

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



Особенности голоценового осадконакопления в малых озерах южного Приладожья

*Кузнецов Денис Дмитриевич, Субетто Дмитрий Александрович,
Лудикова Анна Валерьевна*

DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu07.2025.106>

Дата получения рукописи: 13.05.2024

Дата принятия рукописи в печать: 27.12.2024

Для цитирования: Кузнецов Д. Д., Субетто Д. А., Лудикова А. В. (2025) Особенности голоценового осадконакопления в малых озерах южного Приладожья. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 70 (1).

<https://doi.org/10.21638/spbu07.2025.106>

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

3 **Особенности голоценового осадконакопления в малых озерах южного**

4 **Приладожья***

5

6 Кузнецов Денис Дмитриевич¹, Субетто Дмитрий Александрович², Лудикова Анна

7 Валерьевна¹

8

9 ¹Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, улица Севастьянова
10 9, 196105

11 ²Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-
12 Петербург, набережная реки Мойки 48, 191186

13

14 Кузнецов Д.Д.: dd_kuznetsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8864-9936>

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

16 Лудикова А.В.: ellerbeckia@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6022-2455>

17

18 Контактное лицо:

19 Кузнецов Денис Дмитриевич

20 Телефон +7 921 759 47 11

21 Email: dd_kuznetsov@mail.ru

22 Адрес: Санкт-Петербург, улица Севастьянова 9, 196105

23

24 **Аннотация**

25 В работе приводятся данные по строению и составу колонок донных отложений
26 малых озер южного Приладожья (Воляярви, Рыбежское и Никольское) –
27 литостратиграфическое описание разрезов, результаты диатомового анализа и анализа
28 потери при прокаливании. Характер осадконакопления в малых водоемах Приладожья
29 тесно связан с поздне- и послеледниковой историей Ладожского озера, испытывавшего
30 на протяжении всей своей истории значительные изменения уровня. Результаты

* Исследование проведено в рамках государственного задания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН по теме № FFZF-2024-0001 (Д.Д. Кузнецов, А.В. Лудикова). Исследование Д.А. Субетто поддержано РНФ (№24-17-00206).

31 изучения донных отложений малых озер, расположенных вблизи северного и северо-
32 западного побережья Ладожского озера, позволили выявить следующие
33 принципиальные особенности голоценового осадконакопления. Накопление
34 преимущественно минеральных осадков в озерных котловинах Приладожья
35 происходит, начиная с последней дегляциации изучаемой территории. В отложениях
36 озер, расположенных на высоких абсолютных отметках, минеральные отложения
37 сменяются органогенными ~ 11000 кал. л.н. В строении отложений озер,
38 расположенных ниже отметок 15-20 м над у.м. между минеральными и органогенными
39 отложениями часто наблюдается переходный слоистый горизонт, а возраст начала
40 формирования гиттии в этих озерах зависит от времени изоляции их котловин от
41 Ладожского озера. Помимо резкого увеличения содержания органического вещества,
42 также в них отмечается смена состава диатомовых комплексов, в которых начинают
43 преобладать виды, типичные для малых озер. Однако данная схема не вполне
44 применима к южной части Приладожья – в отложениях изученных озер,
45 расположенных на высоте 13-16 м над у.м., не отмечен позднеголоценовый переход от
46 условий крупного бассейна к условиям малого водоема, лито- и биостратиграфических
47 признаков проникновения вод Ладожского озера в ходе его суббореальной
48 трансгрессии в котловины исследованных озер не выявлено.

49
50 **Ключевые слова:** Ладожское озеро, голоцен, ладожская трансгрессия, донные
51 отложения, динамика органического вещества, диатомовый анализ, малые озера,
52 южное Приладожье, озеро Воляярви, Никольское озеро, Рыбежское озеро

53 54 1. Введение

55 На развитие территории Северо-запада Европейской России в голоцене
56 существенно влияла трансгрессивно-регрессивная деятельность крупных бассейнов
57 (Балтийское море и его ранние стадии, Ладожское и Онежское озера). Многие
58 современные малые озера Приладожья на некоторых этапах своего развития являлись
59 частью Ладожского озера или его ранних стадий. Изоляция от крупного бассейна и
60 начало самостоятельного развития малого водоема влекли за собой значительную
61 перестройку характера осадконакопления. В ходе изоляции от крупного бассейна в
62 донных отложениях формируются переходные горизонты, изучение и датирование
63 которых позволяет детализировать хронологию перемещения береговой линии
64 крупного бассейна в голоцене. Этот методический подход, получивший название метод

65 изоляционных бассейнов, обычно применяется при изучении перемещения береговой
66 линии морей (Kjemperud, 1986), но подходит и для крупных пресноводных бассейнов
67 (Лудикова и др., 2016). Среди наиболее существенных изменений характера
68 осадконакопления после изоляции от крупного бассейна отмечается значительный рост
69 содержания органического вещества в донных отложениях, связанный с ростом
70 биологической продуктивности экосистемы малого изолированного водоема при
71 значительном сокращении выноса вещества за пределы озерной котловины (напр.,
72 Long et al., 2011).

73 Общая история развития Ладожского озера хорошо разработана (напр.,
74 История..., 1990; Субетто, 2009). Ладожское озеро становится отдельным бассейном
75 после спуска Балтийского ледникового озера (БЛО) около 11600 календарных лет
76 назад (кал. л.н.) (Vjörck, 2008). Его соединение с пра-Балтийскими бассейнами
77 (Анцилово озеро, Иольдиево и Литориново моря) осуществлялось в северной
78 низменной части Карельского перешейка (между современными городами Выборг и
79 Приозерск, рис. 1) (История..., 1990). Это соединение существовало либо в виде канала
80 стока, либо в виде пролива (там же). Около 5900 кал. л.н. произошло образование р.
81 Вуоксы (Saarnisto, 1970), что увеличило приходную часть водного баланса Ладожского
82 озера. Неравномерное гляциоизостатическое поднятие Карельского перешейка, более
83 значительное в его северной части, вело к постепенному снижению объема водного
84 стока, проходившего через северное соединение (История..., 1990; Kuznetsov et al.,
85 2022). Суббореальный подъем уровня воды в Ладожском озере, сопровождался
86 подтоплением низменных прибрежных территорий, особенно в южной части
87 Приладожья, что привело к образованию около 3300 кал. л.н. р. Невы, падению уровня
88 Ладожского озера до современных отметок (5 м над у.м.) и прекращению стока в
89 северной части Карельского перешейка (Saarnisto and Grönlund, 1996). В этой общей
90 схеме остается ряд дискуссионных вопросов, среди которых возраст р. Невы,
91 проникновение в Ладожскую акваторию вод Анцилового озера, пространственные и
92 временные границы ладожской трансгрессии и ряд других палеогеографических
93 проблем.

94 Большая часть изученных разрезов донных отложений малых озер Приладожья
95 сосредоточена в его северной части (Кузнецов и Субетто, 2019). Настоящая статья
96 представляет результаты изучения озер, расположенных в южном Приладожье (рис. 1).
97 Этот регион является ключевым для понимания пределов распространения ладожской
98 трансгрессии, т.к. он в меньшей степени подвергался воздействию голоценового

99 изостатического поднятия, которое значительно проявлено в северном Приладожье и
100 пространственно-временная неравномерность которого сильно затрудняет создание
101 детальной хронологии перемещения береговой линии Ладожского озера в позднем
102 неоплейстоцене и голоцене.

103

104 2. Материалы, методы, объекты исследования

105 Колонки донных отложений в озерах были отобраны в 2003-2008 гг. весной со
106 льда русским торфяным буром. Характеристика исследованных озер и вскрытых
107 отложений представлена в табл. 1. Часть результатов их изучения была опубликована
108 ранее (Кузнецов и Субетто, 2019).

109 Озеро Воляярви находится в 4 км от побережья Ладожского озера в юго-
110 западном Приладожье (рис. 1). Между озером Воляярви и берегом Ладожского озера
111 расположена моренная гряда, протянувшаяся с севера на юг, с абсолютными отметками
112 выше 20 м над у.м. С остальных сторон озеро окружено заболоченной низменностью к
113 северо- и юго-востоку достигающей ладожского побережья.

114 Рыбежское озеро расположено в 27 км к юго-востоку от устья реки Свири, в 2 км
115 к востоку от поселка Усть-Рыбежно на правом берегу реки Паши (рис. 1). Озеро
116 округлой формы и со всех сторон окружено заболоченной низменностью. Средняя
117 глубина составляет около 1 м.

118 Никольское озеро находится в 24 км к юго-востоку от устья реки Свири, в 4 км к
119 северу от Рыбежского озера (рис. 1). Озеро расположено в ложбине между
120 направленными с северо-востока на юго-запад песчаными валами высотой до 25 м над
121 у.м., и имеет такую же ориентацию.

122 Анализ потери массы образца при прокаливании (ППП) (при температуре 550°C
123 в течение 6 часов) и диатомовый анализ (методика обработки согласно Давыдова, 1985)
124 проводились в Институте озероведения РАН. Параллельно со створками диатомей
125 подсчитывались цисты золотистых водорослей (Chrysophyceae, хризофиты).
126 Радиоуглеродное датирование образцов проводилось в Санкт-Петербургском
127 государственном университете по общему углероду (озеро Воляярви) и в
128 Хельсинкском университете с использованием ускорительной масс-спектрометрии
129 (АМС) (Рыбежское и Никольское озера). Полученные даты, а также радиоуглеродные
130 даты, опубликованные в цитируемой литературе, были калиброваны в программе
131 OxCal 4.4 с использованием IntCal 20 (Bronk Ramsey, 2009; Reimer et al., 2020). Средняя

132 скорость осадконакопления рассчитывалась как частное от калиброванного возраста
133 формирования границ горизонта к его мощности.

134

135 3. Результаты

136 *Озеро Воляярви.* Донные отложения озера Воляярви в нижней части разреза
137 представлены серыми тонкими песками и алевритами мощностью до 0,4 м (рис. 2 А).
138 Они последовательно перекрыты темно-бурой грубо-детритовой (торфянистой) гиттией
139 и, выше, однородной гиттией. Мощность торфянистой гиттии достигает 2 м, а общая
140 мощность верхних органогенных отложений составляет 2,7-2,8 м. На границе между
141 минеральной и органогенной частями отмечен маломощный (до 0,05 м) прослой
142 опесчаненной гиттии. Горизонт торфянистой гиттии насыщен неразложившимися
143 растительными макроостатками. Несмотря на незначительную (в 0,2 м) разницу по
144 глубине в 2-х точках пробоотбора, в более глубокой части озерной котловины
145 мощность торфянистой гиттии меньше (1,4 м) (рис. 2 А-2), тогда как в точке с меньшей
146 глубиной она достигает 2 м (рис. 2 А-1).

147 Динамика содержания органического вещества в отложениях представлена на
148 рис. 2 А. Минимальные значения ППП (1,7%) отмечены в нижней минеральной части
149 разреза. В толще торфянистой гиттии средние значения ППП составили около 80% и
150 90% (для точек пробоотбора 1 и 2, соответственно). Для однородной гиттии средние
151 значения составили 60-65%. В обеих точках накопление органического вещества
152 происходит синхронно и отмечено 2 минимума.

153 Изменения состава диатомовых комплексов в разрезе донных отложений (точка
154 1) позволили выделить 3 диатомовые зоны (ДЗ, рис. 3). Для ДЗ-1 (4,95-4,33 м)
155 характерны в целом низкие, но изменяющиеся в широких пределах значения
156 концентраций створок диатомей (от 4 тыс. до 1-5 млн. в 1 г сухого осадка).
157 Концентрации цист золотистых водорослей варьируют от <1 тыс. до 900 тыс., возрастая
158 до 1,6 млн. у верхней границы ДЗ-1. Отмечаются резкие изменения соотношения
159 численности планктонных и бентосных видов диатомей. Среди планктонных видов
160 преобладают *Aulacoseira ambigua* (30-60%) и *A. subarctica* (10-47%). С численностью 1-
161 4% отмечается *Aulacoseira granulata*. Бентосные диатомеи представлены
162 преимущественно обрастателями *Eunotia* spp., мелкоклеточными *Fragilariaceae* и
163 донными *Pinnularia* spp. Суммарная численность диатомей бентоса варьирует от 7 до
164 58%.

165 В ДЗ-2 (4,33-2,36 м) резко возрастают концентрации створок диатомей (до 10-86
166 млн., а в интервале 3,80-3,65 м – более 100 млн.). Содержание цист хризофитов
167 увеличивается до 1,3-5,3 млн., в интервале 3,8-3,65 м – до 5,9-9,5 млн. Доминируют
168 планктонные диатомеи (95-99%), среди которых преобладают *Aulacoseira subarctica*
169 (35-76%) и *A. ambigua* (18-57%). Содержание *A. granulata* не превышает 1-4%. В
170 нижней части ДЗ-2 доля планктонного *Cyclostephanos dubius* достигает 1-5%.

171 В ДЗ-3 (2,36-1,7 м) выделено 2 подзоны. В подзоне ДЗ-3а (2,36-1,95 м) отмечены
172 наиболее высокие концентрации створок диатомей и цист хризофитов (55-121 млн. и
173 3,5-10 млн., соответственно). Доля бентосных диатомей возрастает в направлении
174 верхней границы подзоны с 1-2 до 15%. Среди планктонных диатомей наиболее
175 многочисленны *Aulacoseira subarctica* (34-56%) и *A. ambigua* (24-61%). *A. granulata*
176 постепенно исчезает из состава диатомовых комплексов.

177 Для подзоны ДЗ-3б (1,95-1,70 м) характерно резкое увеличение численности
178 диатомей бентоса до >40%. Преобладают обрастатели семейства Fragilariaceae
179 (*Staurosira venter*, *Staurosirella pinnata* и др.), представители рода *Achnanthes* sensu lato
180 (в основном *A. minutissima*), незначительно возрастает содержание донных диатомей
181 родов *Navicula* sensu lato и *Pinnularia*. Доля *A. subarctica* резко сокращается.
182 Концентрации створок диатомей и цист хризофитов несколько снижаются и
183 составляют 52-91 млн. и 4-7 млн., соответственно.

184 **Рыбежское озеро.** Стратиграфия разрезов донных отложений, вскрытых в 2
185 точках, несколько различается (рис. 2 Б). В основании разреза в точке 1 залегает
186 желтый мелкозернистый песок с включениями и прослоями органического вещества,
187 перекрытый опесчаненной гиттией. Выше залегает гиттия с большим количеством
188 неразложившихся макроостатков, перекрытая в верхней части разреза однородной
189 темно-бурой гиттией. В точке 2 в основании разреза вскрыт слой торфа (торфянистой
190 гиттии). Далее вверх последовательность отложений в целом аналогична описанной
191 выше: светло-серый среднезернистый песок с включениями органического вещества;
192 серый слоистый глинистый (алевроитовый) песок, также с включениями органического
193 вещества; темно-бурая грубодетритовая гиттия (в верхней части более темная);
194 однородная бурая гиттия.

195 Этапы органонакопления соответствуют литостратиграфическим горизонтам
196 (рис. 2 Б). В точке 2 в торфянистом горизонте значения ППП составляют 17-19%, в
197 песке – 1-10%, в грубодетритовой гиттии – 71-89% (в среднем около 83%), в
198 однородной гиттии – 71-84% (в среднем около 77%). Для отложений из точки 1

199 значения близки: рост ППП в песках, начиная с 1,6%; 65-93% (в среднем около 85%) –
200 в грубодетритовой гиттии; 63-75% (в среднем около 71%) – в однородной гиттии.

201 Изменения состава диатомовых комплексов позволили выделить 3 диатомовых
202 зоны (рис. 4). В ДЗ-1 (2,9-2,34 м) отмечены лишь единичные створки пресноводных
203 планктонных и бентосных диатомей. Некоторые пробы оказались «немыми».
204 Концентрации створок варьируют от 1,5 тыс. до 230 тыс. в 1 г сухого осадка, цист
205 хризофитов – от 2 тыс. до 560 тыс., у верхней границы ДЗ-1 возрастают до 1 млн.

206 Для ДЗ-2 (2,34-1,35 м) характерно преобладание бентосных диатомей (71-94%),
207 среди которых преобладают мелкоклеточные обростатели семейства *Fragilariaceae*
208 *Staurosira venter* (29-64%) и *Staurosirella pinnata* (5-46%). Доля донных диатомей родов
209 *Navicula sensu lato* и *Pinnularia* составляет 1-15% и не более 5%, соответственно. Среди
210 планктонных диатомей наиболее многочисленны *Aulacoseira ambigua* (2-12%) и *A.*
211 *valida* (до 18% в нижней части ДЗ-2). Концентрация створок диатомей возрастает,
212 достигая 1,5-15 млн. в нижней части ДЗ-2 и 79 млн. – в верхней. Содержание цист
213 хризофитов в основном не превышает 10 млн. в 1 г сухого осадка.

214 В ДЗ-3 (1,35-1,05 м) резко увеличивается доля планктонных диатомей до 34-
215 54%. Основной вклад в численность этой группы вносят представители рода
216 *Aulacoseira* (*A. alpigena*, *A. ambigua*, *A. laevissima* и др.). Концентрация створок
217 диатомей резко снижается и составляет 11-17 млн. Содержание цист хризофитов
218 существенно не меняется.

219 **Никольское озеро.** В основании разреза вскрыты мелкозернистые слоистые
220 пески зеленовато-бурого, серого, светло- и темно-желтого цветов. Над ними залегают
221 последовательно – опесчаненная бурая гиттия, зеленовато-бурая гиттия с включениями
222 неразложившихся растительных макроостатков и однородная бурая гиттия (рис. 2 В).

223 Значения ППП в песках составляют 1,3-2,0%, в гиттиях около 52% (диапазон 15-
224 77%) (рис. 2 В).

225 Радиоуглеродные датировки по всем озерам представлены в табл. 2 и на рис. 2.

226

227 4. Обсуждение

228 **Сценарии осадконакопления.** В поздне- и послеледниковых отложениях малых
229 озер Карельского перешейка выделено несколько типичных сценариев
230 осадконакопления, проявленных в смене литостратиграфических горизонтов и
231 изменении содержания органического вещества. Эти сценарии зависят от

232 гипсометрического уровня водоема, который, в свою очередь, определяет время
233 возникновения озера и степень воздействия на него крупных бассейнов.

234 Для относительно высоко расположенных озер начало их развития связано либо
235 с дегляциацией их котловин и прилегающих территорий, либо с их изоляцией от
236 Балтийского ледникового озера (абсолютная отметка над у.м. не приводится из-за
237 неравномерного гляциоизостического поднятия территории, из-за чего озера,
238 расположенные вдоль линии градиента и изолировавшиеся от крупного бассейна
239 одновременно, в настоящее время расположены на разных высотах). Смена
240 минерального осадконакопления органогенным датируется началом голоцена (около
241 11000 кал. л.н.) (сценарий 1, рис. 5 А).

242 Для относительно низко расположенных озер Приладожья их возникновение
243 связано с изоляцией от Ладожского озера около 3000-4000 кал. л.н. В этом случае
244 увеличение содержания органического вещества в осадке происходит постепенно с
245 начала голоцена. Количественные значения содержания органического вещества во
246 многом определяется положением данной котловины по отношению к основной
247 акватории Ладожского озера, от чего зависят гидродинамические условия,
248 определяющие ход осадконакопления. В заливах крупных бассейнов с замедленным
249 водообменом на этапе регрессии формируются осадки с более высоким содержанием
250 органики. После изоляции озера содержание органического вещества в отложениях
251 увеличивается резко (сценарий 2, рис. 5 Б).

252 Существуют озера, в ходе своей истории имевшие несколько эпизодов изоляции
253 от крупных бассейнов (напр., Alenius et al., 2020), проявляющихся в процессе
254 органонакопления (сценарий 3, рис. 5 В).

255 Антропогенное влияние на ход осадконакопления часто проявляется в верхней
256 части озерных разрезов, где фиксируется рост минеральной доли в отложениях,
257 вызванный усилением эрозионных процессов на водосборе в ходе подсечно-огневого
258 земледелия и т.п. (рис. 5 Б).

259 Из-за гляциоизостатического перекоса Балтийского кристаллического щита нет
260 единой для всего Приладожья абсолютной отметки, характеризующей максимальный
261 уровень ладожской трансгрессии. Однако, возникновение реки Невы около 3300 кал.
262 л.н. связывается с размывом моренной гряды на отметке около 18 м над у.м. в районе
263 современных Ивановских порогов (Ailio, 1915). Высотные оценки максимума
264 ладожской трансгрессии для южного Приладожья оценивались в диапазоне 13-23 м над
265 у.м. (Марков и др., 1934; Кошечкин и Экман, 1993; Малаховский и др., 1993;

266 Александровский и др., 2009; и др.). Кровля отложений ладожской трансгрессии в
267 разрезах этой территории не превышает 15-18 м над у м. (Малаховский и др., 1993).

268 Наши данные показывают, что в котловинах малых озер южного Приладожья,
269 расположенных на отметках 13-16 м, ход озерного осадконакопления не соответствует
270 сценарию № 2 – переход от ладожских отложений к отложениям изолированного
271 водоема не отмечен.

272 **Условия осадконакопления в озере Волеярви.** Первоначально озерная
273 котловина вероятно входила в состав крупного бассейна, находясь на его периферии, о
274 чем свидетельствует накопление алевритово-песчаной пачки, вскрытой в основании
275 разреза (рис. 2 А).

276 В составе диатомовых комплексов донных отложений озера Волеярви на
277 протяжении всей его исследованной истории доминируют виды, характерные для
278 малых мезотрофных и мезо-эвтрофных озер с нейтральными-слабощелочными
279 условиями среды. Лишь на этапе минерального осадконакопления (ДЗ-1) отмечается
280 некоторое увеличение численности ацидофильных представителей родов *Eunotia* spp. и
281 *Pinnularia* spp., по-видимому, ассоциированных с включениями волокон мхов (рис. 3).

282 Около 7000 кал. л.н. в ходе осадконакопления начинаются принципиальные
283 изменения и около 6500 кал. л.н. в озерной котловине устанавливаются условия,
284 благоприятные для развития водной растительности, с небольшой глубиной и слабым
285 водообменом (табл. 2, рис. 2 А). В это время здесь начинает формироваться
286 грубодетритовая (торфянистая) гиттия, содержание органического вещества в которой
287 достигает 93%. Полученные из двух точек радиоуглеродные датировки из подошвы
288 гиттии показывают хорошую сходимость (табл. 2 – LU-5162 и LU-5089 (6800-7420 и
289 6400-6780 кал. л.н.). Полученная из середины торфянистой гиттии дата 5220 кал. л.н.
290 выбивается из ряда, поэтому признана омоложенной и не учитывалась при
291 интерпретации (табл. 2 – LU-5164).

292 Данные условия существовали не более 1000 лет, скорость осадконакопления
293 превышала 2 мм/год, что на порядок больше средних значений скоростей голоценового
294 осадконакопления малых озер региона (Кузнецов и Субетто, 2019). Несмотря на
295 преобладание грубого детрита в отложениях этот этап развития характеризуется
296 обстановками, благоприятными для массового развития планктонных диатомей (ДЗ-2
297 на рис. 3). Это необычно, т.к. при одновременном развитии макрофитов и планктона
298 между этими группами возникает сильная конкуренция за биогенные вещества.
299 Преобладание в составе диатомовых комплексов видов *Aulacoseira ambigua* и *A.*

300 *subarctica*, известных своей теневыносливостью, указывает на высокое содержание
301 растворенного органического вещества в водной толще. Присутствие в составе
302 диатомовых комплексов таких высокотрофных видов, как *Aulacoseira granulata* и
303 *Cyclostephanos dubius* указывают на хорошую обеспеченность водоема биогенными
304 элементами.

305 Около 5600 кал. л.н. (табл. 2 – LU-5165 и LU-5166) происходит еще одна резкая
306 смена условий осадконакопления, в это время в котловине начинает формироваться
307 однородная гиттия, происходит резкое снижение органического вещества в осадке,
308 скорость осадконакопления падает до 0,1-0,3 мм/год (рис.2 А).

309 Низина, в которой расположено озеро Воляярви, находится на отметках до 16 м
310 над у. м. и по общепринятым представлениям должна была входить в акваторию
311 Ладожского озера во время максимума ладожской трансгрессии. Наши данные
312 фиксируют подъем уровня воды, начиная с 5600 кал. л.н., однако в составе диатомовых
313 комплексов отсутствуют типичные виды Ладожского озера (Лудикова, 2015). Значения
314 содержания органического вещества в донных отложениях также слишком велики для
315 ладожских заливов, обычные значения финальной (предизоляционной) стадии по
316 нашим данным гораздо меньше – около 12% (Узловое озеро), 16% (Заветное озеро), 7-
317 13% (озеро Св. Сергия). Также, в верхней части разреза не обнаружен изоляционный
318 контакт – характерная литологическая граница, фиксирующая смену между условиями
319 осадконакопления большого и малого водоемов.

320 Отсутствие в составе диатомовых комплексов озера Воляярви индикаторных
321 «ладожских» видов диатомей (Лудикова, 2015) позволяет предположить, что воды
322 ладожской трансгрессии не проникали в котловину озера, следовательно, ее уровень на
323 юго-западном побережье не достигал 16 м. Возможно, имело место косвенное влияние
324 трансгрессии – через повышение уровня грунтовых вод и увеличение роли этой
325 составляющей в приходной части водного баланса. Отмеченный на позднейшем этапе
326 развития рост содержания бентосных диатомей (ДЗ-3б на рис. 3) может
327 свидетельствовать об уменьшении глубины водоема на финальной стадии его развития
328 в результате завершения трансгрессии и понижения зеркала грунтовых вод. Еще одной
329 причиной может являться увеличение площадей мелководий, доступных для
330 колонизации бентосными видами, что, однако, возможно при любой направленности
331 перемещения береговой линии, т.к. зависит от рельефа котловины и береговой зоны.

332 **Условия осадконакопления в Рыбежском и Никольском озерах.** Органический
333 торфянистый горизонт в основании разреза Рыбежского озера сформировался около

334 12000-12600 кал. л.н. (табл. 2, рис. 2 Б). Переувлажненные застойные обстановки с
335 формированием торфянистых отложений могли бы возникнуть на поверхности
336 занимавшего понижение в рельефе мертвого льда, после таяния которого, торфянистый
337 слой опустился бы на дно (напр., Колька и др., 2013). Однако, поскольку данная
338 территория заливалась водами приледниковых бассейнов, этот горизонт, видимо,
339 маркирует первую регрессию БЛО, произошедшую около 13000 кал. л.н. (Björck, 2010).

340 Выше по разрезу отмечены нестабильные условия осадконакопления,
341 выраженные большим количеством регулярных органогенных прослоев в песках. На
342 характер осадконакопления значительно воздействует снос аллохтонного минерального
343 материала. Крайне низкое содержание створок диатомей и цист хризифитов на этапе
344 осадконакопления ДЗ-1 свидетельствует о неблагоприятных обстановках для развития
345 этих групп микроводорослей или аккумуляции их остатков (рис. 4). В частности,
346 данный этап мог характеризоваться дефицитом биогенных элементов или
347 преобладанием промывного режима, препятствовавшего аккумуляции тонкоразмерного
348 материала.

349 Накопление песчаных осадков заканчивается около 7000-7300 кал. л.н., с
350 началом накопления грубодетритовой гиттии (табл. 2, рис. 2 Б). В котловине
351 Рыбежского озера устанавливаются мелководные застойные условия, благоприятные
352 для развития водной растительности. Такие условия могли быть вызваны как высоким
353 уровнем стояния грунтовых вод из-за близкого положения береговой линии
354 Ладожского озера и, как следствие, затруднением стока из озера, так и
355 общеклиматическими причинами. По-прежнему низкие концентрации створок
356 диатомей и цист хризифитов в грубодетритовой гиттии, указывает на низкую
357 продуктивность сообществ кремнистых микроводорослей, возможно из-за
358 доминирования макрофитов в составе водорослевых сообществ.

359 Около 3700-3900 кал. л.н. в котловине начинает формироваться однородная
360 гиттия, что, видимо, связано с увеличением глубины и скорости водообмена (табл. 2,
361 рис. 2 Б). В составе диатомовых комплексов озера Рыбежского преобладают диатомей,
362 характерные для малых мезотрофных и мезо-эвтрофных озер с нейтральными-
363 слабощелочными условиями среды (ДЗ-2 на рис. 4). Массовое развитие
364 мелкоклеточных бентосных Fragilariaceae указывает на спокойные гидродинамические
365 условия, благоприятствовавшие образованию длинных лентовидных колоний этих
366 диатомей на донном и погруженном субстрате. На следующем этапе (ДЗ-3 на рис. 4)
367 резкий сдвиг в сторону преобладания диатомей планктона указывает на активизацию

368 гидродинамических процессов, способствовавших росту численности представителей
369 рода *Aulacoseira*.

370 Средняя скорость осадконакопления составила около 0,1 мм/год в горизонте
371 детритовой гиттии и около 0,3 мм/год в горизонте однородной гиттии, при
372 усредненном значении около 0,2 мм/год.

373 Характер осадконакопления в Никольском озере аналогичен – слоистые пески в
374 основании разреза сменяются грубодетритовой гиттией и, далее, однородной гиттией
375 (рис. 2 В). Однако, начало органонакопления датировано более молодым возрастом –
376 5100-5500 кал. л.н. (табл. 2, рис. 2 В). Средняя скорость осадконакопления составила за
377 все время накопления гиттии около 0,3 мм/год.

378 ***Максимальный уровень ладожской трансгрессии в южном Приладожье.***
379 Изучение динамики перемещения береговой линии Ладожского озера в южном
380 Приладожье идет с конца XIX в., начиная с работ А.А. Иностранцева (1882). К
381 настоящему времени накоплен обширный материал, посвященный этому вопросу
382 (напр., Ailio, 1915; Марков и др., 1934; Шеффер, 1967; Знаменская и др., 1970; Квасов,
383 1975; Кошечкин и др., 1992; Малаховский и др., 1993; Шитов и др., 2004;
384 Александровский и др., 2009; Dolukhanov et. al., 2009; Амантов и др., 2016).
385 Полученные нами данные не согласуются с некоторыми реконструкциями,
386 опубликованными ранее.

387 По мнению Б.И. Кошечкина и И.М. Экмана (1993), в атлантическое время
388 уровень Ладожского озера был ниже современного, во второй половине атлантического
389 времени начался его рост, который несколько позже 5000-5300 кал. л.н. превысил
390 отметку в 10 м над у.м. и продолжался до отметки 18,8 м над у.м., после чего
391 произошел его спад, возможно связанный с образованием Невы, и, позднее, второй этап
392 трансгрессии до отметок, не достигших уровня первого этапа. В (История..., 1990)
393 время первого максимума ладожской трансгрессии (21-22 м над у.м.) датируется 3900-
394 4200 кал. л.н., второго максимума (14-15 м над у.м.) 1800-2100 кал. л.н.

395 Результаты изучения отложений озера Воляярви существенно корректирует
396 возраст и высоту ладожской трансгрессии в юго-западной части Приладожья, а именно:
397 начиная с ~7000 кал. л.н. и до современности уровень Ладоги не достигал здесь
398 отметки 16 м над у.м. Полученные результаты для Рыбежского и Никольского озер
399 свидетельствуют, что в юго-восточном Приладожье максимальный уровень ладожской
400 трансгрессии не превышал 13-14 м над у.м., но был близок к этому уровню.

401 Эти значения уровня близки оценке Д.Б. Малаховского с соавторами (1993), по
402 мнению которых, максимальный уровень трансгрессии (2150-3350 кал. л.н.) в южном
403 Приладожье составлял около 15 м над у.м. Результаты изучения разреза на р. Оять
404 (Dolukhanov et al., 2009; Александровский и др., 2009) также свидетельствуют, что
405 уровень трансгрессии достигал 13-15 м над у.м. Исследования на археологическом
406 памятнике Подолье-1 (около 12 м над у.м.) зафиксировали формирование торфяника,
407 перекрытого после 4500-5000 кал. л.н. минерогенными отложениями Ладожского озера
408 (Сапелко и др., 2019).

409 К.К. Марков (1949) пишет, что в южном Приладожье ладожская трансгрессия
410 сформировала второй террасовый уровень и не превышала отметок 14-15 м. Котловины
411 Рыбежского и Никольского озер расположены, насколько можно судить по его схеме,
412 на третьем террасовом уровне, сформированном флювиогляциальными процессами с
413 последующей эоловой переработкой (Марков, 1949).

414 Таким образом, учитывая погрешность определения абсолютной отметки
415 изученных озер, снятой с топографической карты без учета годовой и многолетней
416 динамики, полученная нами оценка максимального уровня ладожской трансгрессии в
417 юго-восточном Приладожье в ~13-14 м над у.м. представляется обоснованной.

418 Зафиксирована смена палеоэкологических условий около 5600 кал. л.н. в озере
419 Воляярви и около 3700 кал. л.н. в Рыбежском озере. С этого времени зарастание
420 озерных котловин водной растительностью прекращается. В озерах начинает
421 накапливаться однородная гиттия, вероятной причиной этого является подъем уровня
422 воды.

423 Прекращение ладожской трансгрессии обычно связывается с прорывом р. Невы
424 около 3300 кал. л.н., повлекшим резкое снижение уровня Ладожского озера.
425 Наблюдаемая разница в ~5 м между оценкой максимального уровня трансгрессии и
426 высотой гипотетического балтийско-ладожского водораздела в районе Ивановских
427 порогов требует более внимательного рассмотрения влияния локальных тектонических
428 факторов на проблему (напр., Никонов, 2009; Бискэ и др., 2009; Шитов и др., 2010).

429 Не вполне ясными представляются условия осадконакопления, существовавшие
430 в исследованных котловинах юго-восточного Приладожья до 7200 кал. л.н. (Рыбежское
431 озеро) и 5300 кал. л.н. (Никольское озеро). Накопление песков в центральной части
432 котловин малых озер региона не характерно для голоцена и может служить
433 фациальным признаком нахождения этих котловин в прибрежной части крупных
434 бассейнов. Однако большое количество органических прослоев в отложениях

435 позволяет считать более вероятной причиной формирования песчаного горизонта
436 влияние сноса с окружающих озерные котловины песчаных гряд. Подобное влияние на
437 характер голоценового осадконакопления в озерах, расположенных на границе области
438 распространения береговых валов/дюн уже отмечалось в Приладожье (Кузнецов, 2019).

439 Синхронность начала формирования грубодетритовых осадков в озерах
440 Рыбежском и Волеярви (7000-7200 кал. л.н.) и более позднее начало аналогичного
441 процесса в Никольском озере (~5300 кал. л.н.), могли бы быть объяснены
442 единовременным спадом уровня крупного бассейна до отметок 14 м над у.м. и
443 последующим растянутым во времени продолжением этого падения. Однако, подобная
444 реконструкция противоречит вышеприведенным представлениям о голоценовой
445 истории Ладожского озера, в соответствии с которыми в первой половине голоцена
446 уровень Ладоги был ниже современного, а в среднем голоцене повышался.

447 Отсутствие индикаторных ладожских комплексов диатомей в изученных
448 разрезах в сочетании с литостратиграфическими данными свидетельствует о
449 нахождении данных котловин выше максимального уровня трансгрессии на
450 протяжении последних ~7000 лет.

451

452 5. Заключение

453 Органонакопление в озерной котловине Рыбежского озера в юго-восточном
454 Приладожье в условиях, близких условиям низинного болота, происходило уже около
455 12300 кал. л.н.

456 Ход голоценового осадконакопления в изученных озерах имеет принципиальные
457 отличия от типичных сценариев, характерных для низкорасположенных озер северного
458 и северо-западного Приладожья. Отсутствует литостратиграфический
459 позднеголоценовый переход от условий крупного бассейна к условиям малого водоема,
460 связанный с завершением ладожской трансгрессии и началом изолированного
461 развития. Максимальное содержание органического вещества в отложениях отмечено
462 не в позднем, а в среднем голоцене.

463 Формирование грубодетритовых отложений в озерах Рыбежском и Волеярви на
464 минеральном субстрате началось синхронно около 7000-7200 кал. л.н. Около 3700 и
465 5600 кал. л.н. в этих озерах, соответственно, начала накапливаться однородная гиттия.
466 Данная смена состава осадков может свидетельствовать об увеличении глубины озер.

467 В отложениях озер Рыбежское, Никольское и Волеярви в южном Приладожье,
468 расположенных на отметках 13-16 м над у.м. лито- и биостратиграфических признаков

469 проникновения вод Ладожского озера в ходе его суббореальной трансгрессии не
470 выявлено. Однако высокий уровень Ладожского озера привел через повышение базиса
471 эрозии к подъему как уровня залегания грунтовых вод, так и уровня воды в
472 исследованных озерах.

473

474 **Благодарности**

475 Коллегам из ИНОЗ РАН, СПбГУ, МАЭ РАН (Кунсткамеры), ИИМК РАН,
476 студентам СПбГУ и РГПУ им. А.И. Герцена за помощь в экспедиционных
477 исследованиях и лабораторной работе. Отдельное спасибо В.В., В.Е. и А.В.
478 Богдановым, Н.Н. Верзилину, Д.В. Герасимову, С.Н. и Н.Н. Лисицыным, Т.В. Сапелко,
479 М.А. Юшковой.

480

481 **Литература**

482 Александровский, А.Л., Арсланов, Х.А., Давыдова, Н.Н., Долуханов, П.М.,
483 Зайцева, Г.И., Кирпичников, А.Н., Кузнецов, Д.Д., Лавенто, М., Лудикова, А.В., Носов,
484 Е.Н., Савельева, Л.А., Сапелко, Т.В., Субетто, Д.А. (2009). Новые данные относительно
485 трансгрессии Ладожского озера, образования реки Невы и земледельческого освоения
486 Северо-Запада России. *Доклады РАН*, 424(5), 1-5.

487 Амантов, А.В., Амантова, М.Г., Рябчук, Д.В., Сергеев, А.Ю., Гусенцова, Т.М.,
488 Жамойда, В.А., Фьелдскар, В. (2016). Проблемы голоценового развития Южного
489 Приладожья. *Региональная геология и металлогения*, 65, 37-49.

490 Бискэ, Ю.С., Сумарева, И.В., Шитов, М.В. (2009). Поздне-голоценовое
491 сейсмическое событие в Юго-Восточном Приладожье. *Вестник СПбГУ. Серия 7.*
492 *Геология, география*, 1, 3-25.

493 Давыдова, Н.Н. (1985). *Диатомовые водоросли – индикаторы экологических*
494 *условий водоемов в голоцене*. Л.: Наука. 244 с.

495 Знаменская, О.М., Соколова, В.В., Хомутова, В.И. (1970). Сравнительный анализ
496 палеогеографических условий развития южных и западных берегов Ладожского озера.
497 В: *История озер*. Вильнюс, 319-331.

498 Иностранцев, А.А. (1882). *Доисторический человек каменного века побережья*
499 *Ладожского озера*. СПб.

500 *История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки.*
501 (1990). Л.: Наука. 280 с.

502 Квасов, Д.Д. (1975). *Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних*
503 *морей Восточной Европы*. Л., Наука. 278 с.

504 Колька, В.В., Евзеров, В.Я., Мёллер, Я.Й., Корнер, Г.Д. (2013). Перемещение
505 уровня моря в позднем плейстоцене – голоцене и стратиграфия донных осадков
506 изолированных озер на южном берегу Кольского полуострова, в районе поселка Умба.
507 *Известия Российской академии наук. Серия географическая*, 1, 73-88.
508 <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-73-88>

509 Кошечкин, Б.И., Адаменко, В.И., Арсланов, Х.А., Джиноридзе, Р.Н., Хомутова,
510 В.И. (1992). Береговые образования голоценовой трансгрессии в Южном Приладожье.
511 *Известия РГО*, 124(6), 541-547.

512 Кошечкин, Б.И., Экман, И.М. (1993). Голоценовые трансгрессии Ладожского
513 озера. В: *Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы*
514 *Ладожского озера*. СПб.: изд. РГО, 49-60.

515 Кузнецов, Д.Д. (2019). О повторяемости результатов аналитических
516 исследований колонок озерных отложений из разных частей озера. В: *Материалы V*
517 *Всероссийской научной конференции с международным участием «Динамика*
518 *экосистем в голоцене» (к 100-летию Л.Г. Динесмана)*. М.: Медиа-ПРЕСС, 168-170.

519 Кузнецов, Д.Д., Субетто, Д.А. (2019). *Стратиграфия донных отложений озер*
520 *Карельского перешейка*. М.: ГЕОС. 120 с.

521 Кузнецов, Д.Д., Субетто, Д.А., Сапелко, Т.В., Лудикова, А.В. (2015).
522 Гидрографическая сеть северной части Карельского перешейка в голоцене по данным о
523 строении отложений малых озер. *Геоморфология*, 1, 54-69. [https://doi.org/10.15356/0435-](https://doi.org/10.15356/0435-4281-2015-1-54-69)
524 [4281-2015-1-54-69](https://doi.org/10.15356/0435-4281-2015-1-54-69)

525 Лудикова, А.В. (2015). Свидетельства среднеголоценовой трансгрессии
526 Ладожского озера по данным диатомового анализа. *Известия РГО*, 147(4), 38-51.

527 Лудикова, А.В., Кузнецов, Д.Д., Субетто, Д.А., Сапелко, Т.В. (2016).
528 Использование метода «изоляционных бассейнов» при реконструкции изменений
529 уровня Ладожского озера. В: *Всероссийская конференция по крупным внутренним*
530 *водоемам (V Ладожский симпозиум). Сборник научных трудов конференции*. СПб.:
531 Изд-во «Лема», 247-253.

532 Малаховский, Д.Б., Арсланов, Х.А., Гей, Н.А., Джиноридзе, Р.Н., Козырева, М.Г.
533 (1993). Новые данные по голоценовой истории Ладожского озера. В: *Эволюция*
534 *природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера*. СПб.:
535 изд. РГО, 61-73.

- 536 Марков, К.К. (1949). Послеледниковая история Юго-восточного побережья
537 Ладожского озера. *Вопросы географии*, 12.
- 538 Марков, К.К., Порецкий, В.С., Шляпина, Е.В. (1934). О колебаниях уровня
539 Ладожского и Онежского озер в послеледниковое время. *Труды комиссии по изучению*
540 *четвертичного периода*, 4(1), 71-113.
- 541 Никонов, А.А. (2009). Рождение Невы – бурное и потаенное. *Общество. Среда.*
542 *Развитие (Terra Humana)*, 1, 212-229.
- 543 Сапелко, Т.В., Гусенцова, Т.М., Кулькова, М.А., Лудикова, А.В., Денисенков,
544 В.П., Корнеев, Н.Ю. (2019). Ладожская трансгрессия и ландшафты второй
545 половины голоцена в Южном Приладожье (по данным изучения археологического
546 памятника Подолье-1). *Известия Российской академии наук. Серия географическая*, 5,
547 78-95. <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019578-95>
- 548 Субетто, Д.А. (2009). *Донные отложения озер: палеолимнологические*
549 *реконструкции*. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена. 339 с.
- 550 Шеффер, Е.Г. (1967). Некоторые черты развития Южного Приладожья в
551 голоцене. *Вестник ЛГУ*, 12, 159-162.
- 552 Шитов М.В., Бискэ, Ю.С., Сумарева, И.В. (2010). Позднеголоценовое
553 сейсмическое событие в юго-восточном Приладожье. II. Параметры. *Вестник СПбГУ.*
554 *Серия 7. Геология, география*, 3, 18-28.
- 555 Шитов, М.В., Бискэ, Ю.С., Носов, Е.Н., Плешивцева, Э.С. (2004). Природная
556 среда и человек нижнего Поволжья на финальной стадии Ладожской трансгрессии.
557 *Вестник СПбГУ. Серия 7. Геология, география*, 3, 3-15.
- 558 Ailio, J. (1915). Die geographische Entwicklung des Ladogasees in postglazialer Zeit.
559 *Bulletin de la commission géologique de Finlande*, 45, 1-157.
- 560 Alenius, T., Gerasimov, D., Sapelko, T., Ludikova, A., Kuznetsov, D., Golyeva, A.,
561 Nordqvist, K. (2020). Human-environment interaction during the Holocene along the
562 shoreline of the Ancient Lake Ladoga: A case study based on palaeoecological and
563 archaeological material from the Karelian Isthmus, Russia. *The Holocene*, 30(11), 1622-1636.
564 <https://doi.org/10.1177/0959683620941071>
- 565 Björck, S. (2008). The late Quaternary development of the Baltic Sea basin. In:
566 *Assessment of climate change for the Baltic Sea Basin*. Berlin, Heidelberg, 398-407.
- 567 Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*,
568 51(1), 337-360. <https://doi.org/10.1017/S0033822200033865>

- 569 Dolukhanov, P.M, Subetto, D.A., Arslanov, Kh.A., Davydova, N.N., Zaitseva, G.I.,
570 Djinoridze, E.N., Kuznetsov, D.D., Ludikova, A.V., Sapelko, T.V., Savelieva, L.A. (2009).
571 The Baltic Sea and Ladoga Lake transgressions and early human migrations in North-western
572 Russia. *Quaternary International*, 203, 33-51. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.04.021>
- 573 Kjemperud, A. (1986). Late Weichselian and Holocene shoreline displacement in the
574 Trondheimsfjord area, central Norway. *Boreas*, 15, 61-82. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1986.tb00744.x>
- 576 Kuznetsov, D.D., Subetto, D.A., Ludikova, A.V. (2022). The connection between
577 Lake Ladoga and the Baltic Sea in the Late Holocene: New paleolimnological data. *Doklady Earth Sciences*. 506(1), 693-697. <https://doi.org/10.1134/S1028334X22700076>
- 579 Long, A.J., Woodroffe, S.A., Roberts, D.H., Dawson, S. (2011). Isolation basins, sea-level changes and the Holocene history of the Greenland Ice Sheet. *Quaternary Science Review*, 30, 3748-3768. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.10.013>
- 582 Reimer, P.J., Austin, W.E.N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., Manning, S.W., Muscheler, R., Palmer, J.G., Pearson, C., van der Plicht, J., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Turney, C.S.M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S.M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A., Talamo, S. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62(4), 725-757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- 591 Saarnisto, M. (1970). The Late Weichselian and Flandrian history of the Saimaa Lake
592 Complex. *Societas Scientiarum Fennica, Commentationes Physico-Mathematicae*, 37. 107 p.
- 593 Saarnisto, M., Grönlund, T. (1996). Shoreline displacement of Lake Ladoga – new
594 data from Kilpolansaari. *Hydrobiologia*, 322, 205-215. <https://doi.org/10.1007/BF00031829>
- 595

596 Таблицы

597

598 Табл. 1. Характеристика изученных озер

Озеро	Высота над уровнем моря, м	Площадь озера, км ²	№ точки	Координаты, с.ш., в.д.	Глубина в точке бурения, м	Мощность вскрытых донных отложений, м	Мощность гитти, м
Воляярви	16	3,36	1	60°18',23; 30°48',43	1,70	3,10	2,7
			3	60°18',06; 30°48',44	1,90	2,98	2,8
Никольское	13,1	0,1	1	60°22',87; 33°09',56	0,7	1,80	1,4
Рыбежское	14,4	0,45	1	60°20',25; 33°09',47	1	1,12	0,9
			2	60°20',34; 33°09',54	1	1,84	1,5

599

600 Табл. 2. Результаты радиоуглеродного датирования донных отложений
601 изученных озер (Кузнецов и Субетто, 2019)

Озеро, № точки	Лабораторный номер	АМС	Горизонт, м	¹⁴ С возраст	Калиброванный возраст, 95,4%, диапазон, среднее
Рыбежское, 2	Hela-1846	+	2,875	10420 ± 70	11970-12610 (12300)
Рыбежское, 2	Hela-1847	+	2,545	6250 ± 45	7010-7260 (7160)
Рыбежское, 2	Hela-1848	+	2,425	4840 ± 40	5470-5650 (5550)
Рыбежское, 2	Hela-1849	+	2,205	3515 ± 35	3690-3890 (3780)
Никольское	Hela-1845	+	2,215	4600 ± 35	5070-5460 (5340)
Воляярви, 1	LU-5090	-	417-427	5230±80	5760-6270 (6020)
Воляярви, 1	LU-5089	-	427-437	5780±80	6400-6780 (6580)
Воляярви, 2	LU-5166	-	320-330	4870±130	5320-5900 (5610)
Воляярви, 2	LU-5165	-	330-340	4900±170	5140-6170 (5640)
Воляярви, 2	LU-5164	-	400-405	4570±170	4830-5650 (5220)
Воляярви, 2	LU-5163	-	464-469	5500±140	5940-6620 (6280)
Воляярви, 2	LU-5162	-	469-475	6230±120	6800-7420 (7120)

602

603

604 Рисунки

605



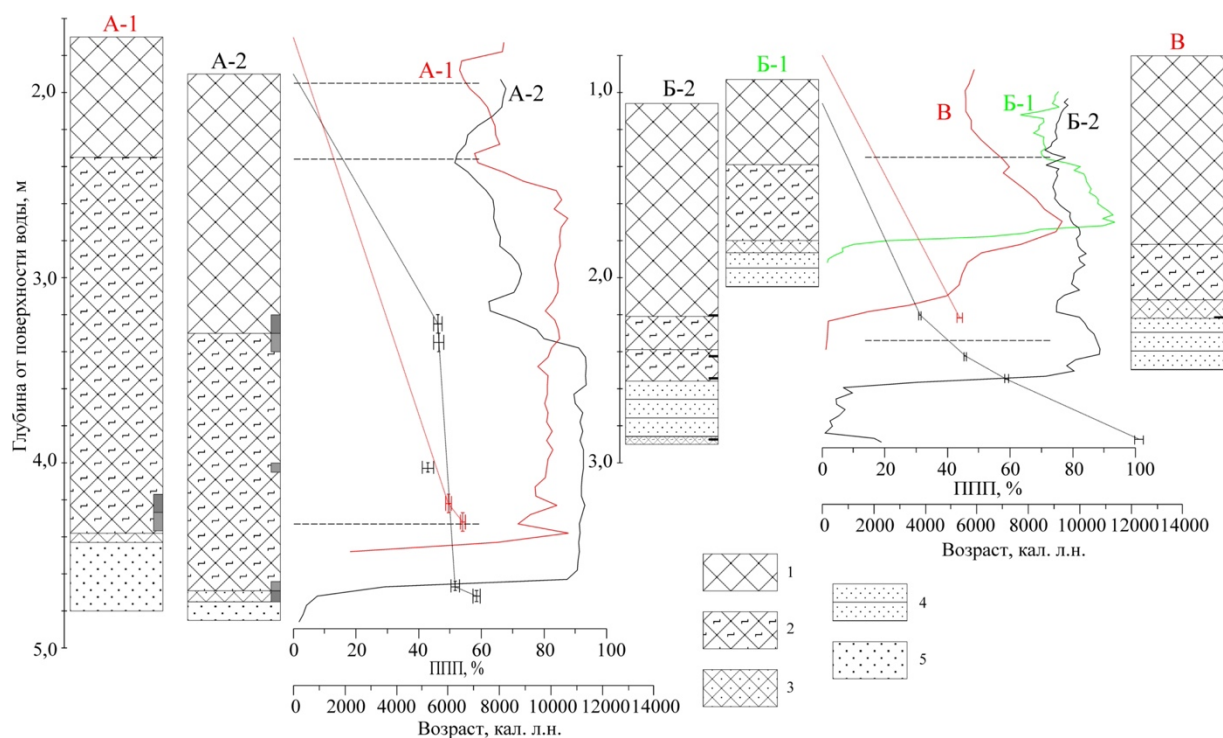
606

607 Рис. 1. Схема расположения упоминаемых в тексте озерных разрезов (Б: 1-2 –

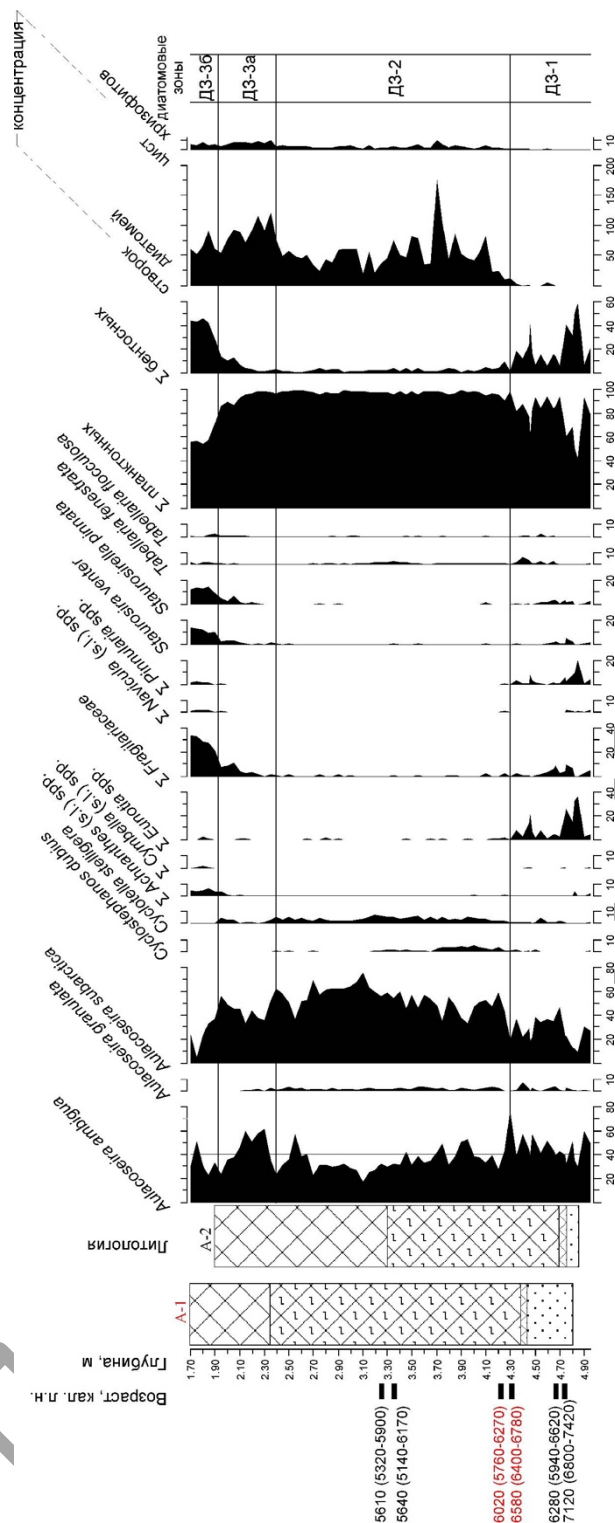
608 Рыбежское и Никольское, 3 – Воляярви, 4 – Щукинское, 5 – Узловое, 6 – Большое

609 Заветное, 7 – Св. Сергия; В: расположение точек пробоотбора).

610



611
 612 Рис. 2. Стратиграфия и условия формирования отложений озер Волюярви (А),
 613 Рыбежского (Б), Никольского (В). Пунктир – границы диатомовых зон, в соответствии
 614 с рис. 3 и 4. Условные знаки: 1 – гиттия, 2 – грубодетритовая гиттия, 3 – опесчаненная
 615 гиттия, 4 – песок с прослоями органики, 5 – песок/алеврит. А-1, А-2, Б-1, Б-2 – номера
 616 колонок. Прямоугольники на литологических колонках – положение образцов,
 617 отобранных на датирование. На кривых глубина/возраст значения возраста показаны с
 618 ошибкой в 1 σ . Цвет кривых соответствует цвету номера колонки.
 619



620

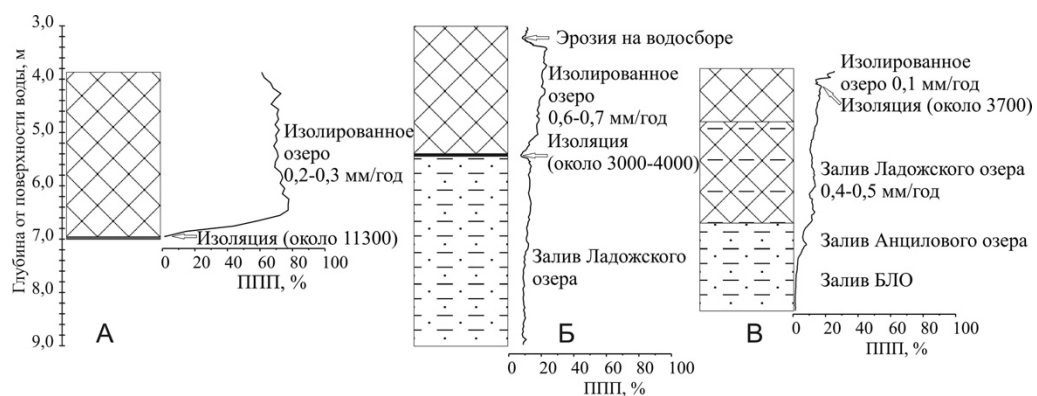
621

622

623

624

Рис. 3. Диатомовая диаграмма (озеро Воляярви). Обозначения к литостратиграфическим горизонтам в соответствии с рис. 2. Красным шрифтом выделены даты, полученные из колонки А-1.



629

630

631 Рис. 5. Типичный ход голоценового осадконакопления в малых озерах северо-
 632 западного Приладожья на примере озер Шукинское (А), Узловое (Б) и Большое
 633 Заветное (В) (по Кузнецов и др., 2015; Alenius et al., 2020).

633

634 **Specifics of the Holocene sedimentation in small lakes of the southern Lake**
635 **Ladoga region***

636 Kuznetsov Denis¹, Subetto Dmitry², Ludikova Anna¹

637

638 ¹Institute of Limnology – SPC RAS, St. Petersburg, Sevastyanova str. 9, 196105

639 ²Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Moika River emb. 48,

640 191186

641

642 Kuznetsov Denis: dd_kuznetsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8864-9936>

643 Subetto Dmitry: subetto@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3585-8598>

644 Ludikova Anna: ellerbeckia@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6022-2455>

645

646 Corresponding author:

647 Denis Kuznetsov

648 Phone +7 921 759 47 11

649 Email: dd_kuznetsov@mail.ru

650 Address: St. Petersburg, Sevastyanova str. 9, 196105

651

652 **Annotation**

653 The paper presents data on the structure and composition of bottom sediments of small
654 lakes, located in the southern Ladoga region (Voloyarvi, Rybezhs koye and Nikolskoye) – a
655 lithostratigraphic description, the results of diatom analysis and loss on ignition analysis. The
656 sedimentation in small lakes of the Lake Ladoga region is closely related to the late and post-
657 glacial evolution of Lake Ladoga that has experienced significant fluctuations in water level
658 throughout its history. The results of studying sediments in small lakes located near the
659 northern and western shores of Lake Ladoga made it possible to identify the following
660 specifics of Holocene sedimentation. The accumulation of predominantly minerogenic
661 sediments in the lakes of the Ladoga region has been occurring since the last deglaciation of
662 the study area. In sediments of lakes located at high absolute levels, minerogenic sediments
663 are replaced by organogenic sediments ~ 11,000 cal BP. In the structure of sediments of lakes

* The research was performed in the frame of the State Research Program of the IL RAS – SPC RAS №FFZF-2024-0001 (D. Kuznetsov and A. Ludikova). The work of D. Subetto was supported by RSF №24-17-00206.

664 located below 15-20 m above sea level a transitional layered horizon is often observed
665 between minerogenic and organogenic deposits, and the age at which gyttja began to form in
666 these lakes depends on the time of isolation of their basins from Lake Ladoga. In addition to a
667 sharp increase in the content of organic matter, they also show a change in the composition of
668 diatom complexes, in which species typical of small lakes begin to prevail. However, this
669 scheme is not entirely applicable to the southern part of the Ladoga region – in the sediments
670 of the studied lakes located at an altitude of 13-16 m above sea level, the Late Holocene
671 transition from the conditions of a large basin to the conditions of a small reservoir was not
672 noted, litho- and biostratigraphic signs of penetration of Lake Ladoga waters during its
673 subboreal transgression into the basins of the studied lakes were not revealed.

674

675 **Keywords:** Lake Ladoga, the Holocene, Ladoga transgression, bottom sediments, dynamics
676 of organic matter, diatom analysis, small lakes, southern Ladoga region, Lake Voloyarvi,
677 Lake Nikolskoye, Lake Rybezhs koye

678

679 **References**

680 Ailio, J. (1915). Die geographische Entwicklung des Ladogasees in postglazialer Zeit.
681 *Bulletin de la commission géologique de Finlande*, 45, 1-157.

682 Aleksandrovskii, A.L., Arslanov, Kh.A., Davydova, N.N., Doluchanov, P.M.,
683 Zaitseva, G.I., Kirpichnikov, A.N., Kuznetsov, D.D., Lavento, M., Ludikova, A.V., Nosov,
684 E.N., Savel'eva, L.A., Sapelko, T.V., Subetto, D.A. (2009). New Data on the Ladoga
685 Transgression, the Neva River Formation, and Agricultural Development of Northwestern
686 Russia. *Doklady Earth Sciences*, 425(2), 274-278.
687 <https://doi.org/10.1134/S1028334X09020226>

688 Alenius, T, Gerasimov, D, Sapelko, T, Ludikova, A, Kuznetsov, D, Golyeva, A.,
689 Nordqvist, K. (2020). Human-environment interaction during the Holocene along the
690 shoreline of the Ancient Lake Ladoga: A case study based on palaeoecological and
691 archaeological material from the Karelian Isthmus, Russia. *The Holocene*, 30(11), 1622-1636.
692 <https://doi.org/10.1177/0959683620941071>

693 Amantov, A.V., Amantova, M.G., Ryabchuk, D.V., Sergeev, A.Yu., Gusentsova,
694 T.M., Zhamoida, V.A., Fjeldskaar, W. (2016). On the question of Holocene development of
695 south Lake Ladoga region. *Regional Geology and Metallogeny*, 65, 37-49. (In Russian)

- 696 Biske, Yu.S., Sumareva, I.V., Shitov, M.V. (2009). Late Holocene seismic event in the
697 South-Eastern Ladoga region. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Series 7. Geology,*
698 *geography*, 1, 3-25. (In Russian)
- 699 Björck, S. (2008). The late Quaternary development of the Baltic Sea basin. In:
700 *Assessment of climate change for the Baltic Sea Basin*. Berlin, Heidelberg, 398-407.
- 701 Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*,
702 51(1), 337-360. <https://doi.org/10.1017/S0033822200033865>
- 703 Davydova, N.N. (1985). *Diatoms are indicators of the ecological conditions of water*
704 *bodies in the Holocene*. Leningrad: Nauka Publ. 244 p. (In Russian)
- 705 Dolukhanov, P.M., Subetto, D.A., Arslanov, Kh.A., Davydova, N.N., Zaitseva, G.I.,
706 Djinoridze, E.N., Kuznetsov, D.D., Ludikova, A.V., Sapelko, T.V., Savelieva, L.A. (2009).
707 The Baltic Sea and Ladoga Lake transgressions and early human migrations in North-western
708 Russia. *Quaternary International*, 203, 33-51. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.04.021>
- 709 *History of Lakes Ladoga, Onega, Pskov-Chudskoye, Baikal and Khanka*. (1990).
710 Leningrad: Nauka Publ. 280 p. (In Russian)
- 711 Inostrantsev, A.A. (1882). *Prehistoric man of the Stone Age on the shores of Lake*
712 *Ladoga*. St. Petersburg. (In Russian)
- 713 Kjemperud, A. (1986). Late Weichselian and Holocene shoreline displacement in the
714 Trondheimsfjord area, central Norway. *Boreas*, 15, 61-82. [https://doi.org/10.1111/j.1502-](https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1986.tb00744.x)
715 [3885.1986.tb00744.x](https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1986.tb00744.x)
- 716 Kolka, V.V., Yevzerov, V.Ya., Møller, J.J., Corner, G.D. (2013). The Late
717 Weichselian and Holocene relative sea-level change and isolation basin stratigraphy at the
718 Umba settlement, southern coast of Kola Peninsula. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk.*
719 *Seriya Geograficheskaya*, 1, 73-88. (In Russian). [https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-](https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-73-88)
720 [73-88](https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-73-88)
- 721 Koshechkin, B.I., Adamenko, V.I., Arslanov, Kh.A., Dzhinoridze, R.N., Khomutova,
722 V.I. (1992). Coastal formations of the Holocene transgression in the South Ladoga area.
723 *Izvestia RGO*, 124(6), 541-547. (In Russian)
- 724 Koshechkin, B.I., Ekman, I.M. (1993). Holocene transgressions of Lake Ladoga. In:
725 *Evolution of natural environments and the current state of the geosystem of Lake Ladoga*. St.
726 Petersburg: Russian Geographical Society Publ., 49-60. (In Russian)
- 727 Kuznetsov, D.D. (2019). On the repeatability of the results of analytical studies of lake
728 sediment cores from different parts of the lake. In: *Dynamics of ecosystems in the Holocene*.
729 Moscow: Media-Press Publ., 168-170. (In Russian)

- 730 Kuznetsov, D.D., Subetto, D.A. (2019). *Stratigraphy of lake sediments of the Karelian*
731 *Isthmus*. Moscow: GEOS Publ. 120 p. (In Russian)
- 732 Kuznetsov, D.D., Subetto, D.A., Ludikova, A.V. (2022). The connection between
733 Lake Ladoga and the Baltic Sea in the Late Holocene: New paleolimnological data. *Doklady*
734 *Earth Sciences*. 506(1), 693-697. <https://doi.org/10.1134/S1028334X22700076>
- 735 Kuznetsov, D.D., Subetto, D.A., Sapelko, T.V., Ludikova, A.V. (2015). Hydrographic
736 network of northern part of the Karelian Isthmus in Holocene according to sediments of the
737 small lakes. *Geomorfologiya*, 1, 54-69. (In Russian). [https://doi.org/10.15356/0435-4281-](https://doi.org/10.15356/0435-4281-2015-1-54-69)
738 2015-1-54-69
- 739 Kvasov, D.D. (1975). Late Quaternary history of large lakes and inland seas of Eastern
740 Europe. Leningrad: Nauka Publ. 278 p. (In Russian)
- 741 Long, A.J., Woodroffe, S.A., Roberts, D.H., Dawson, S. (2011). Isolation basins, sea-
742 level changes and the Holocene history of the Greenland Ice Sheet. *Quaternary Science*
743 *Revue*, 30, 3748-3768. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.10.013>
- 744 Ludikova, A.V. (2015). Diatom evidences for the mid-Holocene Lake Ladoga
745 transgression. *Izvestia RGO*, 147(4), 38-51. (In Russian)
- 746 Ludikova, A.V., Kuznetsov, D.D., Subetto, D.A., Sapelko, T.V. (2016). Using the
747 “isolation basins” method in reconstructing changes in the level of Lake Ladoga. In: *All-*
748 *Russian Conference on Large Inland Reservoirs (V Ladoga Symposium)*. St.-Petersburg:
749 Lemma Publ., 247-253. (In Russian)
- 750 Malakhovsky, D.B., Arslanov, Kh.A., Gey, N.A., Dzhinoridze, R.N., Kozyreva, M.G.
751 (1993). New data on the Holocene history of Lake Ladoga. In: *Evolution of natural*
752 *environments and the current state of the geosystem of Lake Ladoga*. St.-Petersburg: Russian
753 Geographical Society Publ., 61-73. (In Russian)
- 754 Markov, K.K. (1949). The post-glacial history of the southeast coast of Lake Ladoga.
755 *Voprosy geografii*, 12. (In Russian)
- 756 Markov, K.K., Poretsky, V.S., Shlyapina, E.V. (1934). On fluctuations in the level of
757 Ladoga and Onega lakes in postglacial time. *Travaux de la Commission pour l'étude du*
758 *Quaternaire*, 4(1), 71-113. (In Russian)
- 759 Nikonov, A.A. (2009). The birth of the Neva is stormy and hidden. *Obschestvo, Sreda,*
760 *Razvitie (Terra Humana)*, 1, 212-229. (In Russian)
- 761 Reimer, P.J., Austin, W.E.N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey,
762 C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P.,
763 Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., Manning, S.W., Muscheler,

764 R., Palmer, J.G., Pearson, C., van der Plicht, J., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M.,
765 Southon, J.R., Turney, C.S.M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni,
766 S.M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J.,
767 Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A., Talamo, S. (2020). The IntCal20 Northern
768 Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62(4), 725-
769 757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>

770 Saarnisto, M. (1970). The Late Weichselian and Flandrian history of the Saimaa Lake
771 Complex. *Societas Scientiarum Fennica, Commentationes Physico-Mathematicae*, 37, 107 p.

772 Saarnisto, M., Grönlund, T. (1996). Shoreline displacement of Lake Ladoga – new
773 data from Kilpolansaari. *Hydrobiologia*, 322, 205-215. <https://doi.org/10.1007/BF00031829>

774 Sapelko, T.V., Gusentsova, T.M., Kulkova, M.A., Ludikova, A.V., Denisenkov, V.P.,
775 Korneenkova, N.Yu. (2019). Ladoga Transgression and Landscapes of the Holocene second
776 half in the Southern Ladoga area (according to the study of the archaeological site Podolje-1).
777 *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 5, 78-95. (In Russian).
778 <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019578-95>

779 Sheffer, E.G. (1967). Some features of the development of the Southern Ladoga area
780 in the Holocene. *Vestnik of Saint-Petersburg University*, 12, 159-162. (In Russian)

781 Sheetov, M.V., Biske, Yu.S., Sumareva, I.V. (2010). Late Holocene seismic event in
782 the southeastern Ladoga region. II. Options. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Series 7.*
783 *Geology, geography*, 3, 18-28. (In Russian)

784 Sheetov, M.V., Biske, Yu.S., Nosov, Ye.N., Pleshivtseva, E.S. (2004). Environment
785 and human of lower Volkhov region at final stage of Ladoga transgression. *Vestnik of Saint-*
786 *Petersburg University. Series 7. Geology, geography*, 3, 3-15. (In Russian)

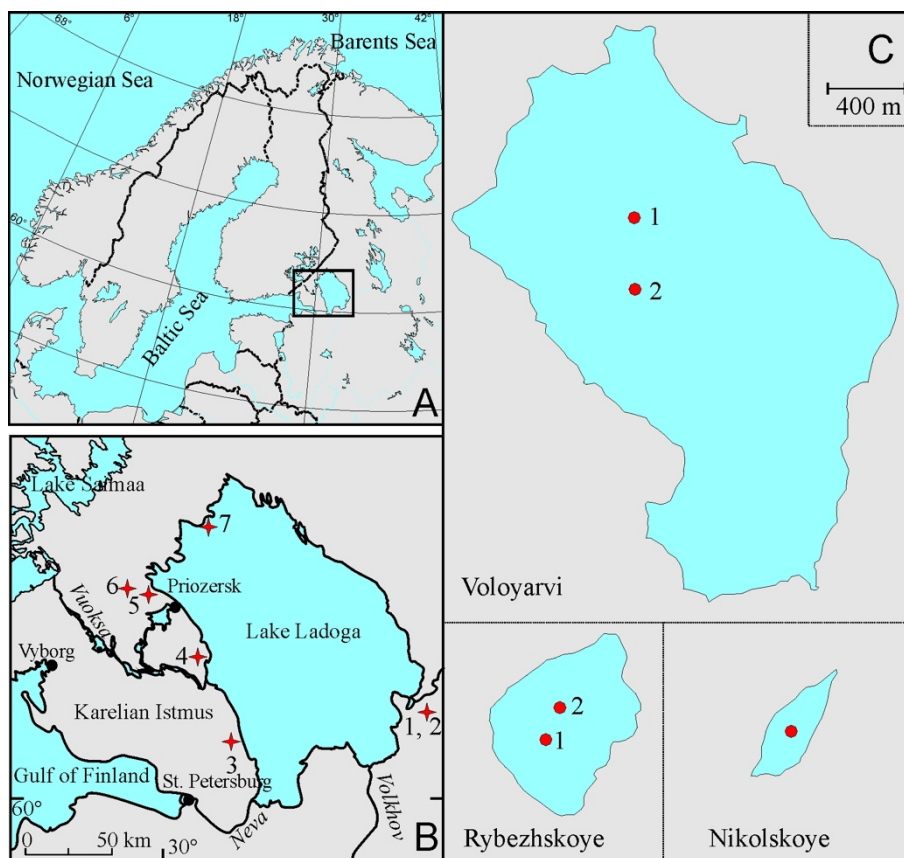
787 Subetto, D.A. (2009). *Lake sediments: paleolimnological reconstructions*. St.
788 Petersburg: Herzen University Publ. 343 p. (In Russian)

789 Znamenskaya, O.M., Sokolova, V.V., Khomutova, V.I. (1970). Comparative analysis
790 of paleogeographic conditions for the development of the southern and western shores of
791 Lake Ladoga. In: *History of the lakes*. Vilnius, 319-331. (In Russian)

792

793 **Figures**

794



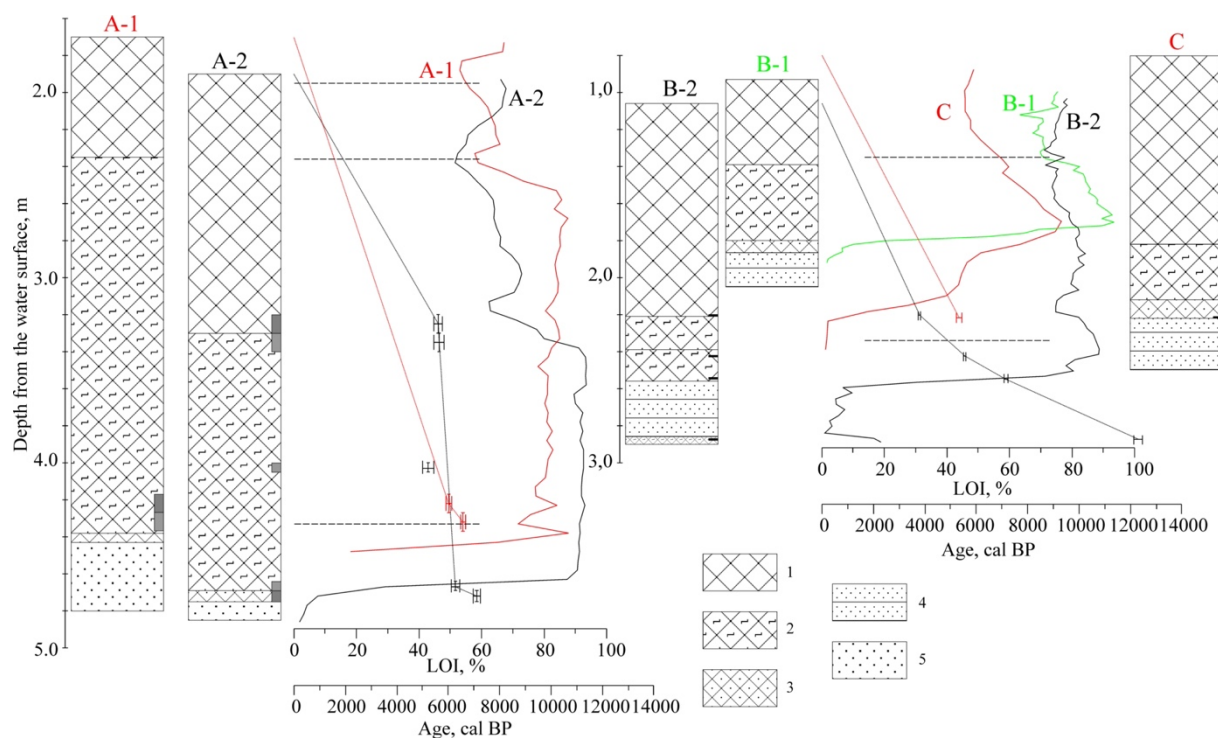
795

796

797 and Nikolskiye, 3 – Voloyarvi, 4 – Shchukinskoye, 5 – Uzlovoye, 6 – Bol'shoye Zavetnoye;

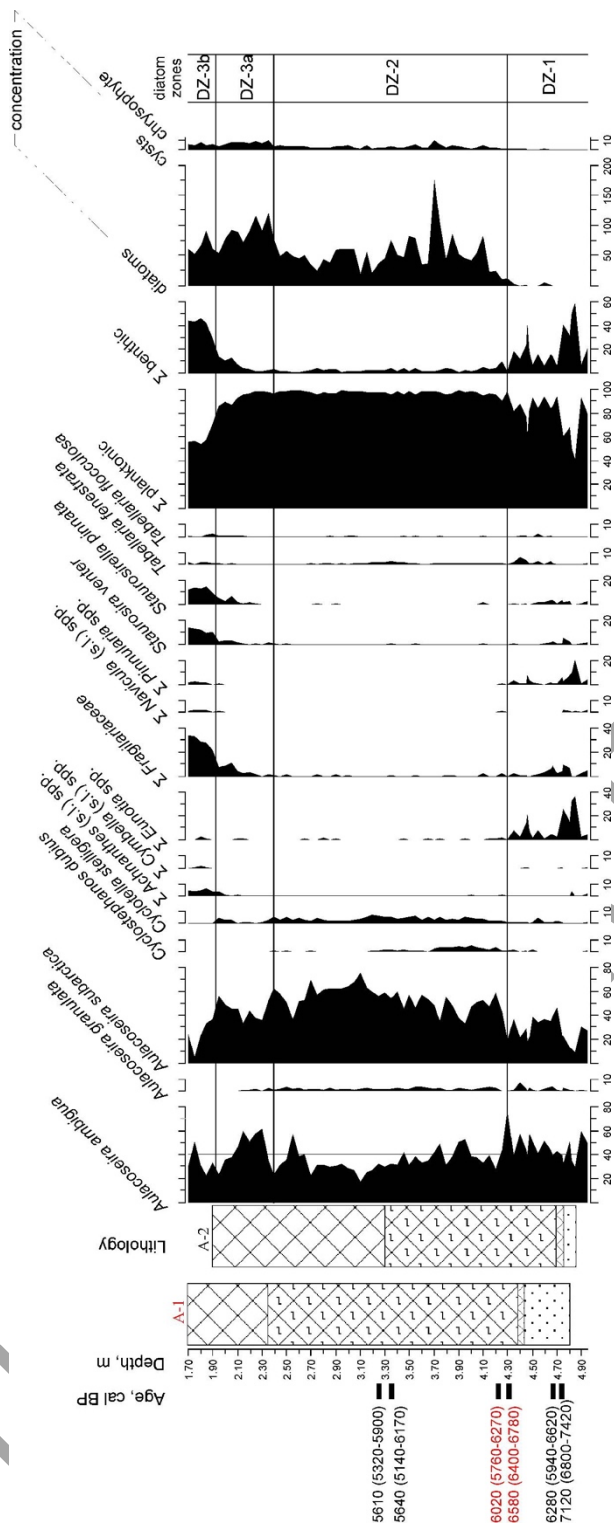
798 7 – St. Sergius; C: location of the sampling points).

799



800
 801 Fig. 2. Lito- and biostratigraphy of the sediments of lakes Voloyarvi (A),
 802 Rybezhsckoye (B), Nikolsckoye (C). Dashed line – the boundaries of diatom zones, in
 803 accordance with Fig. 3 and 4. The legend: 1 – gyttja, 2 – coarse detritus gyttja, 3 – sandy
 804 gyttja, 4 – sand with layers of organic matter, 5 – sand/silt. A-1, A-2, B-1, B-2 – cores
 805 numbers. Rectangles on lithological cores represent the position of the samples taken for
 806 dating. On the depth/age curves, the age values are shown with an error of 1σ . The color of
 807 the curves corresponds to the color of the core number.

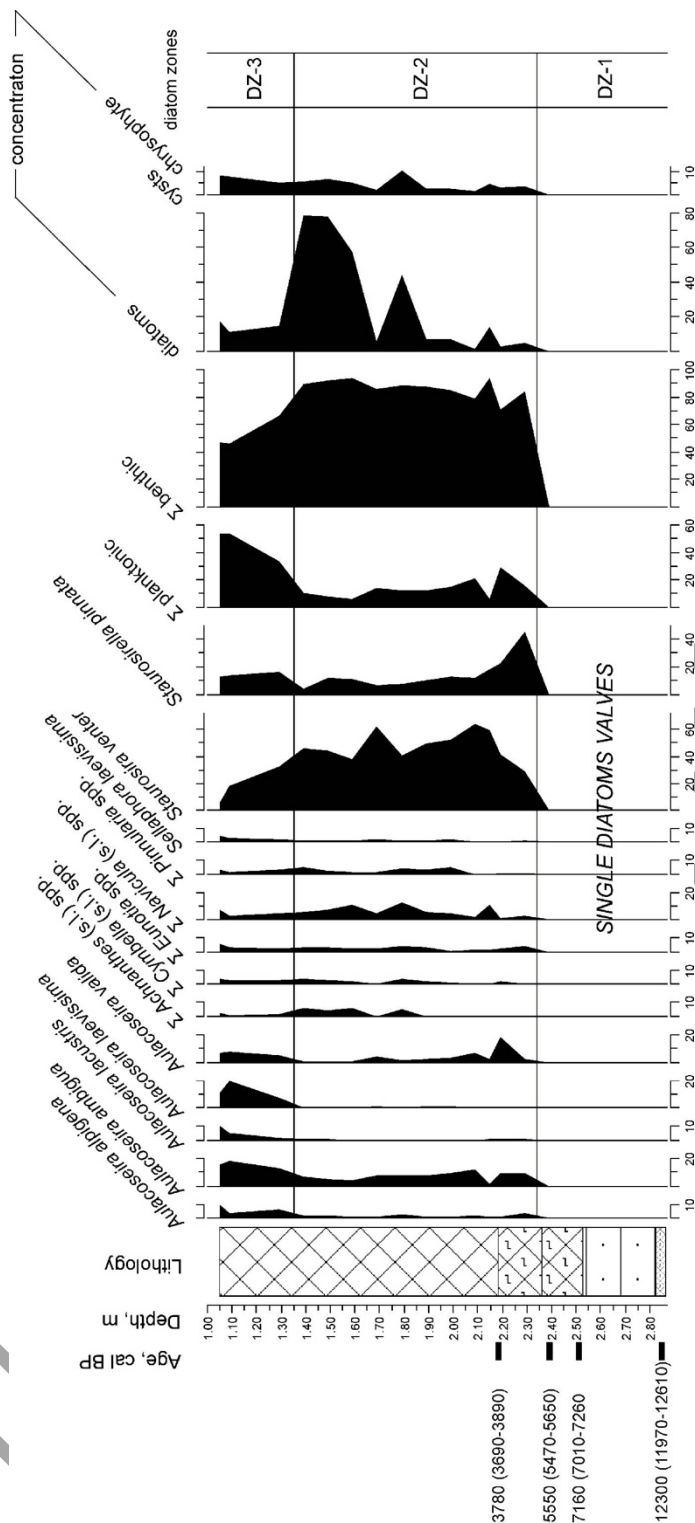
808



809

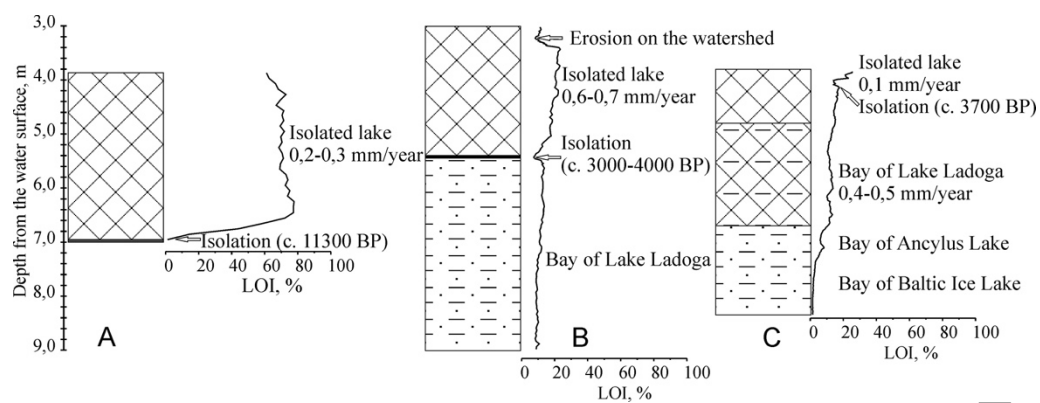
810 Fig. 3. Diatom diagram for Lake Volojarvi: main diatom taxa and concentrations of
 811 diatom valves and chrysophyte cysts. The legend to lithostratigraphic cores is in accordance
 812 with Fig. 2. The dates obtained from column A-1 are highlighted in red.

813



814
815
816
817
818

Fig. 4. Diatom diagram for Lake Rybezhskeye: main diatom taxa and concentrations of diatom valves and chrysophyte cysts. The legend to lithostratigraphic cores is in accordance with Fig. 2.



819

820

821 Ladoga area – Lake Shchukinskoye (A), Uzlovoye (B) and Bol'shoye Zavetnoye (C) (after

822 Kuznetsov et al., 2015; Alenius et al., 2020).

823