac{320-570}{420}$
Осень	поверхностный	$\frac{1-5}{3}$	$\frac{25-31}{27}$	$\frac{64-139}{90}$	$\frac{<5-5}{<5}$	$\frac{160-320}{280}$	$\frac{300-440}{370}$
	придонный	$\frac{3-4}{4}$	$\frac{23-27}{25}$	$\frac{60-148}{99}$	$\frac{<5-8}{<5}$	$\frac{150-260}{220}$	$\frac{310-370}{330}$

986

Таблица 7. Литофильные элементы в озере Вендюрское, мг/л

Сезон	Горизонт	Fe	Mn	Si
Зима	поверхностный	$\frac{0,11-0,24}{0,19}$	$\frac{0,010-0,015}{0,010}$	$\frac{0,45-1,93}{1,0}$
	придонный	$\frac{0,19-0,57}{0,39}$	$\frac{0,029-0,292}{0,131}$	$\frac{1,3-2,91}{2,15}$
Весна	поверхностный	$\frac{0,37-0,42}{0,40}$	$\frac{0,054-0,084}{0,071}$	$\frac{0,83-1,62}{1,30}$
	придонный	$\frac{0,40-0,47}{0,43}$	$\frac{0,083-0,091}{0,087}$	$\frac{1,04-1,64}{1,33}$
Лето	поверхностный	$\frac{0,32-0,38}{0,34}$	$\frac{0,027-0,117}{0,070}$	$\frac{1,13-1,90}{1,56}$
	придонный	$\frac{0,35-0,62}{0,46}$	$\frac{0,077-0,168}{0,132}$	$\frac{1,06-2,64}{1,86}$
Осень	поверхностный	$\frac{0,09-0,27}{0,22}$	$\frac{0,071-0,090}{0,082}$	0,43
	придонный	$\frac{0,26-0,28}{0,26}$	$\frac{0,088-0,105}{0,098}$	0,45

987

Таблица 8. Химический состав взвешенного вещества из седиментационных

988

ловушек в сравнении с химическим составом донных отложений (слой 0-5 см) на ст. 1.

Год	Пор	d	Wet ₂₀	Wet ₁₀₅	C _{орг}	ППП	N _{НН4}	N _{орг}	Fe	Mn	Зольность	P _{мин}	P _{общ}
		г/мл											
2023	0,98	1,05	94,89	8,82	13,6	33,85	0,08	1,08	7,3	0,80	62,42	0,20	0,28
2022	0,99	1,08	94,28	6,9	14,2	33,8	0,08	1,23	7,4	0,70	64,03	0,23	0,30
2021	0,99	1,07	93,29	9,16	13,8	31,60	0,11	1,08	7,2	1,07	63,98	0,32	0,44
2020	0,99	1,05	94,67	8,81	14,5	33,50	0,18	1,10	9,7	0,93	63,10	0,31	0,35

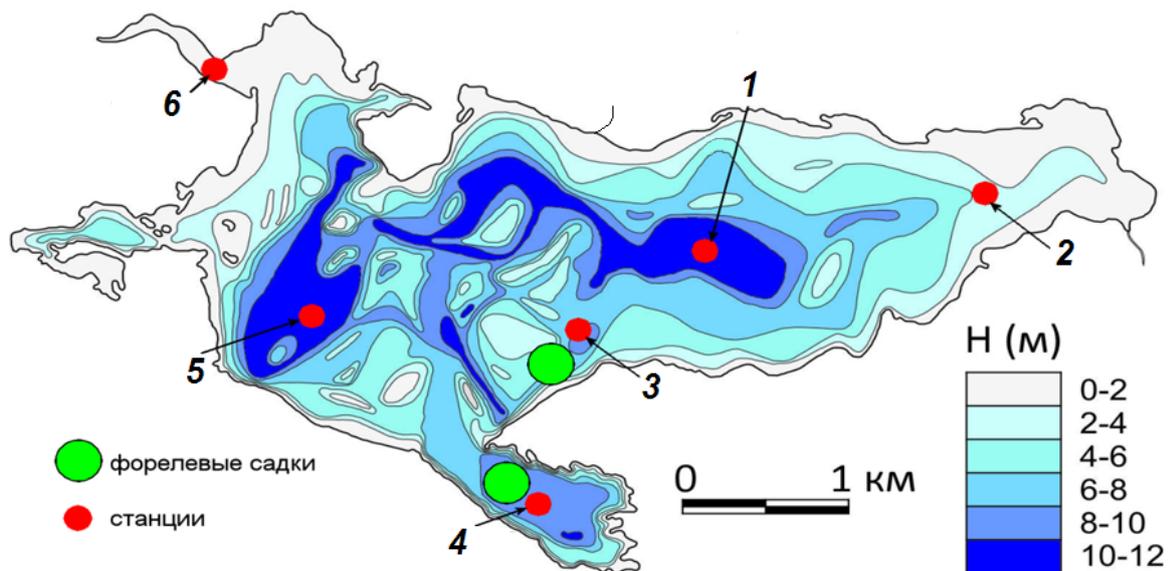
2019	0,96	1,04	92,10	9,71	13,8	33,71	0,11	1,30	8,4	0,37	62,54	0,16	0,31
2018	0,96	1,04	97,25	13,38	18,0	43,44	0,10	1,74	8,4	1,28	54,95	0,14	0,30
ДО	0,84	1,11	84,10	5,41	12,9	29,60	0,08	0,84	5,4	0,08	68,20	0,03	0,11

989 Таблица 9. Удерживающая способность оз. Вендюрское к различным элементам,
990 их ассимиляция в озере и кинетические параметры трансформации

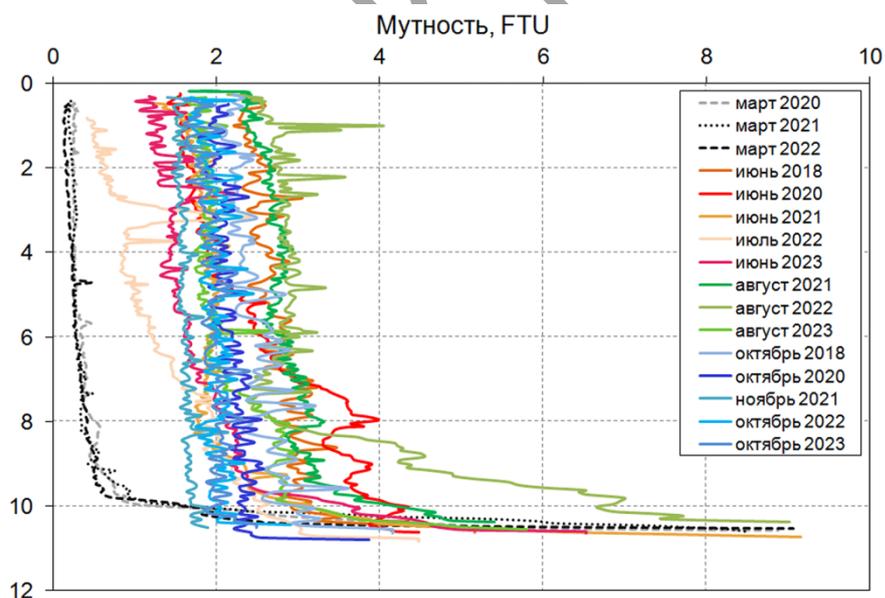
Параметры	Fe _{общ}	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd
Созеро, мкг/дм ³	87,50	13,50	0,65	3,90	0,40	0,02
Сток, мкг/дм ³	558,80	20,73	0,73	6,53	0,49	0,04
R	0,84	0,35	0,11	0,40	0,19	0,49
k, год ⁻¹	0,81	0,20	0,05	0,24	0,09	0,32
τ _{1/2} , год	0,86	3,52	13,36	2,91	7,52	2,19
μ, мкг/л в год	452,32	4,08	0,04	1,55	0,05	0,01
As _{оз} , т/год	4,31	0,16	0,002	0,06	0,002	0,00039
As _{сток} , т/год	2,14	0,08	0,001	0,03	0,001	0,00019
As _{общая} , т/год	6,45	0,24	0,003	0,08	0,003	0,00058

991 Таблица 10. Органический углерод и микроэлементный состав взвешенного
992 вещества из седиментационных ловушек (I) (экспозиция с 13.06.2017 по 5.06.2018) и
993 донных отложений ст. 1 (II) (2023 г).

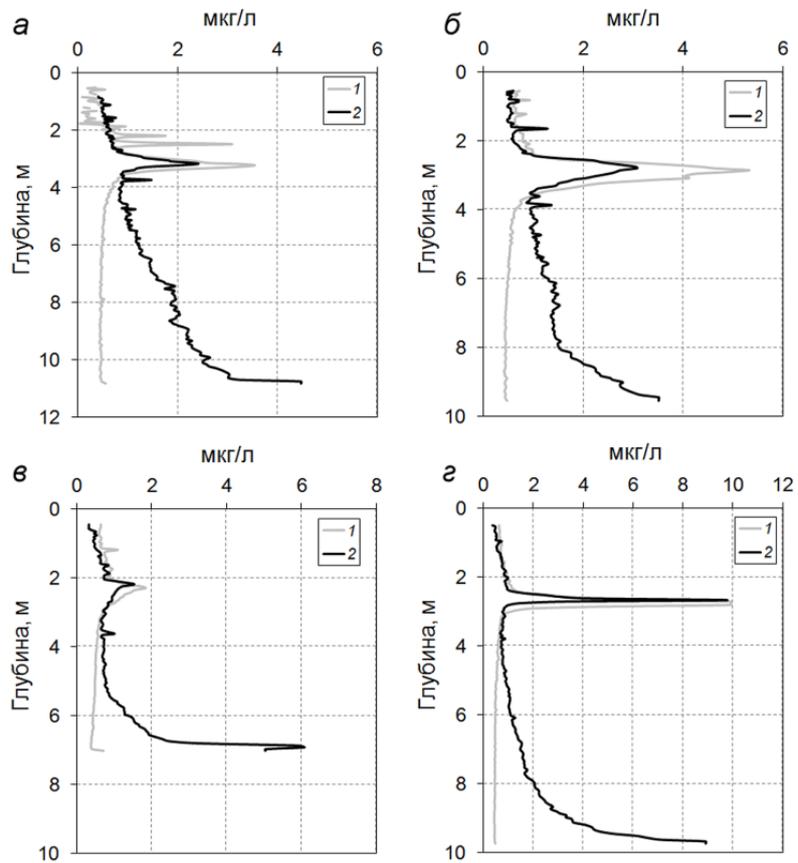
Глубина	мг/г		мкг/г											C _{орг}	
	Na	K	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb		
I	2 м от дна	4.3	2.9	31.1	22.2	31.9	3.3	11.5	29.3	157.5	9.9	36.3	1.6	74.8	18.1
	1 м от дна	4.2	2.8	32.5	15.9	23.4	2.5	6.9	26.6	143.9	10.8	29.1	1.0	63.7	18.0
II	Слой 2–3 см	4.3	3.2	34.2	36.6	38.3	11.7	28.8	38.8	117.0	43.7	25.5	0.0	29.2	15.1
	Слой 3–4 см	4.3	2.8	33.8	14.2	24.1	3.3	12.9	73.9	117.0	3.5	30.0	0.4	24.2	15.3
	Слой 4–5 см	4.3	2.7	32.1	11.9	31.9	4.4	6.4	27.6	48.6	3.7	28.2	0.0	23.9	14.8
	Слой 7–8 см	4.3	3.0	33.6	27.0	32.6	5.3	20.5	59.4	91.2	5.5	28.2	1.0	26.4	10.5



994
 995 Рис. 1. Распределение глубин в оз. Вендюрском (Ресурсы..., 1972; карта
 996 дополнена по материалам эхолокационной съемки). Схема станций наблюдений:
 997 гидрофизические измерения в 2018 – 2023 гг. на ст. 1- 6, отбор проб воды на ст. 1 и 3,
 998 отбор донных отложений на ст. 1, установка седиментационных ловушек на ст. 1.



999
 1000 Рис. 2. Распределение мутности воды (FTU) на ст. 1 в разные сезоны 2018 и 2020-
 1001 2023 гг.



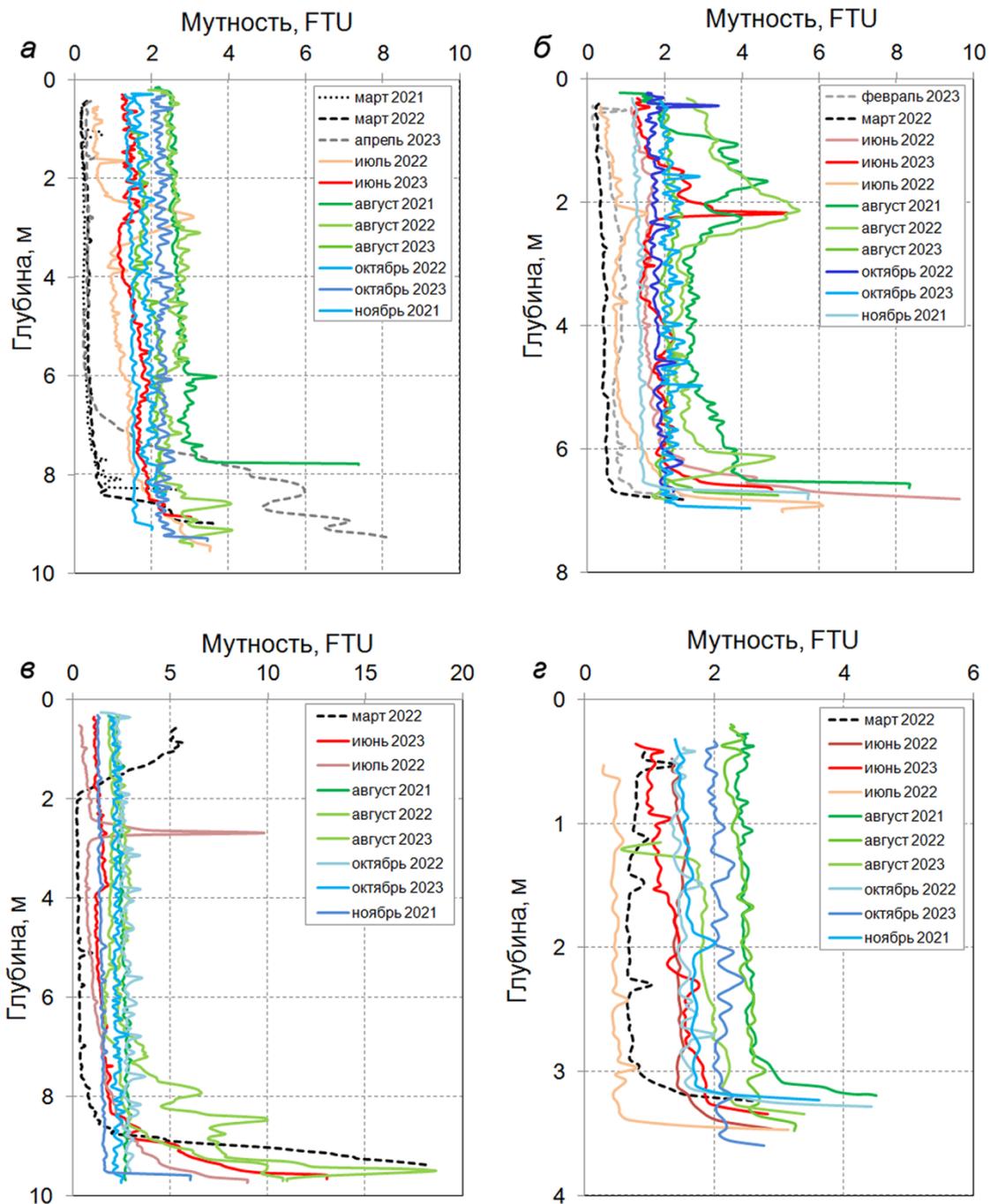
1002

1003

1004

1005

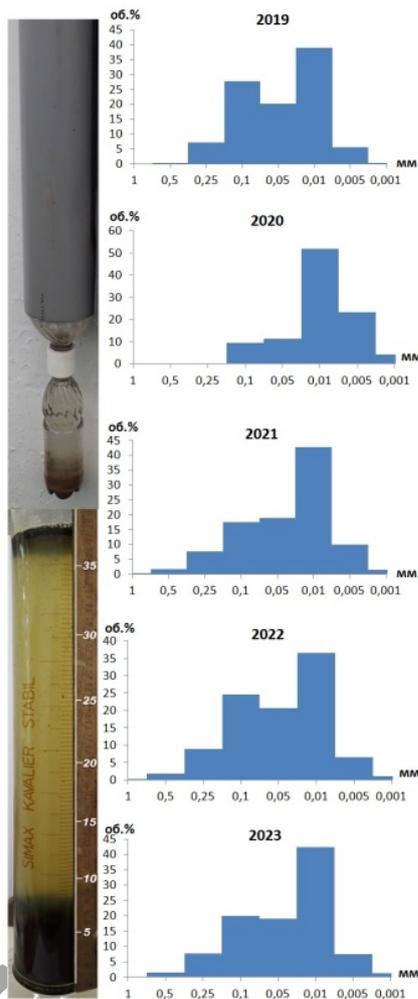
Рис. 3. Распределение мутности (1) и концентрации хлорофилла «а» (2) по водному столбу 5 июля 2023 г. на станциях: а – 1, б – 3, в – 5, г – 4 в оз. Вендорское.



1006

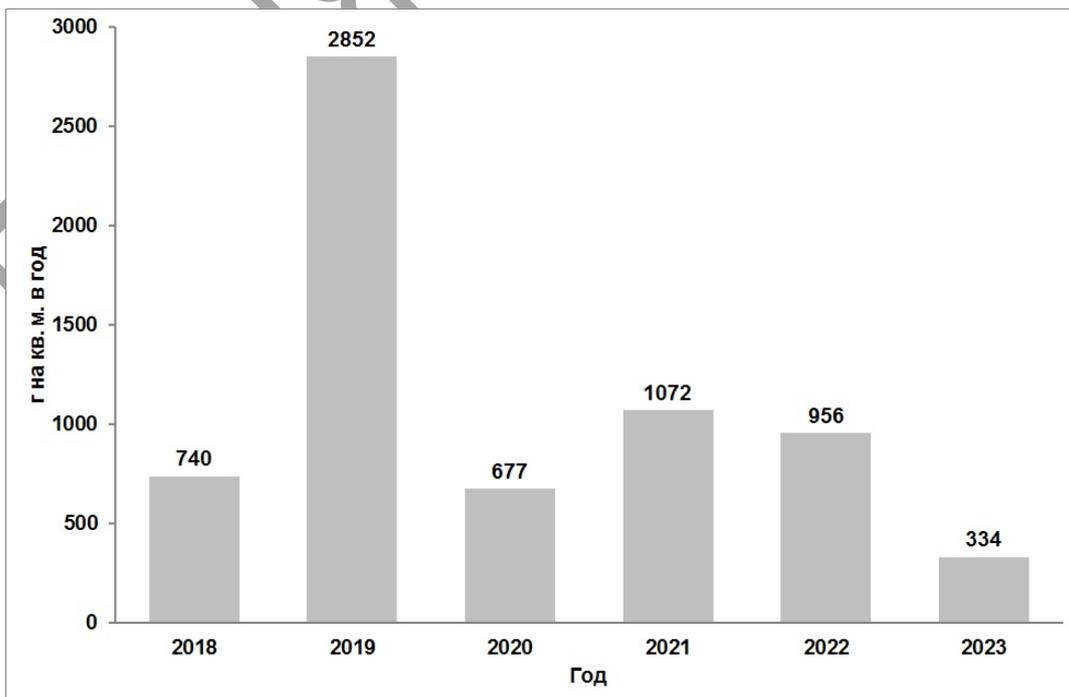
1007

Рис. 4. Распределение мутности воды (FTU): **а** – ст. 3; **б** – ст. 4; **в** – ст. 5; **г** – ст. 2.



1008
1009
1010

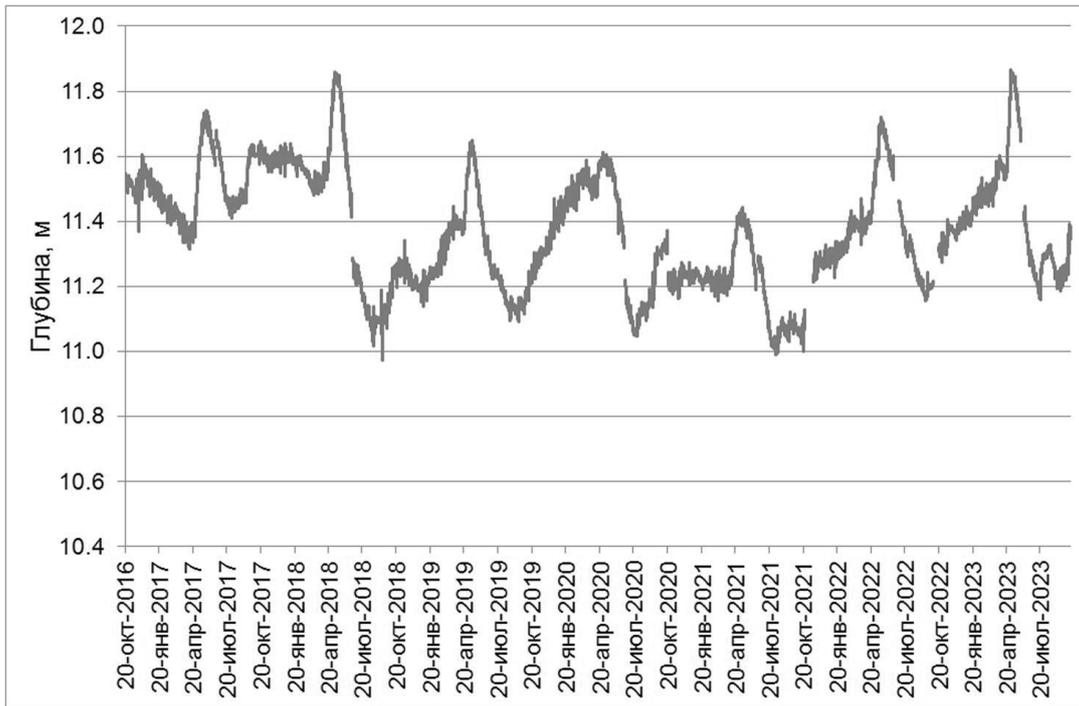
Рис. 5. Гранулометрический состав взвешенного вещества седиментационных ловушек и фото ловушек.



1011

1012

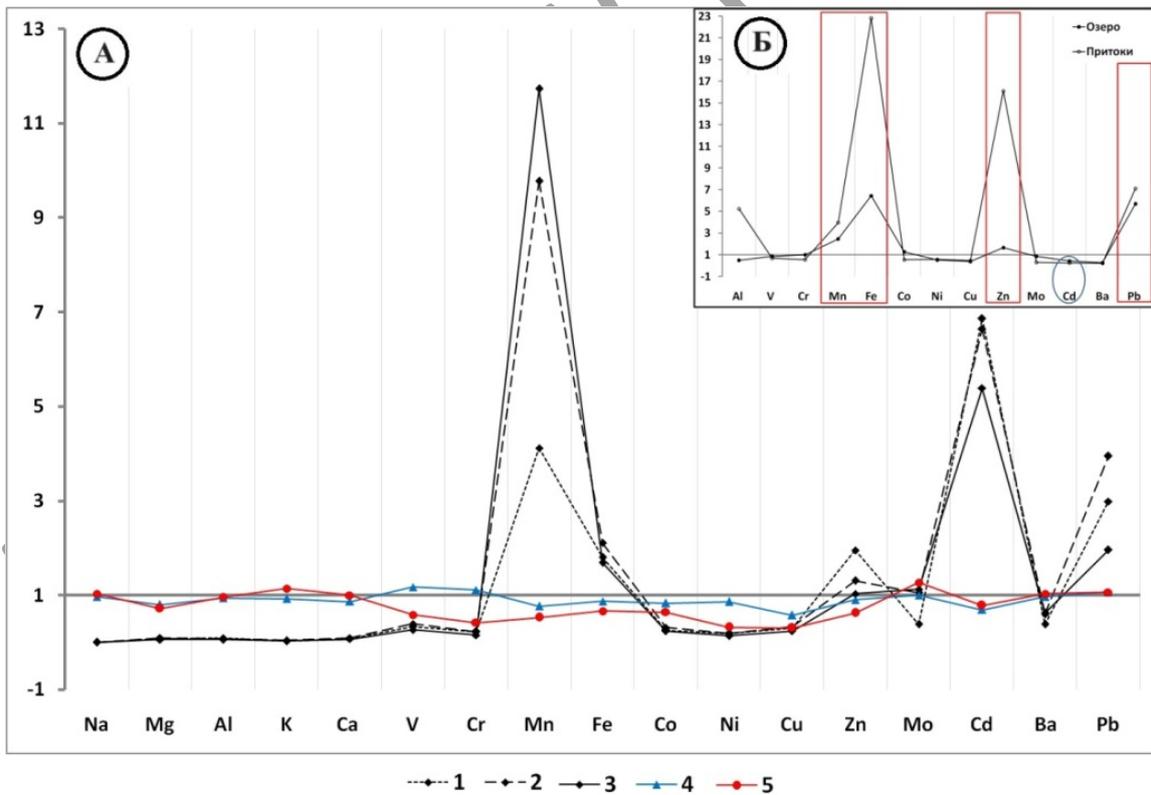
Рис. 6. Поступление взвешенного вещества в донные отложения оз. Вендюрское



1013

1014

Рис. 7. Уровень воды в оз. Вендюрское в 2016–2023 гг.



1015

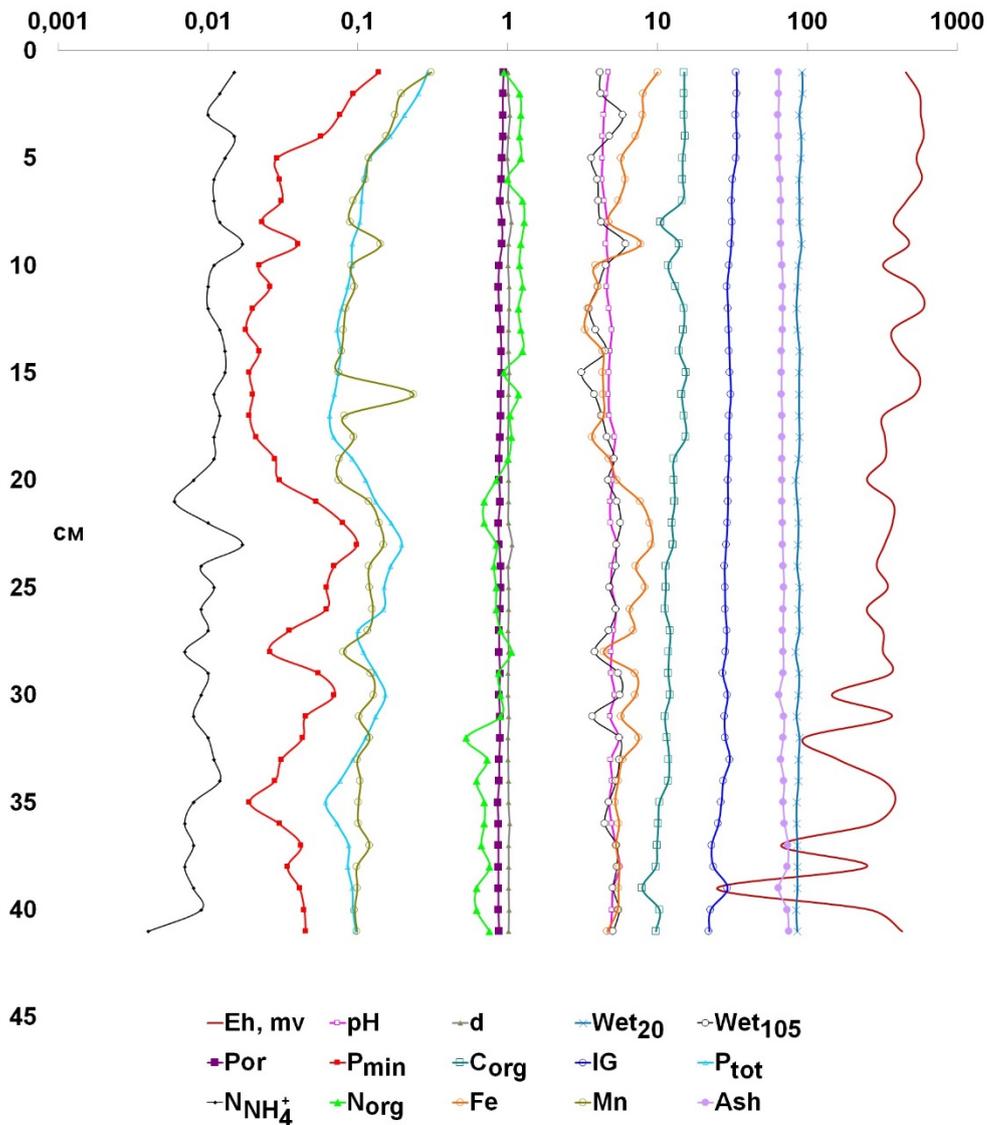
1016

1017

1018

Рис. 8. А – Содержание металлов в осадках из СЛ оз. Вендюрского и среднее содержание в земной коре из разных литературных источников, нормированные на кларковые значения (Виноградов, 1962): 1 – 2019 г., 2 – 2020 г., 3- 2021 г., 4 – (Касимов

1019 и Власов, 2015), 5 – (Wedepohl, 1995); Б – Содержание металлов в воде озера
 1020 Вендюрского и его притоков по отношению к рекам мира (Savenko et al., 2020).



1021
 1022 Рис. 9. Химический состав донных отложений ст. 1: Eh (мВ), рН, d (плотность,
 1023 г/см³), Wet₂₀ (естественная влажность, %), Wet₁₀₅ (абсолютная влажность, %), Por
 1024 (пористость), P_{min} (фосфор лабильный, %), C_{org} (органический углерод, %), IG (потери
 1025 при прокаливании при 550°C, %), P_{tot} (фосфор общий, %), N_{NH₄⁺} (азот аммонийный, %),
 1026 N_{org} (азот органический, %), Fe (%), Mn (%), зольность (Ash, %).

1027 **Accumulation of sedimentary matter at the present stage of lymnogenesis development in**
1028 **the territory of the southeastern part of the Fennoscandian crystal shield using the**
1029 **example of Lake Vendyurskoye²**

1030 Belkina Natalia Alexandrovna¹, Zdorovennova Galina Eduardovna¹, Efremenko Natalia
1031 Anatolyevna¹, Vyborova (Kulik) Natalia Vladimirovna¹, Potakhin Maxim Sergeevich^{1,2},
1032 Bogdanova Maria Sergeevna¹, Gatalskaya Ekaterina Vladimirovna¹, Zdorovennov Roman
1033 Eduardovich¹, Ryabinkin Alexander Vladimirovich¹, Kukharev Vyacheslav Ivanovich¹,
1034 Myasnikova Nadezhda Alexandrovna¹, Subetto Dmitry Alexandrovich²

1035 ¹ Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy
1036 of Sciences (NWPI KarRC RAS), Russia, Republic of Karelia, Petrozavodsk, Alexander
1037 Nevsky pr., 50, 185030

1038 ² Herzen University, Russia, St. Petersburg, Moika Embankment, 48, 191186

1039 Belkina N. A.: bel110863@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9928-022X>

1040 Zdorovennova G.E.: zdorovennova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2726-0104>

1041 Efremenko N.A.: efremna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2584-8708>

1042 Vyborova (Kulik) N.V.: nadiet11@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9260-2436>

1043 Potakhin M. S.: mpotakhin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2630-2176>

1044 Bogdanova M.S.: mari-mb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7568-3799>

1045 Gatalskaya E.V.: katusha9210@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2985-1565>

1046 Zdorovennov R.E.: romga74@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1695-4872>

1047 Ryabinkin A.V.: sorbus08@mail.ru

1048 Kukharev V.I.: vi9114231104@yandex.ru

1049 Myasnikova N.A.: gold_dream@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3594-3805>

1050 Subetto D.A.: subetto@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3585-8598>

1051 **Abstract**

1052 The article is devoted to the study of modern processes of sedimentary matter accumulation in
1053 the lake Vendyurskoye. The lake was formed during the period of deglaciation of southeastern
1054 part of the Fennoscandian Shield, and now it performs in typical landscape conditions of the
1055 northern taiga of the humid zone. New knowledge about modern sedimentogenesis was

² The work was carried out within the framework of the state assignment to the Northern Water Problems Institute KarRC RAS # FMEN-2021-0006, lithological studies of bottom sediments - within RSF project #23-17-00206.

1056 obtained on the basis of comprehensive studies of the lake in different seasons 2018-2023. The
1057 assessment of the landscape structure of the lake's catchment area was carried out, the
1058 morphology of lake basin was studied, observations of the distribution of suspended matter in
1059 the water column were carried out, suspensions entering the bottom were collected using
1060 sedimentation traps. The thermohydrodynamic features of the lake were revealed, and the
1061 influence of depth, wind and convective mixing and temperature of water and algae developer
1062 on the accumulation suspensions in the lake basin in different seasons was estimated. The issues
1063 of transformation of suspended solids during deposition in water and early diagenetic
1064 transformations in bottom sediments are discussed. The variable nature of modern
1065 sedimentation processes in the lake is shown depending on the synoptic situation. The rates of
1066 sedimentary matter entering the bottom are estimated. The quantitative and qualitative
1067 characteristics of the chemical composition of water, suspended solid, and bottom sediments
1068 have been studied and their geochemical features determined by both natural and anthropogenic
1069 factors have been identified. It is shown that the chemical composition of the material currently
1070 entering the bottom sediments differs from the composition of bottom sediments in the content
1071 of organic matter, biogenic elements and microcomponents (Pb, Cd, Zn).

1072 **Keywords:** sedimentogenesis of the humid type, distribution and rate of accumulation
1073 sedimentary matter, geochemical composition of water, suspended solid and bottom sediments