

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



Стадия Анцилового озера в осадочной летописи его восточной периферии

*Лудикова Анна Валерьевна, Кузнецов Денис Дмитриевич,
Шаталова Ангелина Евгеньевна*

DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu07.2025.107>

Дата получения рукописи: 16.05.2024

Дата принятия рукописи в печать: 27.12.2024

Для цитирования: Лудикова А. В., Кузнецов Д. Д., Шаталова А. Е. (2025) Стадия Анцилового озера в осадочной летописи его восточной периферии. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 70 (1).

<https://doi.org/10.21638/spbu07.2025.107>

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 551.8

2

3 **Стадия Анцилового озера в осадочной летописи его восточной периферии¹**

4

5 Лудикова Анна Валерьевна¹, Кузнецов Денис Дмитриевич¹, Шаталова Ангелина
6 Евгеньевна²

7

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

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

12

13 Лудикова А.В.: ellerbeckia@yandex.ru

14 ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6022-2455>

15 Кузнецов Д.Д.: dd_kuznetsov@mail.ru

16 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8864-9936>

17 Шаталова А. Е.: shatalova10@gmail.com

18

19 Контактное лицо:

20 Лудикова Анна Валерьевна

21 Телефон +7 921 421 76 95

22 Email: ellerbeckia@yandex.ru

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

24

25 **Аннотация**

26 Стадия Анцилового озера – раннеголоценовая стадия развития Балтийского
27 моря, во время которой в результате изостатически обусловленного прекращения

¹ **Финансирование**

Исследование проведено в рамках государственного задания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН по теме № FFZF-2024-0001 (А.В. Лудикова, Д.Д. Кузнецов). Работа А.Е. Шаталовой выполнена при поддержке гранта РФФИ-аспиранты № 20-35-90089.

28 соединения с Мировым океаном в его котловине возник крупный трансгрессирующий
29 пресноводный водоем. В этот период прибрежные низменности современного
30 Финского залива оказались затопленными, а Ладожское озеро, крупнейший водоем
31 Европы, соединялось с анциловым бассейном через пролив в северной части
32 Карельского перешейка. Несмотря на длительную историю изучения донных
33 отложений Ладожского озера, остается целый ряд до конца не решенных вопросов,
34 касающихся раннего этапа его истории. К ним относятся обнаружение осадков
35 анциловой стадии, уточнение площади, конфигурации и глубин водоема,
36 существовавшего в этот период в ладожской котловине. С целью выявления
37 свидетельств анциловой трансгрессии были изучены колонки донных отложений
38 открытой части Ладожского озера и малых озер северной части Карельского
39 перешейка. Диатомовый анализ ладожских осадков выявил присутствие в составе
40 диатомовых комплексов характерных анциловых видов. Однако их обнаружение в
41 отложениях не только анцилового времени, но и всего раннего голоцена ограничивает
42 их индикаторный потенциал для выявления сигналов анциловой трансгрессии в
43 Ладожском озере. Динамика содержания бентосных диатомей представляется более
44 информативной для реконструкций изменения условий среды и уровня Ладожского
45 озера в раннем голоцене.

46 Присутствие в значительных количествах индикаторных анциловых видов в
47 раннеголоценовых отложениях малых озер северной части Карельского перешейка
48 указывает на формирование диатомовых комплексов в условиях единого бассейна –
49 Анцилового озера, и свидетельствует в пользу проникновения его вод в ладожскую
50 котловину.

51

52 **Ключевые слова:** диатомовые водоросли, анциловая трансгрессия, Балтийское море,
53 Ладожское озеро, Карельский перешеек, ранний голоцен, донные отложения.

54

55 1. Введение

56 Анциловое озеро – пресноводный бассейн, существовавший в балтийской
57 котловине в раннем голоцене, ~10700-10200 кал. л.н. (Andrén et al., 2011). Стадия
58 Анцилового озера пришла на смену непродолжительной солоноватоводной стадии
59 Иольдиевого моря. Образование в балтийской котловине пресноводного бассейна
60 связано с гляциоизостатическим поднятием центральной Швеции и обмелением
61 существовавшего здесь соединения с Мировым океаном (Björck, 2008). Прекращение

62 поступления морских вод и уменьшение пропускной способности проливов, через
63 которые осуществлялся сток из Балтики, а также продолжающееся поступление в
64 балтийскую котловину больших объемов талых ледниковых вод, привело к
65 возникновению здесь пресноводного трансгрессирующего водоема.

66 Впервые предположение о пресноводной стадии Балтики в послеледниковое
67 время было выдвинуто шведским геологом Х. Мунте (Munthe, 1887, цит. по Freden
68 1967) на основании находок на острове Готланд слоев послеледниковых отложений,
69 содержащих раковины пресноводных моллюсков *Ancylus fluviatilis*. Он использовал
70 термин «анциловое побережье», и сделал важный вывод о том, что характер и
71 расположение этих своеобразных берегов доказывают, что Балтийское море когда-то
72 было пресноводным. Название «Анциловое озеро» для пресноводного бассейна,
73 существовавшего в раннем голоцене в котловине Балтийского моря, было впервые
74 применено шведским геологом Г. де Геером (De Geer, 1890, цит. по Freden, 1967).

75 Диатомовый анализ анциловых осадков, вскрытых по периферии Балтики – в
76 береговых обнажениях и разрезах озерно-болотных отложений, а позднее и в донных
77 осадках самой Балтийской котловины, позволил выделить группу индикаторных видов
78 Анцилового озера. В частности, в результате изучения отложений анциловой стадии на
79 побережье Финского залива был выявлен руководящий комплекс диатомей,
80 характерный для анциловых осадков северо-западной части Ленинградской области и
81 синхронных отложений Швеции и Финляндии (Жузе, 1939). Среди них – планктонная
82 *Aulacoseira islandica* и бентосные *Diploneis domblittensis*, *D. maulerii*, *Ellerbeckia*
83 *arenaria*, *Epithemia hyndmannii*, *Eunotia clevei*, *Navicula jentzschii*, *N. scutelloides*,
84 *Opephora martyi* (Жузе, 1939, 1952, 1961). По своим экологическим предпочтениям
85 данные виды характерны для глубоких, прозрачных, холодноводных озер. В ходе
86 изучения анциловых осадков в Балтийской котловине и разрезах озерно-болотных
87 отложений Карельского перешейка (Давыдова и др., 1970; Вишневецкая и др. 1970) этот
88 список был расширен: в него были включены, в частности, планктонные *Cyclotella*
89 *bodanica* и *Stephanodiscus neoastraea* и бентосные *Cocconeis disculus*, *Cymatopleura*
90 *elliptica*, *Fragilaria inflata*, *Gyrosigma attenuatum* и *Navicula fennoscandica* (*N. aboensis*).
91 Дальнейшие исследования (Блажчишин и др., 1974; Знаменская, Черемисинова, 1974;
92 Alhonen, 1986; Glückert and Ristaniemi, 1982; Hedenström and Risberg, 1999; Tillman and
93 Risberg, 2006 и др.) продемонстрировали высокое сходство видового состава
94 диатомовых комплексов в анциловых отложениях. Это позволило говорить о сходных

95 экологических условиях, существовавших в различных частях анцилового бассейна и
96 благоприятствовавших развитию определенных видов диатомей.

97 Впервые гипотеза о том, что Ладожское озеро являлось заливом Анцилового
98 озера, была детально проработана в монографии Ю. Айлио (1915). Основываясь на
99 изучении геоморфологических профилей и обнажений на территории Карельского
100 перешейка и Приладожья, он пришел к выводу о том, что в эпоху анциловой
101 трансгрессии Ладожское озеро соединялось с балтийским бассейном через широкий
102 пролив в северной части Карельского перешейка. В период максимума анциловой
103 трансгрессии прибрежная полоса южного Приладожья была затоплена, а в верховьях
104 современной р. Невы располагался глубоко врезаемый в сушу залив. Регрессия
105 Анцилового озера, в свою очередь, привела к понижению береговой линии Ладоги на 6
106 м ниже современной.

107 В дальнейшем изучение древних береговых форм рельефа на северных берегах
108 Ладожского озера и датирование погребенных торфяников выявило береговые линии
109 Анцилового озера на отметках 21-23 м (напр., Кошечкин и Экман, 1993). Было
110 установлено, что уровень Ладоги в период анциловой трансгрессии достигал в
111 северном Приладожье 18-25 м (Севастьянов и др., 2001). Возрастная привязка
112 анциловых отложений по периферии восточной части Финского залива выполнялась по
113 данным спорово-пыльцевого анализа. В ранних работах (Марков, 1934) их возраст
114 относили ко 2-й половине зоны IX и зонам VIII и VII фон Поста, в дальнейшем – к
115 бореальному времени по шкале Блитта-Сернандера (История..., 1990).

116 Положение береговой линии анцилового времени в южном Приладожье по-
117 прежнему представляет дискуссионный вопрос. Предположение о том, что береговые
118 линии Анцилового озера отсутствуют в южном Приладожье, поскольку должны лежать
119 ниже современного уровня Ладожского озера, высказанное К.К. Марковым (Марков,
120 1949), получило подтверждение в ходе изучения колонок донных отложений из самого
121 Ладожского озера. Было установлено, что в южной мелководной части котловины
122 отсутствуют раннеголоценовые осадки, и отложения суббореального и
123 субатлантического возраста залегают непосредственно на позднеледниковых глинах
124 (Семенович, 1966). Из этого был сделан вывод о глубокой регрессии Ладожского озера
125 в раннем голоцене, связанной с катастрофическим спуском Балтийского ледникового
126 озера (БЛО) ~11600 кал. л.н. и прекращением поступления вод из балтийского бассейна
127 в ладожскую котловину. В результате этой регрессии уровень Ладожского озера мог

128 понизиться до отметок –40 м (Абрамова и др., 1967; Квасов, 1975), а в эпоху анциловой
129 трансгрессии произошел его подъем до изобат –20 м (Квасов, 1975; Субетто 2002;
130 2007).

131 В работах, посвященных диатомовому анализу донных осадков северной
132 прибрежной части Ладожского озера, некоторые характерные анциловые виды
133 отмечаются уже в отложениях позднего дриаса и пребореала и становятся более
134 многочисленными в бореальное время (История..., 1990; Давыдова, 2002). Также в этот
135 период отмечается преобладание бентосных диатомей, из чего был сделан вывод о том,
136 что анциловая трансгрессия не проявилась в северо-западной части ладожской
137 котловины, т.к. этому помешало продолжающееся изостатическое поднятие (Давыдова
138 и Субетто, 2000; Давыдова, 2002).

139 Таким образом, несмотря на длительную историю изучения, остается целый ряд
140 до конца не решенных вопросов, касающихся раннего этапа истории развития
141 Ладожского озера. К ним относится собственно выделение отложений анциловой
142 стадии в толще раннеголоценовых осадков, установление влияния анциловой
143 трансгрессии на экосистему Ладожского озера, а также уточнение площади,
144 конфигурации и глубины водоема, существовавшего в этот период в ладожской
145 котловине. Отдельную проблему представляет недостаточное количество
146 датированных разрезов донных отложений Ладожского озера, обусловленное низким
147 содержанием в них органического вещества.

148 Целью настоящей работы является выявление сигналов анциловой трансгрессии
149 по данным диатомового анализа колонок донных отложений открытой части
150 Ладожского озера и малых озер северной части Карельского перешейка, через которую
151 воды Анцилового озера могли поступать в ладожскую котловину (Квасов, 1975).
152 Результаты диатомового анализа рассматриваемых колонок донных отложений с той
153 или иной степенью детальности были опубликованы в (Лудикова, 2018; Alenius et al.,
154 2020; Ludikova et al., 2020; Лудикова и Кузнецов, 2021; Kostrova et al., 2019; Sapelko et
155 al., 2019; 2024 in press). Однако диатомовым комплексам раннего голоцена в
156 Ладожском озере, и в частности, проблеме выявления свидетельств анциловой
157 трансгрессии ранее не было уделено достаточно внимания. Поэтому в настоящей статье
158 подробно рассмотрены особенности состава именно раннеголоценовых диатомовых
159 комплексов. Применение метода ускорительной масс-спектрометрии (напр., Kostrova et
160 al., 2019; Sapelko et al., 2019; 2024 in press) позволило «привязать» результаты
161 диатомового анализа к абсолютной хронологии.

162

163 2. Материалы и методы

164 Колонки донных отложений Ладожского озера были отобраны в его
165 центральной части с глубин 54 м и 68 м (в районе станций №№ 39 и 82
166 мониторинговой сетки Института озераедения РАН) в рамках регулярных
167 экспедиционных работ ИНОЗ РАН (Sapelko et al., 2019; 2024 in press). В рамках
168 российско-немецкого проекта PLOT (Gromig et al., 2019) отобрана колонка Co1309 в
169 северо-западном глубоководном районе с глубины 111 м (Рис. 1). Мощность изученных
170 колонок составила от ~1,25 м до ~2 м. Определение возраста отложений методом
171 ускорительной масс-спектрометрии (AMS) было выполнено в Лаборатории
172 радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии Института географии РАН
173 (г. Москва) и Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии
174 (США), а также в Центре CologneAMS Университета г. Кёльн, Германия. Подробное
175 описание лабораторных и аналитических процедур и обсуждение результатов
176 датирования опубликовано в (Gromig et al., 2019; Sapelko et al., 2019; 2024 in press).

177 Описание пробоотбора и датирования донных осадков из малых озер северной
178 части Карельского перешейка – прибрежной части Финского залива (озеро Голубое, 12
179 м над у.м.) и северо-западного Приладожья (озеро Большое Заветное, 17 м над у.м.), –
180 приведено в (Alenius et al., 2020; Ludikova et al., 2020).

181 Пробы для диатомового анализа из ладожских колонок отбирали с интервалом
182 0-8 см, из кернов донных отложений озер Карельского перешейка – с интервалом 4-10
183 см. Осадок предварительно высушивали при комнатной температуре для
184 последующего расчета концентраций кремнистых микрофоссилий в 1 г. сухого
185 вещества (Давыдова, 1985). Пробоподготовка для диатомового анализа выполнена по
186 стандартным методикам (Давыдова, 1985; Жузе и др., 1974). Удаление глинистой
187 фракции осуществлялось методом повторной декантации. Минимум 500 створок
188 подсчитывалось в каждой пробе, за исключением образцов с низким содержанием
189 створок: в них подсчет прекращался после просмотра 10 параллельных рядов
190 препарата.

191 Выделение индикаторных видов анциловой трансгрессии осуществлялось с
192 учетом опубликованных материалов (Жузе 1939; 1952; 1961; Вишневская и
193 Клейменова, 1970; Давыдова и др., 1970; Блажчишин и др., 1974; Знаменская и
194 Черемисинова, 1974; Клейменова и Вишневская, 1989; Клейменова и др. 1992; Glückert
195 and Ristaniemi, 1982; Alhonen, 1986; Ristaniemi and Glückert, 1987; Hedenström and

196 Risberg, 1999; Saarnisto et al., 1999; Tillman et al., 2006; Miettinen et al., 2007; Emelyanov
197 and Vaikutiene, 2013). При этом такие виды, как *Aulacoseira islandica* и *Stephanodiscus*
198 *neoastraea*, относимые к руководящим таксонам для анциловой стадии Балтики, были
199 исключены нами из суммы анциловых видов, поскольку они являются также
200 характерными видами голоценового планктона Ладожского озера и ряда малых озер
201 Карельского перешейка (Давыдова, 1985).

202 Индекс флористического разнообразия (ИФР) рассчитывали как отношение
203 числа видов, определенных в пробе, к сумме подсчитанных в пробе створок (Bennion
204 1995). При низком разнообразии ИФР стремится к 0, при высоком – к 1. Параллельно
205 со створками диатомей подсчитывались кремнистые цисты хризифитов (золотистых
206 водорослей), образующиеся в ходе полового процесса или при возникновении
207 неблагоприятных условий среды. Отношение «цисты : диатомеи», отражающее
208 конкурентное преимущество той или другой группы микроводорослей в ходе
209 изменения трофического статуса водоема и других параметров водной среды,
210 рассчитано как отношение количества цист хризифитов, подсчитанных в пробе, к
211 сумме цист и панцирей диатомей (1 панцирь = 2 створки), выраженное в процентах
212 (Smol, 1985). Диатомовые диаграммы построены с использованием программы для
213 визуализации палеоэкологических данных C2 Version 1.7 (Juggins, 2007). Шкала
214 возраста для колонки 1309 опубликована в (Kostrova et al., 2019); возрастные шкалы
215 для колонок со станций № 39 и 82 на диатомовых диаграммах построены путем
216 интерполяции датировок, опубликованных в (Sapelko et al., 2019; 2024 in press).

217

218 3. Результаты

219 3.1. Ладожское озеро

220 Станция №39 (глубина 54 м; Рис. 2). До ~9500 кал. л.н. створки диатомей в
221 осадках сравнительно малочисленны (не >540 тыс. в 1 г сухого осадка). Самые низкие
222 концентрации отмечены во временных интервалах до ~11700 кал. л.н. (в основном <70
223 тыс. створок) и ~10500-10000 кал. л.н. (30-90 тыс.). До ~10600 кал. л.н. в составе
224 диатомовых комплексов преобладают бентосные виды (61-95%), после ~10000 кал. л.н.
225 их доля снижается до 24%. Среди них преобладают мелкоклеточные обрастатели из
226 семейства Fragilariaceae (*Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosira binodis*, *S. venter*,
227 *Staurosirella pinnata*; Sapelko et al., 2024 in press), массово развивающиеся на
228 мелководьях больших и малых озер. Планктонные диатомеи представлены практически
229 исключительно *Aulacoseira islandica*. Суммарное содержание остальных анциловых

230 видов в период до ~10600 кал. л.н. составляет 8-29%, в интервале ~10000-9500 кал. л.н.
231 сокращается до 4,5%. Наибольшей численности достигают *Opephora martyi* (до 18%),
232 *Fragilaria inflata* (до 12%), *Navicula jentzschii* (до 7,5%), *Cocconeis disculus* (до 5.5%).
233 Крайне низкое содержание створок диатомей в интервале 10600-10000 кал. л.н.,
234 соответствующем анциловой стадии, не позволило рассчитать процентное содержание
235 анциловых видов в составе диатомовых комплексов и другие количественные
236 показатели. В интервале до ~9500 кал. л.н. отмечаются наиболее высокие значения
237 отношения «цисты : диатомеи» (49-73%) и ИФР (0.05-0.1).

238 В дальнейшем происходит резкое увеличение концентрации створок диатомей
239 (макс. 72 млн.). Доминируют планктонные диатомеи, среди которых преобладает *A.*
240 *islandica* (53-94%). Во второй половине голоцена в составе диатомовых комплексов в
241 статистически значимых количествах отмечается планктонный *Stephanodiscus*
242 *neoastraea*. Численность бентосных видов в основном не превышает 10%. Доля
243 анциловых видов заметно снижается, и начиная с ~9000 кал. л.н., они отмечаются лишь
244 спорадически с суммарной численностью, редко превышающей 1%. Значения
245 отношения «цисты : диатомеи» снижаются вверх по разрезу с ~40-50% до 10-20%.
246 ИФР не превышает 0.05.

247 **Станция №82** (глубина 68 м; Рис. 3). До ~10800 кал. л.н. в осадках отмечено
248 минимальное содержание створок диатомей (3,5-35 тыс. в 1 г сухого осадка). В
249 интервале ~10800-9500 кал. л.н. концентрации створок возрастают (365 тыс.-3,2 млн.).
250 Преобладают диатомеи планктона (76-89%) доминирует *Aulacoseira islandica* (48-88%),
251 однако в интервале ~10600-10100 кал. л.н. с численностью >10-31% отмечена
252 *Aulacoseira subarctica* (Лудикова и Кузнецов, 2021). Доля бентосных видов в интервале
253 ~10800-9500 кал. л.н. сравнительно высока (11-24%), в их составе преобладают
254 мелкоклеточные представители семейства *Fragilariaceae* *Staurosira venter* и *Staurosirella*
255 *pinnata*. Суммарное содержание анциловых видов в этот период составляет 4,5-9%. В
256 статистически значимых количествах отмечены лишь *Fragilaria inflata* (1-7%) и
257 *Opephora martyi* (1-4%). С численностью <1% наиболее часто встречались *Cocconeis*
258 *disculus*, *Navicula jentzschii* и *N. scutelloides*. Характерны максимальные значения
259 отношения «цисты : диатомеи» (49-63%) и ИФР (0.03-0.05).

260 После ~9500 кал. л.н. концентрации створок диатомей продолжают возрастать
261 (макс. 94 млн.). Преобладают планктонные диатомеи (85-100%), из которых наиболее
262 многочисленна *Aulacoseira islandica*. Начиная с ~6200 кал. л.н. в составе диатомовых
263 комплексов в статистически значимых количествах присутствует планктонный

264 *Stephanodiscus neoastraea*. Доля «анциловых» видов сокращается, и, начиная с ~8500
265 кал. л.н., они отмечаются в составе диатомовых комплексов лишь спорадически, как
266 правило, с численностью не >1,5%. Отношение «цисты : диатомеи» снижается и после
267 ~4500 кал. л.н. не превышает 25%. ИФР сокращается до 0.02-0.04, но во второй
268 половине голоцена возрастает до 0.07.

269 **Станция №Co1309** (глубина 111 м; Рис. 4). До ~11200 кал. л.н. отмечены самые
270 низкие концентрации створок диатомей (<70 тыс. в 1 г сухого осадка). В интервале
271 ~11200-8000 кал. л.н. концентрации створок возрастают до 3-12 млн. Доминируют
272 диатомеи планктона (78-99%), из которых наиболее многочисленна *Aulacoseira*
273 *islandica*, однако в интервале ~9400-8500 кал. л.н. увеличивается содержание *A.*
274 *subarctica* (см. Лудикова, 2018; Kostrova et al., 2019), а также заметно возрастает доля
275 диатомей бентоса (14-22%). Численность планктонного *Stephanodiscus neoastraea*
276 составляет 1-2%. Максимальное (4-7%) содержание анциловых видов без учета *A.*
277 *islandica* и *S. neoastraea* отмечено в интервале ~10400-8000 кал. л.н. С численностью
278 >1% здесь отмечены бентосные *Cymbella sinuata*, *Diploneis domblittensis*, *Fragilaria*
279 *inflata*, *Navicula aboensis*, *Opephora martyi*. Содержание других анциловых видов <1%.
280 В этом же интервале значения соотношения «цисты : диатомеи» резко возрастают с 5%
281 до 38%, ИФР составляет 0,02-0,07.

282 В дальнейшем (после ~8000 кал. л.н.) концентрации створок продолжают
283 возрастать (макс. 57 млн.). Доминируют планктонные диатомеи (80-96%), преобладает
284 *A. islandica*, *S. neoastraea* постоянно присутствует в составе диатомовых комплексов с
285 численностью 1-5%. Доля остальных анциловых диатомей в основном не превышает
286 1%. Отношение «цисты : диатомеи» снижается, ИФР возрастает (0,04-0,1).

288 3.2. Карельский перешеек

289 **Озеро Большое Заветное** (17 м над у.м.; Рис. 5). В интервале 8,35-7,65 м (от
290 поверхности воды) концентрации створок диатомей в основном не превышают 30 тыс.
291 в 1 г сухого осадка. В нижней части интервала преобладают диатомеи планктона, из
292 которых наиболее многочисленна *Aulacoseira islandica*. В верхней части возрастает до
293 50-62% доля бентосных диатомей. Суммарное содержание анциловых видов составляет
294 4-12%. Из них с наибольшей численностью отмечена *Opephora martyi* (2-12%), доля
295 *Cymbella sinuata*, *Navicula aboensis* и некоторых других видов составляет 1-2%.
296 Характерны высокие значения отношения «цисты : диатомеи» (22-43%).

297 В интервале 7,65-6,9 м (до ~9400 кал. л.н.) концентрации створок по-прежнему
298 невысоки (в основном не более 86 тыс.). Численность планктонных и бентосных
299 диатомей варьирует в широких пределах (18-54% и 46-82%, соответственно). Доля *A.*
300 *islandica* составляет 16-50%. Отмечено наибольшее суммарное содержание остальных
301 анциловых диатомей (16-65%), из которых наибольшую численность имеют *Ellerbeckia*
302 *arenaria* (до 21%), *Navicula scutelloides* (до 30%) и *O. martyi* (до 19%). С численностью
303 >5% отмечены *Cocconeis disculus*, *Diploneis domblittensis* и *D. mauleri*. Содержание
304 других анциловых видов (*C. sinuata*, *N. aboensis*, *N. jentzschii*) достигает 1-3%. Интервал
305 характеризуется наиболее высокими значениями отношения «цисты : диатомеи» (30-
306 86%).

307 Выше по разрезу отмечается увеличение содержания створок диатомей,
308 особенно заметное (на 2-3 порядка), начиная с глубины 6,7 м (~9400 кал. л.н.). Доля
309 планктонных диатомей, представленных главным образом *A. islandica*, сокращается,
310 тогда как численность бентосных диатомей возрастает у верхней границы
311 рассматриваемого интервала до 86%. Содержание анциловых видов снижается с 5% до
312 <1%. Значения отношения «цисты : диатомеи» в основном не >30%.

313 **Озеро Голубое** (12 м над у.м.; Рис. 6). В интервале 10,18-9,98 см (от
314 поверхности воды; время формирования осадка – после ~9830 кал. л.н.) в составе
315 диатомовых комплексов преобладают диатомеи бентоса (до 76%). Из планктонных
316 диатомей наиболее многочисленна *Aulacoseira islandica* (более 30%). Максимальное
317 содержание остальных анциловых видов достигает 41%, снижаясь у верхней границы
318 интервала до 7%. Из них наибольшую численность (>5-10%) имеют *Navicula jentzschii*,
319 *N. scutelloides* и *Opephora martyi*. Доля других видов (*Achnanthes clevei*, *Cocconeis*
320 *disculus*, *Diploneis domblittensis*, *D. maulerii*, *E. arenaria*) составляет 1-3%. Характерны
321 максимальные значения отношения «цисты : диатомеи» (47-57%).

322 Выше по разрезу доля планктонных диатомей значительно возрастает за счет
323 видов. *Aulacoseira ambigua*, *A. granulata* и *A. subarctica* (Ludikova et al., 2020).
324 Содержание *A. islandica* не превышает 1-5%. Суммарное содержание остальных
325 анциловых видов составляет 0-3%. Значения отношения «цисты : диатомеи» снижаются
326 в несколько раз.

327

328 4. Обсуждение

329 Среди индикаторных видов анциловой стадии Балтики в ладожских отложениях
330 в интервале, соответствующем анциловой трансгрессии (10700-10200 кал. л.н.), помимо

331 *Aulacoseira islandica*, наиболее часто и с наиболее высокой численностью отмечаются
332 *Fragilaria inflata* и *Opephora martyi*. Кроме того, в отложениях всего раннего голоцена,
333 как правило, единично, реже – в статистически значимых количествах присутствуют
334 такие виды «анциловой группы» как *Cocconeis disculus*, *Cymbella sinuata*, *Diploneis*
335 *domblittensis* и *Navicula jentzschii*. Важно отметить, что в отложениях исследованных
336 станций (№№ 39, 82 и Со1309) вышеназванные и другие характерные виды
337 Анцилового озера в незначительных количествах присутствуют также на протяжении
338 всего голоцена. Кроме того, большинство из них, за исключением *C. disculus* и *D.*
339 *domblittensis*, встречаются в Ладожском озере и в настоящее время (Давыдова 1985,
340 Лудикова – неопубл. данные). Присутствие этих олиготрофных, холодолюбивых
341 бентосных видов, очевидно, отражает специфику условий среды в мелководной части
342 ладожской котловины. Однако их встречаемость в составе диатомовых комплексов
343 всего раннего голоцена, а также сравнительно низкое содержание в отложениях более
344 глубоководных станций (№№ 82 и Со1309) ограничивает возможности выявления с их
345 помощью сигналов анциловой трансгрессии. В составе диатомовых комплексов других
346 глубоководных станций в отложениях бореального периода также отмечалось
347 спорадическое присутствие бентосных диатомей, среди которых единично отмечались
348 такие характерные таксоны Анцилового озера, как *Eunotia clevei* и *Ellerbeckia arenaria*
349 (Давыдова, 1985; История..., 1990). В то же время, в одном из мелководных ладожских
350 заливов в отложениях бореального времени были зафиксированы значительные
351 количества индикаторных анциловых видов, таких как *E. arenaria*, *D. domblittensis*,
352 *Gyrosigma attenuatum*, *O. martyi*, *E. clevei*, *Navicula jentzschii*, *N. scutelloides*, *C. disculus* и
353 др. (История..., 1990, Давыдова, 2002). Это дает возможность предположить, что для
354 выявления свидетельств анциловой трансгрессии по данным диатомового анализа
355 более перспективными по сравнению с отложениями открытой части озера, являются
356 донные осадки мелководных заливов северной части Ладоги.

357 Что касается рассматриваемых станций, то здесь, по-видимому, более
358 информативными для реконструкций изменения условий среды и уровня Ладожского
359 озера в раннем голоцене являются данные о численности бентосных диатомей в целом.
360 Интервал, в котором отмечается наиболее высокая доля анциловых видов, на всех
361 изученных станциях совпадает с интервалом наиболее высокого содержания диатомей
362 бентоса. Однако временные рамки и продолжительность этих интервалов различаются.
363 Так, на станции №39, наиболее «мелководной» из изученных (глубина 54 м),
364 максимальное содержание бентосных диатомей (>80%) и наибольшая численность

365 анциловых видов (до 20%) отмечаются до начала анциловой трансгрессии (до ~10600
366 кал. л.н.). Однако отложения, соответствующие времени анциловой трансгрессии,
367 оказались крайне бедны створками диатомей, что не позволило рассчитать процентный
368 вклад указанных групп видов в состав диатомовых комплексов. По завершении
369 трансгрессии, в период ~10000-9500 кал. л.н., доля бентосных видов и суммарное
370 содержание анциловых видов снижаются до <30% и <5%, соответственно. На станции
371 №82 (глубина 68 м) максимальная численность бентосных диатомей и анциловых
372 видов приходится на интервал ~10800-9500 кал. л.н., при этом наибольшее содержание
373 первых совпадает со временем анциловой трансгрессии. На глубоководной станции
374 №Со1309 высокое содержание диатомей бентоса характерно для интервала 10000-8000
375 кал. л.н., а максимальное отмечено в период с ~9400 по 8500 кал. л.н. Наиболее
376 высокое содержание анциловых видов приходится на интервал ~10400-8000 кал. л.н.

377 Высокая доля бентосных диатомей в отложениях раннего голоцена во всех
378 изученных разрезах, очевидно, является свидетельством более низкого по сравнению с
379 современным, уровня Ладожского озера в этот период. Согласно одной из гипотез,
380 регрессия, имевшая место после спуска вод БЛО на рубеже позднего плейстоцена и
381 голоцена, могла достигать глубины ~40 м (Квасов, 1975). В этом случае станция №39 в
382 этот период должна была находиться в мелководной зоне ладожской котловины, что
383 благоприятствовало бы развитию бентосной диатомовой флоры. В современном
384 Ладожском озере наиболее высокое содержание бентосных диатомей (>60-90%) в
385 настоящее время отмечается в поверхностном слое донных осадков на глубинах <10 м
386 в южной части котловины (Лудикова, 2021). Ранее доминирование бентосных диатомей
387 (до 80% и более) в составе диатомовых комплексов пребореального и бореального
388 времени отмечалось в осадках мелководного залива в северо-западной части Ладоги
389 (Давыдова, 2002). Высокие значения ИФР, характерные для ладожских отложений
390 раннего голоцена, обусловлены повышенным содержанием различных бентосных
391 диатомей, что также косвенным образом отражает более низкий уровень озера,
392 обеспечивавший более высокое разнообразие и доступность бентосных местообитаний.
393 Повышенное содержание диатомей бентоса, отмечаемое в раннем голоцене на более
394 глубоководных станциях №82 и №Со1309, вероятно, также указывает на то, что
395 распределение глубин в Ладожском озере в раннем голоцене отличалось от
396 современного.

397 В период анциловой трансгрессии нестабильные условия седиментации
398 существовали в районе станции №39, расположенной у нижней границы деklinальной

399 зоны, соответствующей глубинам от 18 м до 50 м и характеризующейся резким
400 градиентом уклона дна. Низкие концентрации створок диатомей, отмечаемые в этот
401 период в осадках станции №39, свидетельствуют об обстановках, неблагоприятных для
402 их аккумуляции.

403 Снижение доли бентосных видов в составе диатомовых комплексов отмечается
404 на станциях №39 и №82 после ~9500 кал. л.н., и, вероятно, является следствием
405 постепенного подъема уровня Ладожского озера, продолжавшегося на протяжении
406 большей части голоцена, и завершившегося с образованием р. Невы ~3300 кал. л.н.
407 Высокое содержание бентосных диатомей, отмечаемое в отложениях глубоководной
408 станции №Co1309 в интервале ~10000-8000 кал. л.н., возможно, объясняется тем, что
409 повышение уровня озера в северной части ладожской котловины до определенного
410 момента компенсировалось ее гляциоизостатическим поднятием (Давыдова и Субетто,
411 2000). Вероятно, в это время северо-западный глубоководный район, где расположена
412 данная станция, являлся зоной интегральной аккумуляции створок, сносимых с
413 мелководий, по-видимому, более обширных по площади.

414 Устойчивый рост содержания органического вещества в донных осадках в
415 раннем голоцене, рассчитанного через потери при прокаливании для станций №39 и
416 №82, и через анализ содержания общего органического углерода для станции №Co1309
417 (Groming et al., 2019), указывает на повышение продуктивности озерной экосистемы в
418 ходе улучшения природно-климатических обстановок. Таким образом, увеличение
419 концентраций створок в осадках, особенно заметное начиная с ~9500-8700 кал. л.н.
420 вероятно, отражает не только более благоприятные условия для их аккумуляции, но и
421 рост продуктивности водорослевых сообществ в целом.

422 Отложения раннего голоцена характеризуются также наиболее высокими
423 значениями показателя «цисты : диатомей», что отражает высокий вклад золотистых
424 водорослей в состав сообществ кремнистых микроводорослей. Вероятно, этому
425 способствовало практически полное отсутствие конкуренции со стороны летних видов
426 планктонных диатомей и других представителей фитопланктона: преобладающая в
427 составе диатомовых комплексов *A. islandica* является единственным доминантом
428 ранневесеннего планктона, тогда как массовое развитие хризофитов характерно в
429 период биологического лета. Большинство видов золотистых водорослей наиболее
430 успешно конкурируют с диатомеями в олиготрофных условиях. Таким образом,
431 наиболее высокая доля цист хризофитов в отложениях данного периода, по-видимому,
432 указывает на то, что несмотря на увеличение содержания органического вещества в

433 осадках и рост продуктивности, ладожские воды были весьма бедны биогенными
434 элементами.

435 Что касается изученных озер Карельского перешейка, то в них свидетельства
436 анциловой трансгрессии по данным диатомового анализа выявляются более
437 определено. Присутствие в значительных количествах индикаторных видов *C.*
438 *disculus*, *D. domblittensis* и *D. mauleri*, *E. arenaria*, *N. jentzschii* и *N. scutelloides*, *O. martyi*
439 и др. указывает на формирование диатомовых комплексов в котловинах малых озер
440 прибрежной части Финского залива (озеро Голубое) и северо-западного Приладожья
441 (озеро Большое Заветное) в условиях единого бассейна. Это также подтверждает
442 предположение о поступлении вод Анцилового озера в Ладогу через пролив в северной
443 части Карельского перешейка. Большая разница в размерах рассматриваемых водоемов
444 и гипсометрическом положении малых озер и изученных станций в Ладожском озере,
445 по всей вероятности, объясняет менее выраженный сигнал анциловой трансгрессии в
446 донных осадках последнего. Недавние исследования диатомовых водорослей в
447 отложениях других малых водоемов, расположенных в западной и северо-западной
448 частях Карельского перешейка, также выявили высокое содержание индикаторных
449 анциловых видов на раннем этапе их развития (Шаталова и др. 2021; 2022). Высокие
450 значения отношения «цисты : диатомеи», характерны также для анциловых осадков в
451 озерах Голубом и Большом Заветном, что может служить дополнительным аргументом
452 в пользу формирования исследованных отложений в условиях единого Анцилового
453 бассейна. Однако использование этого показателя в качестве биостратиграфического
454 маркера анциловой стадии требует дополнительного изучения.

455

456 5. Заключение

457 В отложениях Ладожского озера, соответствующих времени анциловой
458 трансгрессии (10700-10200 кал. л.н.), отмечены характерные индикаторные виды
459 диатомовых водорослей. Однако их присутствие в составе диатомовых комплексов
460 всего раннего голоцена ограничивает их индикаторный потенциал для выявления
461 сигналов анциловой трансгрессии в Ладожском озере. Более информативными с точки
462 зрения реконструкций изменения условий среды и уровня Ладожского озера в раннем
463 голоцене являются данные о численности бентосных диатомей в целом. Их высокое
464 содержание в отложениях раннего голоцена свидетельствует о более низком, по
465 сравнению с современным, уровне озера. Высокие значения ИФР, характерные для
466 отложений раннего голоцена, вероятно, также указывают на низкий уровень озера,

467 обеспечивавший высокое разнообразие и доступность бентосных местообитаний.
468 Снижение доли бентосных видов после ~9500 кал. л.н. вероятно является следствием
469 начавшегося подъема уровня Ладожского озера, который в северной части котловины
470 до определенного момента компенсировался гляциоизостатическим поднятием.

471 Высокая доля цист золотистых водорослей в отложениях раннего голоцена
472 отражает их вклад в состав фитопланктонных сообществ, и, вероятно, указывает на
473 отсутствие конкуренции со стороны летних видов планктонных диатомей и других
474 микроводорослей.

475 Высокое содержание индикаторных анциловых видов в раннеголоценовых
476 осадках малых озер прибрежной части Финского залива и северо-западного
477 Приладожья свидетельствует о формировании диатомовых комплексов в условиях
478 единого бассейна и подтверждает предположение о том, что воды Анцилового озера
479 могли поступать в Ладогу через пролив в северной части Карельского перешейка.

480

481 **Благодарности**

482 Авторы выражают искреннюю благодарность рецензентам за ценные замечания,
483 позволившие улучшить качество статьи.

484

485 **Литература**

486 Абрамова, С.А., Давыдова, Н.Н., Квасов, Д.Д. (1967). История Ладожского озера
487 в голоцене по данным спорово-пыльцевого и диатомового анализов. В: *История озер*
488 *Северо-Запада*. Л., 113–132.

489 Блажчишин, А.И., Давыдова, Н.Н., Квасов, Д.Д., Хомутова, В.И. (1974).
490 Спорово-пыльцевой и диатомовый анализ четырех колонок донных отложений южной и
491 центральной Балтики. *Baltica*, 5, 119-126.

492 Вишневская, Е.М., Клейменова, Г.И. (1970). Палеоботаническая характеристика
493 поздне- и послеледниковых отложений района Выборга. *Baltica*, 4, 49-62.

494 Давыдова, Н.Н. (1985). *Диатомовые водоросли – индикаторы природных*
495 *условий водоемов голоцена*. Л.: Наука. 224 с.

496 Давыдова, Н.Н. (2002). Развитие экосистемы озера в поздне- и послеледниковые
497 по составу диатомовых комплексов в донных отложениях. В: *Ладожское озеро:*
498 *Прошлое, настоящее, будущее*. СПб.: Наука, 157-164.

- 499 Давыдова, Н.Н., Джиноридзе, Р.Н., Квасов, Д.Д., Масицка, Г., Спиридонова, Е.А.
500 (1970). Новые данные по стратиграфии донных отложений южной Балтики. *Baltica*, 4,
501 33-44.
- 502 Давыдова, Н.Н., Субетто, Д.А. (2000). Геоэкологический мониторинг
503 Ладожского озера по палеолимнологическим данным. В: *Ладожское озеро*.
504 Петрозаводск, 66–75.
- 505 Жузе, А.П. (1961). Диатомовые водоросли в морских и континентальных
506 отложениях голоценового возраста. В: *Вопросы голоцена*. Вильнюс, 115-140.
- 507 Жузе, А.П. (1952). Диатомовые водоросли в отложениях четвертичного возраста.
508 *Материалы по четвертичному периоду СССР*, 3, 99-112.
- 509 Жузе, А.П. (1939). Палеогеография водоемов на основе диатомового анализа.
510 *Труды Верхневолжской экспедиции*, 4. 86 с.
- 511 Жузе, А.П., Прошкина-Лавренко, А.И., Шешукова-Порецкая, В.С. (1974).
512 Методы исследования. В: *Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные)*.
513 Л.: Наука, 50–79.
- 514 Знаменская, О.М., Черемисинова, Е.А. (1974). Развитие бассейнов восточной
515 части Финского залива в поздне- и послеледниковое время. *Baltica*, 5, 95-103.
- 516 *История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки*.
517 (1990). Л.: Наука. 280 с.
- 518 Квасов, Д.Д. (1975). *Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних*
519 *морей Восточной Европы*. Л.: Наука. 278 с.
- 520 Клейменова, Г.И., Вишневская, Е.М. (1989). Новые данные палинологического и
521 диатомового анализов отложений района г. Выборга (пос. Вещево). *Вестник ЛГУ. Сер.*
522 *7*, 2(14), 115-116.
- 523 Клейменова, Г.И., Вишневская, Е.М., Долуханов, П.М. (1992). Голоценовая
524 история палеобассейнов на Ладожско-Балтийском водоразделе. В: *География и*
525 *современность*. СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 129-147.
- 526 Кошечкин, Б.И., Экман, И.М. (1993). Голоценовые трансгрессии Ладожского
527 озера. В: *Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы*
528 *Ладожского озера*. СПб.: изд. РГО, 49-60.
- 529 Лудикова, А.В. (2018). Диатомовые водоросли позднеплейстоцен-голоценовых
530 отложений Ладожского озера. В: *Коллективная монография по материалам ежегодной*
531 *Международной научно-практической конференции LXXI Герценовские чтения*. СПб.:
532 Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 407-412.

533 Лудикова, А.В. (2021). Использование субфоссильных диатомовых комплексов в
534 оценке экологического состояния Ладожского озера. В: *Современное состояние и*
535 *проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях*
536 *изменяющегося климата*. Москва, 84-90.

537 Лудикова, А.В., Кузнецов, Д.Д. (2021). Кремнистые микроводоросли в донных
538 отложениях Ладожского озера и их роль в палеолимнологических реконструкциях.
539 *Известия РГО*, 153(6), 46-64.

540 Марков, К.К. (1949). Послеледниковая история Юго-восточного побережья
541 Ладожского озера. *Вопросы географии*, 12.

542 Марков, К.К. (1934). Поздне- и послеледниковая история окрестностей
543 Ленинграда на фоне поздне- и послеледниковой истории Балтики. *Труды комиссии по*
544 *изучению четвертичного периода*, 4(1), 5-70.

545 Севастьянов, Д.В., Субетто, Д.А., Сикацкая, Е.Д., Степочкина, О.Е. (2001).
546 Особенности эволюции озерно-речной сети в бассейне Ладожского озера в голоцене.
547 *Вестник СПбГУ. Сер. 7*, 1(7), 88-100.

548 Семенович, Н.И. (1966). *Донные отложения Ладожского озера*. М.-Л.: Наука.
549 124 с.

550 Субетто, Д.А. (2007). История формирования Ладожского озера и его
551 соединения с Балтийским морем. *Terra Humana*, 1(2), 111-120.

552 Субетто, Д.А. (2002). Строение, особенности и история формирования донных
553 отложений. В: *Ладожское озеро Прошлое, настоящее, будущее*. СПб.: Наука, 122-136.

554 Шаталова, А.Е., Лудикова, А.В., Субетто, Д.А., Кублицкий, Ю.А., Демидионов,
555 М.Ю. (2021). Реконструкция палеоэкологических условий малых озер Карельского
556 перешейка в связи с изменениями уровня балтийских палеобассейнов (по данным
557 диатомового анализа). *Астраханский вестник экологического образования*, 6, 18-30.
558 <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2021-6-18-30>

559 Шаталова, А.Е., Лудикова, А.В., Субетто, Д.А., Кублицкий, Ю.А., Демидионов,
560 М.Ю. (2022). Реконструкция трансгрессивно-регрессивных стадий Балтийского моря в
561 голоцене на основе диатомового анализа донных отложений изоляционного бассейна
562 на Карельском перешейке. *Астраханский вестник экологического образования*, 6, 58-68
563 <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2022-6-58-68>

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

- 566 Alenius, T, Gerasimov, D, Sapelko, T, Ludikova, A, Kuznetsov, D, Golyeva, A.,
567 Nordqvist, K. (2020). Human-environment interaction during the Holocene along the
568 shoreline of the Ancient Lake Ladoga: A case study based on palaeoecological and
569 archaeological material from the Karelian Isthmus, Russia. *The Holocene*, 30(11), 1622-1636.
570 <https://doi.org/10.1177/0959683620941071>
- 571 Alhonen, P. (1986). Late Weichselian and Flandrian diatom stratigraphy: methods,
572 results and research tendencies. *Stirae*, 24, 27-33
- 573 Andrén, T., Björck, S., Andren, E., Conley, D., Zillen, L., Anjar, J. (2011). The
574 Development of the Baltic Sea Basin During the Last 130 ka. In: *The Baltic Sea Basin*.
575 Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 75-97.
- 576 Bennion, H. (1995). Surface-sediment diatom assemblages in shallow, artificial,
577 enriched ponds, and implication for reconstructing trophic status. *Diatom Research*, 10, 1-19.
- 578 Björck, S. (2008). The BACC: Assessment of climate change for the Baltic Sea Basin.
579 Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 398-407.
- 580 Emelyanov, E. M., Vaikutienė, G. (2013). Holocene environmental changes during
581 tran sition Ancyclus-Litorina stages in the Gdansk Basin, south-eastern Baltic Sea. *Baltica*,
582 26(1), 71-82.
- 583 Fredén, C. (1967) A Historical Review of the Ancyclus Lake and the Svea River.
584 *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*, 89(3), 239-267.
585 <http://dx.doi.org/10.1080/11035896709448372>
- 586 Glückert, G., Ristaniemi, O. (1982).The Ancyclus transgression west of Helsinki, South
587 Finland. A preliminary report. *Ann. Acad. Sci. Fennicae III*, 132, 99-100.
- 588 Gromig, R., Wagner, B., Wennrich, V., Fedorov, G., Savelieva, L., Lebas, E., Krastel,
589 S., Brill, D., Andreev, A., Subetto, D., Melles, M. (2019). Deglaciation history of Lake
590 Ladoga (northwestern Russia) based on varved sediments. *Boreas*, 48, 330-348.
591 <https://doi.org/10.1111/bor.12379>
- 592 Hedenström, A., Risberg, J. (1999). Early Holocene shore-displacement in southern
593 central Sweden as recorded in elevated isolated basins. *Boreas*, 28, 490-504.
- 594 Juggins, S. (2007). *C2 Version 1.5 User guide. Software for ecological and*
595 *palaeoecological data analysis and visualisation*. Newcastle University, Newcastle upon
596 Tyne. 73 p.
- 597 Kostrova, S.S., Meyer, H., Bailey, H.L., Ludikova, A.V., Gromig, R., Kuhn, G.,
598 Shibaev, Y.A., Kozachek, A.V., Ekaykin, A.A., Chaplugin, B. (2019). Holocene hydrological

599 variability of Lake Ladoga, northwest Russia, as inferred from diatom oxygen isotopes.
600 *Boreas*, 48, 361–376. <https://doi.org/10.1111/bor.12385>

601 Ludikova, A.V., Shatalova, A.E., Subetto, D.A., Kublitskiy, Yu.A., Rosentau, A.,
602 Hang, T. (2020). Diatom-inferred palaeolimnological changes in a small lake in the context of
603 the Holocene Baltic Sea transgressions: a case study of Lake Goluboye, Karelian Isthmus
604 (NW Russia). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 438(012014).
605 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/438/1/012014>

606 Miettinen, A., Savelieva, L., Subetto, D.A., Dzhinoridze, R., Arslanov, K., Hyvärinen,
607 H. (2007). Palaeoenvironment of the Karelian Isthmus, the easternmost part of the Gulf of
608 Finland, during the Litorina Sea stage of the Baltic Sea history. *Boreas*, 36, 441-458.

609 Ristaniemi, O., Glückert, G. (1987). The Ancyclus transgression in the area of Espoo –
610 the First Salpausselkä, southern Finland. *Bull. Geol. Soc. Finland*, 59(1), 45-69.

611 Saarnisto, M., Grönlund, T., Ikonen, L. (1999). The Yoldia Sea – Lake Ladoga
612 connexion: Biostratigraphical evidence from the Karelian Isthmus. In: *Dig it all : papers*
613 *dedicated to Ari Siiriäinen*, 117-130.

614 Sapelko, T.V., Ignatyeva, N.V., Kuznetsov, D.D., Ludikova, A.V., Guseva, M.A.,
615 Revunova, A.V., Zazovskaya, E.P., Pozdnyakov, Sh.R. (2024). Natural and anthropogenic
616 impacts on Lake Ladoga and its catchment area through the Lateglacial and Holocene
617 according to a new paleolimnological record. *Journal of Paleolimnology*, в печати.

618 Sapelko, T., Pozdnyakov, Sh., Kuznetsov, D., Ludikova, A., Ivanova, E., Guseva, M.,
619 Zazovskaya, E. (2019). Holocene sedimentation in the central part of Lake Ladoga.
620 *Quaternary International*, 524, 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.05.028>

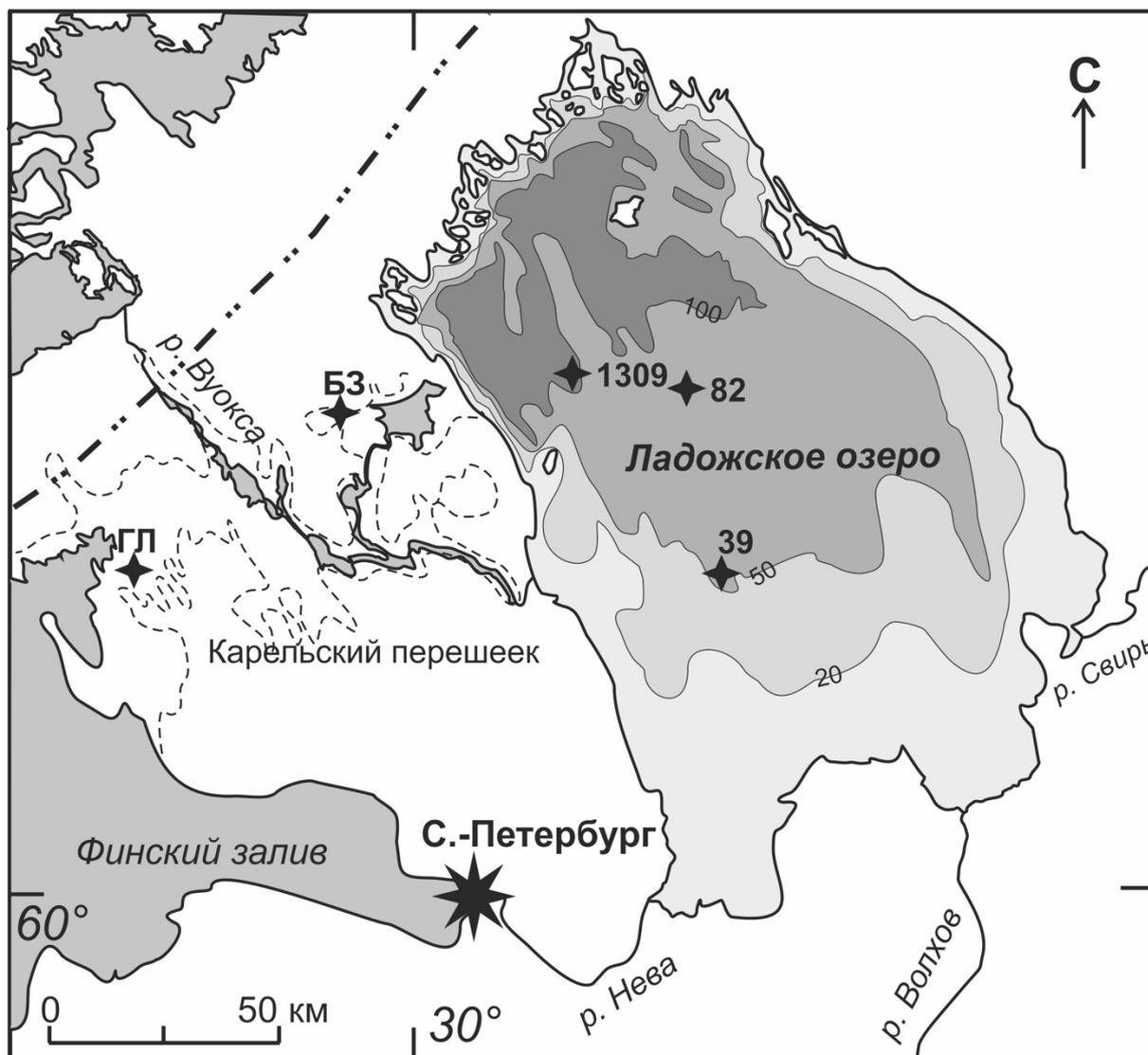
621 Smol, J.P. (1985). The ratio of diatom frustules to chrysophycean statospores: a useful
622 paleolimnological index. *Hydrobiologia*, 123, 199-208.

623 Tillman, P.K., Risberg, J. (2006). *Oskarshamn site investigation. Holocene*
624 *sedimentary environmental changes at sites PSM002118 and PSM002123 offshore*
625 *Simpevarp*. 31 p.

626

627 **Рисунки**

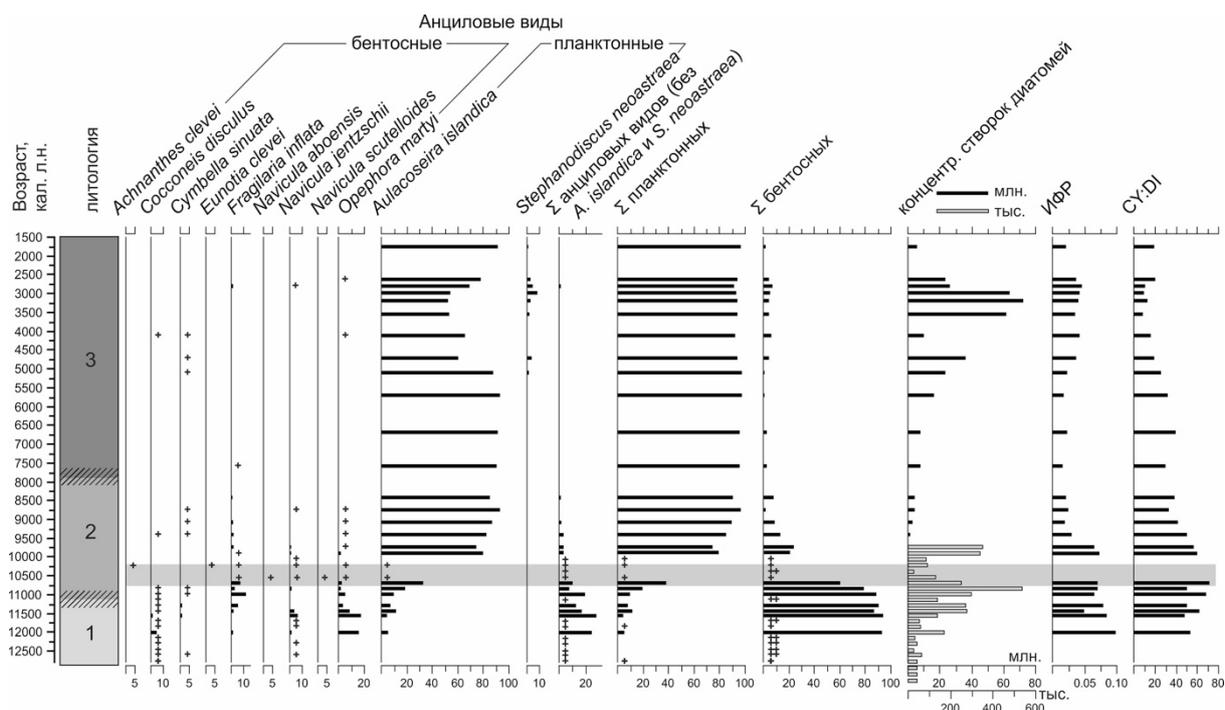
628



629

630 Рис. 1. Местоположение точек пробоотбора. БЗ – озеро Большое Заветное, ГЛ – озеро
 631 Голубое. Пунктирная линия – предполагаемое соединение Ладожского озера с
 632 Балтийским морем в раннем голоцене (по Субетто, 2007).

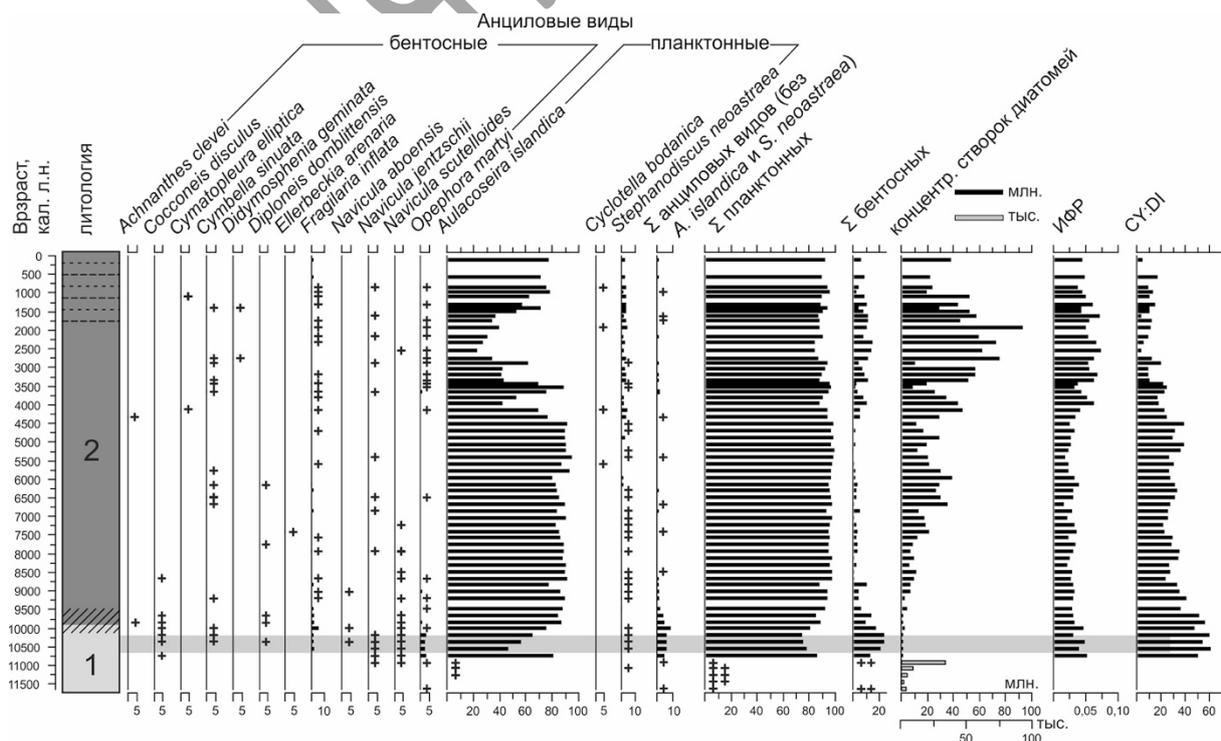
633



634

635 Рис. 2. Индикаторные анциловые виды диатомей, соотношение основных
 636 экологических групп, концентрации створок в 1 г сухого осадка, индекс
 637 флористического разнообразия (ИФР) и отношение «цисты : диатомей» (CY:DI) в
 638 донных отложениях станции №39. Литология: 1 – глина, 2 – глинистая гиттия, 3–
 639 гиттия (по Sapelko et al., 2024 in press); косая штриховка – плавный переход. Серая
 640 заливка на диаграмме – анциловая трансгрессия (~10700-10200 кал. л.н.).

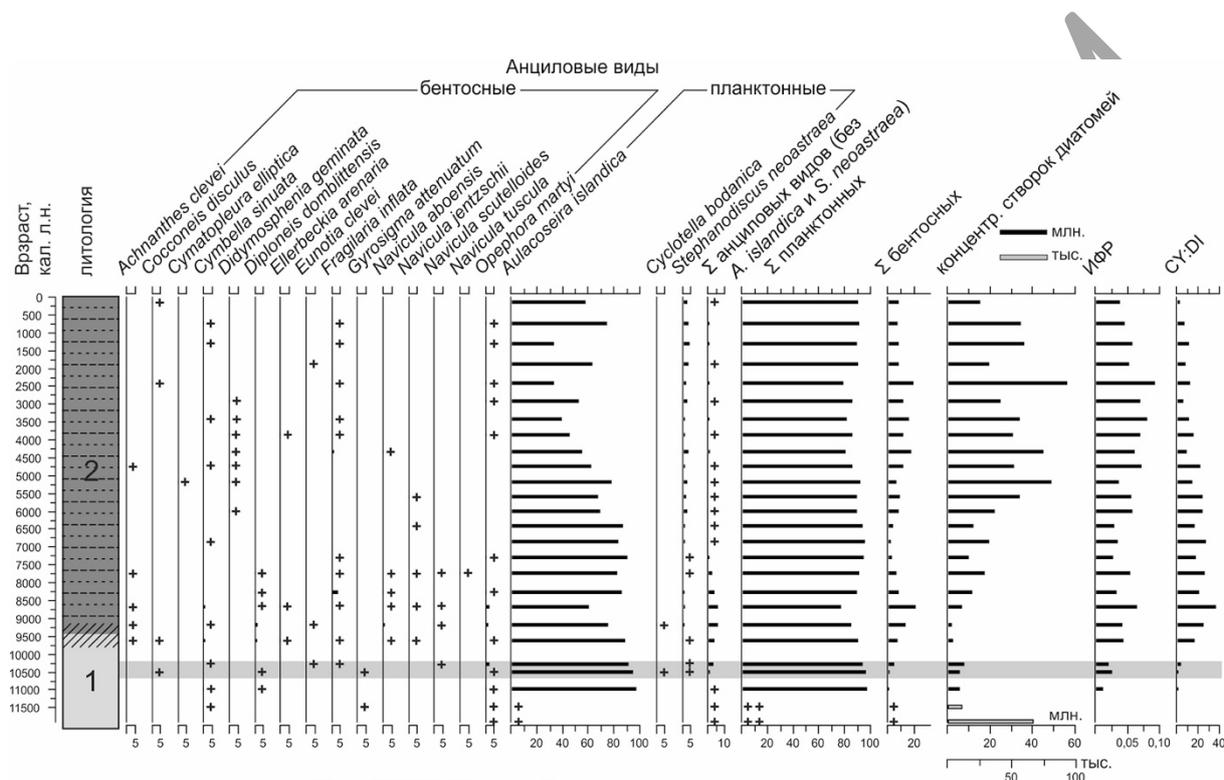
641



642

643 Рис. 3. Индикаторные анциловые виды диатомей, соотношение основных
 644 экологических групп, концентрации створок в 1 г сухого осадка, индекс
 645 флористического разнообразия (ИФР) и отношение «цисты : диатомеи» (CY:DI) в
 646 донных отложениях станции №82. Литология: 1 – глина, 2 – гиттиевый алевроит (по
 647 Sapekko et al., 2019); косая штриховка – плавный переход. Серая заливка на диаграмме –
 648 анциловая трансгрессия (~10700-10200 кал. л.н.).

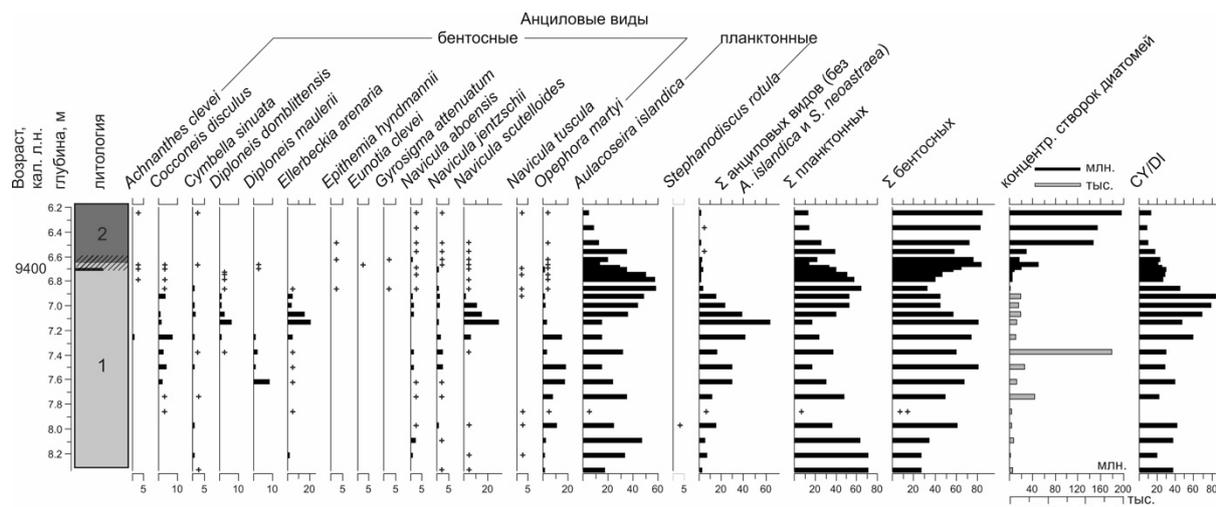
649



650

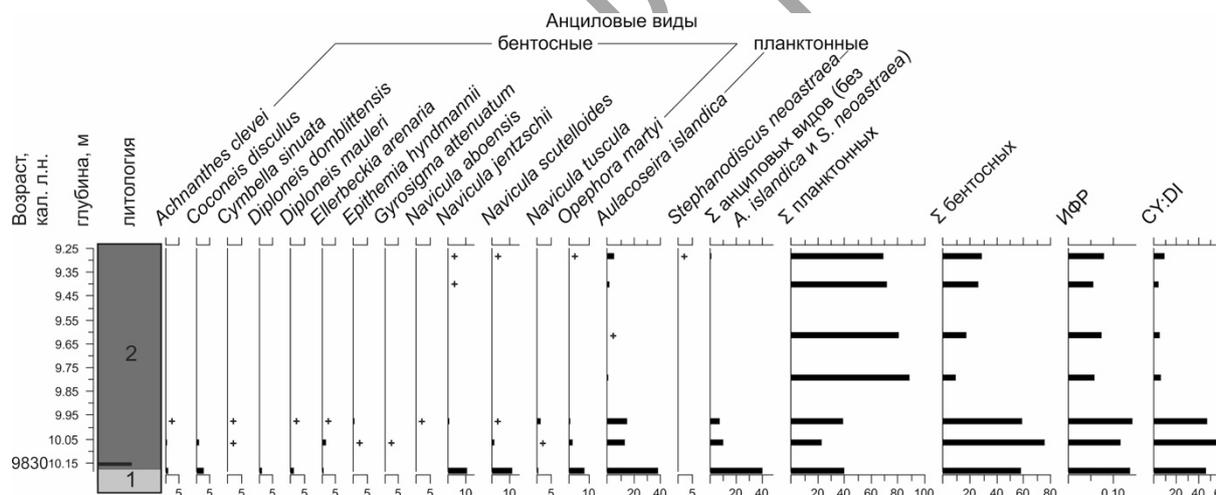
651 Рис. 4. Индикаторные анциловые виды диатомей, соотношение основных
 652 экологических групп, концентрации створок в 1 г сухого осадка, индекс
 653 флористического разнообразия (ИФР) и отношение «цисты : диатомеи» (CY:DI) в
 654 донных отложениях станции № Со1309. Литология: 1 – алевроитовая глина, 2 –
 655 глинистый алевроит (по Gromig et al. 2019); косая штриховка – плавный переход. Серая
 656 заливка на диаграмме – анциловая трансгрессия (~10700-10200 кал. л.н.).

657



658
 659 Рис. 5. Индикаторные анциловые виды диатомей, соотношение основных
 660 экологических групп, концентрации створок в 1 г сухого осадка и отношение «цисты :
 661 диатомеи» (CY:DI) в донных отложениях станции озера Большого Заветного.
 662 Литология: 1 –глина, 2 – глинистая гиттия (по Alenius et al., 2020); косая штриховка –
 663 плавный переход.

664



665
 666 Рис. 6. Индикаторные анциловые виды диатомей, соотношение основных
 667 экологических групп, индекс флористического разнообразия (ИФР) и отношение
 668 «цисты : диатомеи» (CY:DI) в донных отложениях станции озера Голубого. Литология:
 669 1 – опесчаненная глина, 2 – гиттиевая глина (по Ludikova et al., 2020).

670

671

672 The Ancylus Lake stage in the sediment records of its easternmost fringe²

² Funding

673

674 Ludikova Anna¹, Kuznetsov Denis¹, Shatalova Angelina²

675

676 ¹Institute of Limnology – SPC RAS, St. Petersburg, Sevastyanova str. 9, 196105677 ²Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Moika River emb. 48, 191186

678

679 Ludikova Anna: ellerbeckia@yandex.ru680 ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6022-2455>681 Kuznetsov Denis: dd_kuznetsov@mail.ru682 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8864-9936>683 Shatalova Angelina: shatalova10@gmail.com

684

685 Corresponding author:

686 Anna Ludikova

687 Phone +7 921 421 76 95

688 Email: ellerbeckia@yandex.ru

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

690

691 **Annotation**

692 The Ancyclus Lake stage is the Early-Holocene stage of the evolution of the Baltic Sea
693 when isostasy-driven termination of the connection between the Baltic and Ocean resulted in
694 a formation of a large transgressive freshwater lake in the Baltic basin. During this period, the
695 coastal lowlands of the present Gulf of Finland were flooded, while Lake Ladoga, the largest
696 lake in Europe, was connected to the Ancyclus basin through a strait in the northern part of the

The study was performed within the framework of the State Research Program of the Institute of Limnology RAS – SPC RAS No. FFZF-2024-0001 (A.V. Ludikova, D.D. Kuznetsov). The work of A.E. Shatalova was carried out with the support of the RFBR grant-graduate students No. 20-35-90089.

697 Karelian Isthmus. Despite the long history of studying the sediments of Lake Ladoga a
698 number of questions concerning the early stage of the Ladoga evolution remain unresolved.
699 Those include the detection of the sediments of the Ancylus stage, specifying the area,
700 configuration and depths of the water body that existed during this period in the Ladoga basin.
701 To reveal signals of the Ancylus stage, sediment cores retrieved from the open-water part of Lake
702 Ladoga and small lakes in the northern part of the Karelian Isthmus were studied. Diatom study of
703 the Ladoga sediment cores revealed the presence of characteristic Ancylus species in the
704 composition of diatom assemblages. However, their presence not only in the sediments of the
705 Ancylus time but also during the entire Early Holocene, limits their indicative potential for
706 identifying signals of the Ancylus transgression in Lake Ladoga. High percentages of benthic
707 diatoms is thought to be more informative for reconstructing environmental and lake-level
708 changes in Lake Ladoga in the Early Holocene.

709 High amounts of the indicative Ancylus species recorded in the Early-Holocene
710 sediments of small lakes in the northern part of the Karelian Isthmus suggest the formation of
711 the diatom assemblages within the same basin, which evidences for the penetration of the
712 waters of the Ancylus Lake into the Ladoga basin.

713

714 **Keywords:** diatoms, Ancylus transgression, Lake Ladoga, Early Holocene, lake sediments

715

716 **References**

717 Abramova, S.A., Davydova, N.N., Kvasov, D.D. (1967). History of Lake Ladoga in
718 the Holocene according to spore-pollen and diatom analyses. In: *History of the Lakes of the*
719 *Northwest*. Leningrad, 113–132. (In Russian)

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

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

727 Alhonen, P. (1986). Late Weichselian and Flandrian diatom stratigraphy: methods,
728 results and research tendencies. *Stirae*, 24, 27-33

- 729 Andrén, T., Björck, S., Andren, E., Conley, D., Zillen, L., Anjar, J. (2011). The
730 Development of the Baltic Sea Basin During the Last 130 ka. In: *The Baltic Sea Basin*.
731 Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 75-97.
- 732 Bennion, H. (1995). Surface-sediment diatom assemblages in shallow, artificial,
733 enriched ponds, and implication for reconstructing trophic status. *Diatom Research*, 10, 1–19.
- 734 Björck, S. (2008). The BACC: Assessment of climate change for the Baltic Sea Basin.
735 Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 398-407.
- 736 Blazhchishin, A.I., Davydova, N.N., Kvasov, D.D., Khomutova, V.I. (1974). Spore-
737 pollen and diatom analysis of four bottom sediment cores of the southern and central Baltic.
738 *Baltica*, 5, 119-126. (In Russian)
- 739 Davydova, N.N. (1985). *Diatoms are indicators of the natural conditions of Holocene*
740 *water bodies*. Leningrad: Nauka Publ. 224 pp. (In Russian)
- 741 Davydova, N.N. (2002). Development of the lake ecosystem in the late and post-
742 glacial periods according to the composition of diatom complexes in bottom sediments. In:
743 *Lake Ladoga: Past, present, future*. St. Petersburg: Nauka Publ., 157-164. (In Russian)
- 744 Davydova, N.N., Dzhinoridze, R.N., Kvasov, D.D., Masitska, G., Spiridonova, E.A.
745 (1970). New data on the stratigraphy of bottom sediments of the southern Baltic. *Baltica*, 4,
746 33-44. (In Russian)
- 747 Davydova, N.N., Subetto, D.A. (2000). Geocological monitoring of Lake Ladoga
748 based on paleolimnological data. In: *Lake Ladoga*. Petrozavodsk, 66–75. (In Russian)
- 749 Emelyanov, E. M., Vaikutienė, G. (2013). Holocene environmental changes during
750 tran sition Ancyclus-Litorina stages in the Gdansk Basin, south-eastern Baltic Sea. *Baltica*,
751 26(1), 71–82.
- 752 Fredén, C. (1967) A Historical Review of the Ancyclus Lake and the Svea River.
753 *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*, 89(3), 239-267.
754 <http://dx.doi.org/10.1080/11035896709448372>
- 755 Glückert, G., Ristaniemi, O. (1982).The Ancyclus transgression west of Helsinki, South
756 Finland. A preliminary report. *Ann. Acad. Sci. Fennicae III*, 132, 99-100.
- 757 Gromig, R., Wagner, B., Wennrich, V., Fedorov, G., Savelieva, L., Lebas, E., Krastel,
758 S., Brill, D., Andreev, A., Subetto, D., Melles, M. (2019). Deglaciation history of Lake
759 Ladoga (northwestern Russia) based on varved sediments. *Boreas*, 48, 330–348.
760 <https://doi.org/10.1111/bor.12379>
- 761 Hedenström, A., Risberg, J. (1999). Early Holocene shore-displacement in southern
762 central Sweden as recorded in elevated isolated basins. *Boreas*, 28, 490–504.

- 763 *History of Lakes Ladoga, Onega, Pskov-Chudskoye, Baikal and Khanka*. (1990).
764 Leningrad: Nauka Publ. 280 p. (In Russian) (In Russian)
- 765 Jousé, A.P. (1939). Paleogeography of reservoirs based on diatom analysis. *Trudy*
766 *Verkhnevolzhskoy ekspeditsii*, 4. 86 p. (In Russian)
- 767 Jousé, A.P. (1952). Diatoms in Quaternary sediments. *Materialy po chetvertichnomu*
768 *periodu SSSR*, 3, 99-112. (In Russian)
- 769 Jousé, A.P. (1961). Diatoms in marine and continental sediments of Holocene age. In:
770 *Voprosy golotsena*. Vilnius, 115-140. (In Russian)
- 771 Jousé, A.P., Proshkina-Lavrenko, A.I., Sheshukova-Poretskaya, V.S. (1974). Research
772 methods. In: *Diatoms of the USSR (fossil and modern)*. Leningrad: Nauka Publ., 50–79. (In
773 Russian)
- 774 Juggins, S. (2007). *C2 Version 1.5 User guide. Software for ecological and*
775 *palaeoecological data analysis and visualisation*. Newcastle University, Newcastle upon
776 Tyne. 73 p.
- 777 Kleimenova, G.I., Vishnevskaya, E.M. (1989). New data from palynological and
778 diatom analyzes of sediments in the area of the city of Vyborg (village of Veshchevo). *Vestnik*
779 *LGU. Ser. 7*, 2(14), 115-116. (In Russian)
- 780 Kleimenova, G.I., Vishnevskaya, E.M., Dolukhanov, P.M. (1992). Holocene history of
781 paleobasins on the Ladoga-Baltic watershed. In: *Geography and modernity*. St. Petersburg:
782 St. Petersburg University Publ., 129-147. (In Russian)
- 783 Koshechkin, B.I., Ekman, I.M. (1993). Holocene transgressions of Lake Ladoga. In:
784 *Evolution of natural environments and the current state of the geosystem of Lake Ladoga*. St.
785 Petersburg: Russian Geographical Society Publ., 49-60. (In Russian)
- 786 Kostrova, S.S., Meyer, H., Bailey, H.L., Ludikova, A.V., Gromig, R., Kuhn, G.,
787 Shibaev, Y.A., Kozachek, A.V., Ekaykin, A.A., Chaplugin, B. (2019). Holocene hydrological
788 variability of Lake Ladoga, northwest Russia, as inferred from diatom oxygen isotopes.
789 *Boreas*, 48, 361–376. <https://doi.org/10.1111/bor.12385>
- 790 Kvasov, D.D. (1975). Late Quaternary history of large lakes and inland seas of Eastern
791 Europe. Leningrad: Nauka Publ. 278 p. (In Russian)
- 792 Ludikova, A.V. (2018). Diatoms of the Late Pleistocene-Holocene sediments of Lake
793 Ladoga. In: *Collective monograph based on the materials of the annual International*
794 *Scientific and Practical Conference LXXI Herzen Readings*. St Petersburg: Herzen University
795 Publ., 407-412. (In Russian)

796 Ludikova, A.V. (2021). The use of subfossil diatom complexes in assessing the
797 ecological state of Lake Ladoga. In: *Current state and problems of anthropogenic*
798 *transformation of the ecosystem of Lake Ladoga in a changing climate*. Moscow, 84-90. (In
799 Russian)

800 Ludikova, A.V., Kuznetsov, D.D. (2021). Siliceous microalgae in bottom sediments of
801 Lake Ladoga and their role in paleolimnological reconstructions. *Izvestiya RGO*, 153(6), 46-
802 64. (In Russian)

803 Ludikova, A.V., Shatalova, A.E., Subetto, D.A., Kublitskiy, Yu.A., Rosentau, A.,
804 Hang, T. (2020). Diatom-inferred palaeolimnological changes in a small lake in the context of
805 the Holocene Baltic Sea transgressions: a case study of Lake Goluboye, Karelian Isthmus
806 (NW Russia). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 438(012014).
807 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/438/1/012014>

808 Markov, K.K. (1949). The post-glacial history of the southeast coast of Lake Ladoga.
809 *Voprosy geografii*, 12. (In Russian)

810 Markov, K.K. (1934). Late and post-glacial history of the environs of Leningrad
811 against the background of the late and post-glacial history of the Baltic. *Travaux de la*
812 *Commission pour l'étude du Quaternaire*, 4(1), 5-70. (In Russian)

813 Miettinen, A., Savelieva, L., Subetto, D.A., Dzhinoridze, R., Arslanov, K., Hyvärinen,
814 H. (2007). Palaeoenvironment of the Karelian Isthmus, the easternmost part of the Gulf of
815 Finland, during the Litorina Sea stage of the Baltic Sea history. *Boreas*, 36, 441-458.

816 Ristaniemi, O., Glückert, G. (1987). The Ancylus transgression in the area of Espoo –
817 the First Salpausselkä, southern Finland. *Bull. Geol. Soc. Finland*, 59(1), 45-69.

818 Saarnisto, M., Grönlund, T., Ikonen, L. (1999). The Yoldia Sea – Lake Ladoga
819 connexion: Biostratigraphical evidence from the Karelian Isthmus. In: *Dig it all : papers*
820 *dedicated to Ari Siiriäinen*, 117-130.

821 Sapelko, T.V., Ignatyeva, N.V., Kuznetsov, D.D., Ludikova, A.V., Guseva, M.A.,
822 Revunova, A.V., Zazovskaya, E.P., Pozdnyakov, Sh.R. (2024). Natural and anthropogenic
823 impacts on Lake Ladoga and its catchment area through the Lateglacial and Holocene
824 according to a new paleolimnological record. *Journal of Paleolimnology*, in press.

825 Sapelko, T., Pozdnyakov, Sh., Kuznetsov, D., Ludikova, A., Ivanova, E., Guseva, M.,
826 Zazovskaya, E. (2019). Holocene sedimentation in the central part of Lake Ladoga.
827 *Quaternary International*, 524, 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.05.028>

- 828 Sevastyanov, D.V., Subetto, D.A., Sikatskaya, E.D., Stepochkina, O.E. (2001).
829 Features of the evolution of the lake-river network in the Lake Ladoga basin in the Holocene.
830 *Vestnik SPbGU. Ser. 7*, 1(7), 88-100. (In Russian)
- 831 Semenovich, N.I. (1966). *Bottom sediments of Lake Ladoga*. Moskow-Leningrad:
832 Nauka Publ. 124 p. (In Russian)
- 833 Shatalova, A.E., Ludikova, A.V., Subetto, D.A., Kublitsky, Yu.A., Demidionov, M.Y.
834 (2021). Reconstruction of paleoecological conditions of small lakes of the Karelian Isthmus in
835 connection with changes in the level of Baltic paleobassays (according to diatom analysis).
836 *Astrakhan Bulletin of Ecological Education*, 6, 18-30. [https://doi.org/10.36698/2304-5957-](https://doi.org/10.36698/2304-5957-2021-6-18-30)
837 [2021-6-18-30](https://doi.org/10.36698/2304-5957-2021-6-18-30) (in Russian)
- 838 Shatalova, A.E., Ludikova, A.V., Subetto, D.A., Kublitskij, Yu.A., Demidionov,
839 M.Yu. (2022). Reconstruction of the transgressive-regressive stages of the Baltic sea in the
840 holocene based on diatom analysis of bottom sediments of the isolation basin on the Karelian
841 isthmus. *Astrakhan Bulletin of Ecological Education*, 6, 58-68 [https://doi.org/10.36698/2304-](https://doi.org/10.36698/2304-5957-2022-6-58-68)
842 [5957-2022-6-58-68](https://doi.org/10.36698/2304-5957-2022-6-58-68) (in Russian)
- 843 Smol, J.P. (1985). The ratio of diatom frustules to chrysophycean statospores: a useful
844 paleolimnological index. *Hydrobiologia*, 123, 199-208.
- 845 Subetto, D.A. (2007). The history of the formation of Lake Ladoga and its connection
846 with the Baltic Sea. *Terra Humana*, 1(2), 111-120. (In Russian)
- 847 Subetto, D.A. (2002). Structure, features and history of formation of bottom
848 sediments. In: *Lake Ladoga Past, present, future*. St. Petersburg: Nauka Publ., 122-136. (In
849 Russian)
- 850 Tillman, P.K., Risberg, J. (2006). *Oskarshamn site investigation. Holocene*
851 *sedimentary environmental changes at sites PSM002118 and PSM002123 offshore*
852 *Simpevarp*. 31 p.
- 853 Vishnevskaya, E.M., Kleimenova, G.I. (1970). Paleobotanical characteristics of late-
854 and post-glacial deposits of the Vyborg region. *Baltica*, 4, 49-62. (In Russian)
- 855 Znamenskaya, O.M., Cheremisinova, E.A. (1974). Development of the basins of the
856 eastern part of the Gulf of Finland in late and post-glacial times. *Baltica*, 5, 95-103. (In
857 Russian)
- 858
- 859
- 860