ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ, 2024, том 55, №3, с. 164–182

ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЯ И ГОЛОЦЕНА

УДК 551.89:551.352.48(470.26)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЫХ ДИАТОМОВЫХ АССОЦИАЦИЯХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ПРИБАЛТИКИ[#]

© 2024 г. А. И. Рудинская[1,*], О. А. Дружинина[2,3], К. Г. Филиппова[1], Л. И. Лазукова[1]

[1] Институт географии РАН, Москва, Россия
[2] РГПУ имени А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия
[3] Институт океанологии имени П.П. Ширшова, Москва, Россия
** E-mail: rudinskaya94@gmail.com*

Поступила в редакцию 29.12.2023 г.
После доработки 01.07.2024 г.
Принята к публикации 19.07.2024 г.

Отложения мелководных бассейнов, сформировавшихся на суше вдоль побережья Балтийского ледникового озера около 14500–14000 кал. л. н., служат ценным источником информации для реконструкции изменений природной среды в бёллинг-аллерёдском интерстадиале. Для отложений одного из таких палеоводоемов, вскрытых в разрезе Куликово (северная часть Самбийского (Калининградского) п-ова), было выполнено радиоуглеродное датирование, комплексный литологический и диатомовый анализы. В результате изучения отложений, охватывающих временной интервал 14000–13400 кал. л. н., выделены в общей сложности 117 видов диатомей, среди которых преобладают бентосные виды и обрастатели, относящиеся к группе олигогалобных индифферентов. Наиболее типичные представители – виды *Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosirella ovata*, *Gyrosigma attenuatum*, *G.acumunatum*, *Amphora affinis*, *Epithemia adnata*. Полученные данные о диатомовых комплексах были сопоставлены с существующими представлениями о диатомовой флоре позднеледниковья для этого региона, что позволило не только реконструировать этапы смены экологических условий изучаемого палеоводоема, но и выявить общие и локальные закономерности формировавшихся в это время диатомовых сообществ. Так, в большей части палеоводоемов в отложениях аллерёда значимо преобладают пионерные обрастатели-космополиты семейства Fragilariaceae, что указывает на достаточно спокойные гидродинамические условия. При этом в глубоких палеоводоемах, несмотря на некоторое смягчение климатических условий в аллерёде, в диатомовых комплексах доминируют олиготрофные планктонные виды, а в некоторых седиментационных архивах значимыми или ведущими видами становятся бентические диатомеи, способные обитать в проточной воде (*Gyrosigma* spp.).

Ключевые слова: диатомовый анализ, палеолимнология, палеогеографические реконструкции, позднеледниковье, Самбийский (Калининградский) п-ов

DOI: 10.31857/S2949178924030093; **EDN**: PLESSI

ВВЕДЕНИЕ

Юго-восточная часть Прибалтики относится к районам, покрытым ледниками в период максимума валдайского оледенения (Mangerud et al., 2004). С началом дегляциации около 20 000–19 000 кал. л. н. природная среда этого региона претерпела значительные изменения (Seppä, Poska, 2004; Heikkilä, Seppä, 2010; Veski et al., 2015; Druzhinina et al., 2020). Процесс дегляциации был сложным и многофазным, поскольку значительное влияние на него оказывали климатические колебания бёллинг-аллерёдского интерстадиала и похолодание позднего дриаса.

Отступание Скандинавского ледникового покрова на юге современного Балтийского бассейна началось около 16 000 кал. л. н. и завершилось между 15 000–14 000 кал. л. н. (Houmark-Nielsen, Kjær, 2003). Талые воды собирались по краю ледника, образуя подпруженные льдом озера. В результате объединения озер Борнхольмской и Гданьской котловины около 14 500–14 000 кал. л. н. образовалось Балтийское ледниковое озеро (БЛО) (Úscinowicz, 2011). В то же время на суше вдоль побережья БЛО сформировалась серия мелководных бассейнов, собирающих воду тающего

[#] *Ссылка для цитирования*: Рудинская А.И., Дружинина О.А., Филиппова К.Г., Лазукова Л.И. (2024). Новые данные о позднеледниковых диатомовых ассоциациях юго-восточной Прибалтики. *Геоморфология и палеогеография*. Т. 55. № 3. С. 164–182. https://doi.org/10.31857/S2949178924030093; https://elibrary.ru/PLESSI

мертвого льда. Большинство из них впоследствии было уничтожено в ходе трансгрессий и регрессий Балтийского моря в голоцене (Kabailiné, 1995), однако сохранившаяся часть, экспонируемая абразией берега Балтийского моря, в том числе разрез Куликово, является ценным седиментационным палеоархивом, позволяющим приблизиться к пониманию динамики позднеледниковых природных систем. Отдельный интерес представляют палеоэкологические реконструкции, основанные на диатомовом анализе.

В целом сведения о позднеледниковых диатомовых ассоциациях юго-восточной Прибалтики нельзя назвать многочисленными, особенно в отношении временного интервала бёллинг–аллерёд (14 700–12 700 л. н.). Наиболее подробно охарактеризованы диатомовые комплексы этого интерстадиала, обнаруженные в отложениях крупных древних озер, расположенных на территории современной Литвы, и в донных отложениях Балтийского ледникового озера. М. Кабайлене была также разработана региональная стратиграфическая схема позднеледникового этапа развития этой территории, в которой выделены три диатомовые зоны (Кабайлене, 2002; Kabailiné, 2006). В результате исследований двух последних десятилетий на территории Литвы (Gaigalas et al., 2008, Šeirienė et al., 2009; Stančikaitė et al., 2008, 2009, 2015) и изучения новых разрезов на территории Польши и Калининградской области (Зарецкая и др., 2023; Witkowski et al., 2009; Druzhinina et al., 2015, 2020; Ga1ka et al., 2015; Słowinski et al., 2017) появились новые данные о позднеледниковых диатомовых ассоциациях исследуемого региона (рис. 1, табл. 1).

Самой древней диатомовой зоне DZ1 в отложениях материковых озер соответствуют отложения раннего дриаса (16 900–14 600 л. н.), бёллинга (14 700–14 100 л. н.) и среднего дриаса (14 100–13 900 л. н.). Обычно содержание диатомей в таких отложениях невелико – их концентрация составляет менее 1000 створок на 1 см^3. По Kabailiné (2006), диатомовая флора этой хронозоны представлена главным образом створками пресноводных планктонных (*Cyclotella* spp.*, Aulacoseira* spp.) и бентосных видов (*Amphora pediculus*), предпочитающих холодные и умеренные температурные условия олиготрофных и мезотрофных водоемов. В то же время в отложениях этого возраста встречаются пресноводные обрастатели-космополиты *Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosira pinnata, S. construens* (Stančikaitė et al., 2008; Witkowski et al., 2009; Stančikaitė et al., 2015), предпочитающие эвтрофные условия.

В аллерёдской хронозоне (DZ2, 13 900–12 700 л. н.) диатомовые ассоциации представлены главным образом пресноводными обрастателями, предпочитающими умеренные и теплые температурные условия (*Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosira pinnata*, *Staurosira construens* и т.д.) и бентическими диатомеями. В отложениях встречаются до нескольких десятков видов диатомей (по Кабайлене (1968), в некоторых палеоводоемах в отложениях аллерёда было идентифицировано до 90 видов диатомей). При этом диатомовые комплексы аллерёда в изученных архивах демонстрируют некоторые различия. Так, например, в отложениях озера Гинкунай (Stančikaitė et al., 2015), начиная с 13 700 кал. л. н., содержание планктонных диатомей возрастает до 10%, появляются виды влажных местообитаний, что может указывать на некоторое повышение глубины палеоводоема и затопление берегов; появляются тепловодные виды рода *Navicula*. В озерах Тшеховское (Słowinski et al., 2017), Петрашюнай (Stančikaitė et al., 2009) и Кашучяй (Stančikaitė et al., 2008) в первой половине аллерёда отмечается преобладание пионерных обрастателей *Fragilaria* spp. и донных видов (*Navicula* spp., *Amphora pediculus*). В аллерёдских диатомовых комплексах озера Петрашюнай отмечается высокое содержание теплолюбивых бореальных таксонов. Во второй половине аллерёда, начиная с 13 200–12 900 кал. л. н., в упомянутых озерах и в разрезе Памеркяй (Stančikaitė et al, 2008) отмечается увеличение содержания планктонных видов, что указывает на некоторое увеличение глубины палеоводоемов. В диатомовых ассоциациях донных отложений озера Варенис преобладают планктонные виды (до 70%), указывающие на достаточно холодные и олиготрофные условия (Šerienė et al., 2009). В разрезе Алейка (Зарецкая и др., 2023) на этапе 13 100–12 900 кал. л. н. отмечается преобладание пионерных обрастателей семейства Fragilariaceae, которые около 12 900–12 800 кал. л. н. уступают место доминирующих таксонов крупным бентическим диатомеям рода *Gyrosigma*.

Третья диатомовая зона DZ3 выделена в отложениях позднего дриаса (12 700–11 700 л. н.). В этой зоне преобладают планктонные олиготрофные виды (*Cyclotella* spp.), среди бентосных видов часто встречаются представители родов *Gyrosigma*, *Cymatopleura*, также отмечаются обрастатели рода *Fragilaria*. В диатомовых комплексах встречаются несколько десятков видов – например, в разрезе Памеркяй (Stančikaitė et al, 2008) в отложениях позднего дриаса обнаружено более 40 видов), преобладание холодоводных таксонов и планктонных диатомей указывает на увеличение глубины пале-

оводоемов и снижение температуры воды в них (Кабайлене, 2002; Stančikaitė et al., 2015).

В донных отложениях Балтики комплекс диатомей БЛО, характерный для отложений позднего дриаса (Кабайлене, 1968), представлен главным образом пресноводными диатомеями (их доля составляет 70–80%), хотя одновременно встречаются пресноводные галофильные виды и единичные морские. К наиболее широко встречающимся видам относятся *Ellerbeckia arenaria, Staurosirella martyi, Pseudostairosira brevistriata, Staurosira pinnata, Diploneis burgitensis, Gyrosigma attenuatum, Navicula oblonga, Cavinula scutelloides, Cymbopleura inaequalis, Amphora mexicana* var.

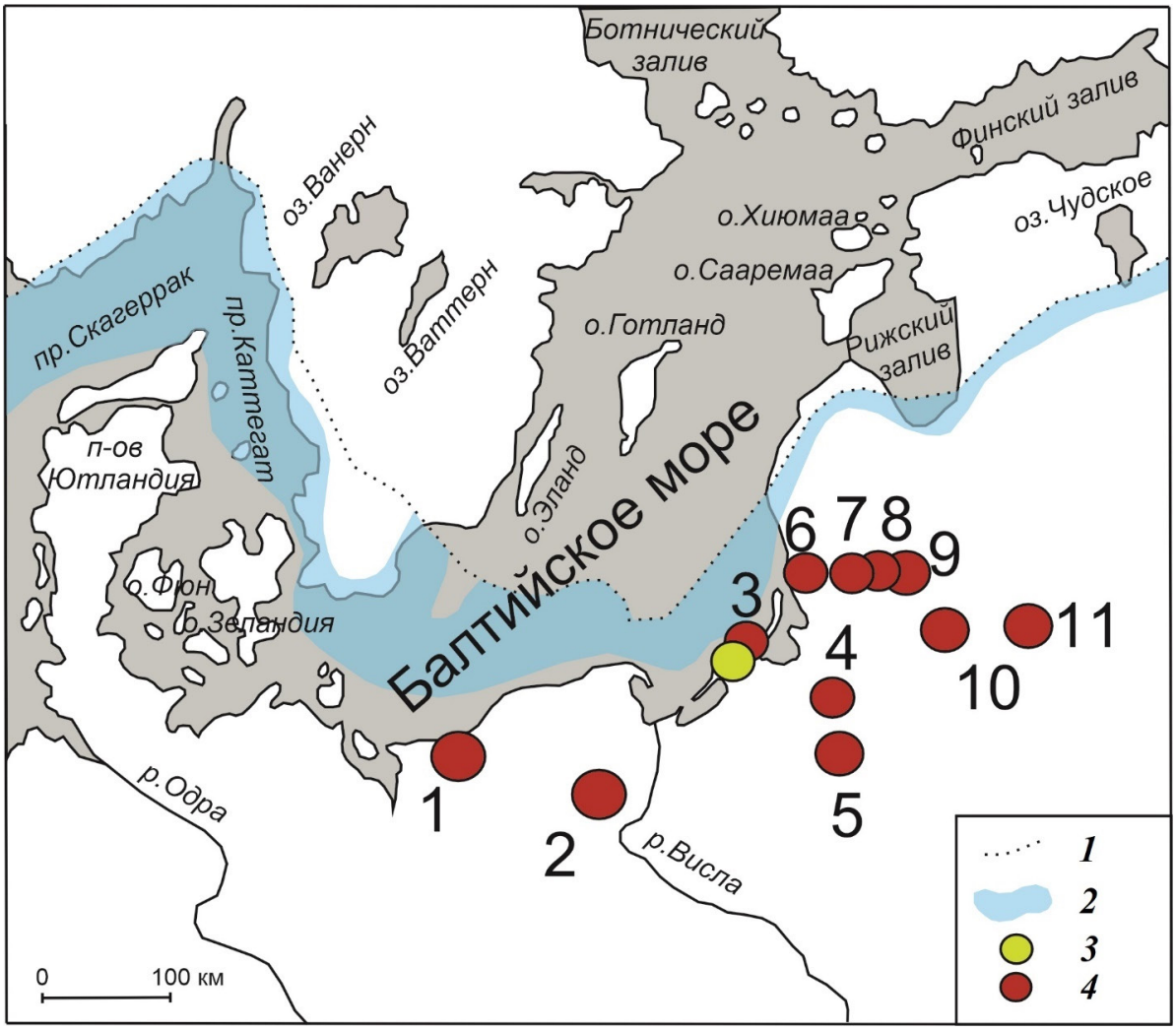

Рис. 1. Расположение упомянутых в тексте седиментационных архивов с изученными диатомовыми ассоциациями позднеледниковья.

1 – южная граница Скандинавского ледника около 14 500 л. н. (Uscinowicz, 2011); *2* – БЛО около 14 500 л. н. (Uscinowicz, 2011); *3* – разрез Куликово; *4* – разрезы и скважины, упомянутые в тексте. *Цифрами на схеме обозначены*: 1 – разрез Рега в долине р. Рега (Witkowski et al., 2009), 2 – палеоозеро Тщеховское (Słowinski et al., 2017), 3 – разрез Алейка (Зарецкая и др., 2023), 4 – о. Камышовое (Druzhinina et al., 2015, 2020), 5 – заболоченная перемычка между озерами Койле и Перти (Gałka et al., 2015), 6 – оз. Кашучяй (Stančikaite et al., 2008), 7 – оз. Рекива (Gaigalas et al., 2008), 8 – озеро Гинкунай (Stančikaite et al., 2015), 9 – оз. Петрашюнай (Stančikaite, 2009), 10 – оз. Варенис (Šeirienė et al., 2009), 11 – разрез Памеркяй (Stančikaite et al., 2008).

Fig. 1. Location of the sedimentary archives mentioned in the text with the studied diatom associations.

1 – southern border of the Scandinavian glacier around 14 500 calBP (Uscinowicz, 2011); *2* – Baltic Ice Lake about 14 500 calBP (Uscinowicz, 2011); *3* – Kulikovo section; *4* – sections and wells mentioned in the text. *The numbers on the scheme indicate*: 1 – Rega section in the Rega River valley (Witkowski et al., 2009), 2 – paleolake Tschekhovskoe (Słowinski et al., 2017), 3 – Aleika section (Zaretskaya et al., 2023), 4 – Lake Kamyshovoye (Druzhinina et al., 2015, 2020), 5 – swampy bridge between lakes Koyle and Perti (Gałka et al., 2015), 6 – Lake Kašučiai (Stančikaite et al., 2008), 7 – Lake Rekiva (Gaigalas et al., 2008), 8 – Lake Ginkūnai (Stančikaite et al., 2015), 9 – Lake Petrašiūnai (Stančikaite, 2009), 10 – Lake Varėnis (Šeireinė et al., 2009), 11 – Pamerkiai section (Stančikaite et al., 2008).

major, Mastogloia elliptica, Mastogloia danseyi, Iconella hibernica.

Примечательно, что динамика видового состава диатомовых ассоциаций в отложениях рассмотренных внутриматериковых палеоводоемов демонстрирует некоторую асинхронность, что свидетельствует о разном времени и степени отклика водных экосистем на изменение природных условий. Водоемы с небольшой глубиной, в частности, объект изучения – палеоводоем Куликово, с биотой, чутко реагировавшей на кратковременные потепления и похолодания, а также на изменение проточности, глубины и других факторов, потенциально являются источниками более детальной информации об общих и локальных трендах в динамике природной среды. Цель настоящего исследования – охарактеризовать диатомовые ассоциации палеоводоема Куликово, реконструировать этапы смены экологических условий в нем и сопоставить полученные результаты с имеющимися представлениями о позднеледниковых диатомовых комплексах юго-восточной Прибалтики и условиях их формирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Мощность отложений, вскрывающихся в разрезе Куликово (54.932° с.ш., 20.357° в.д.), составляет 2 м. Отбор проб отложений ненарушенной текстуры осуществлялся в металлические короба шириной 7 см и длиной 50 см. Далее в лаборатории были отобраны образцы с шагом 1–3 см. В настоящей статье представлены результаты комплексного изучения нижней части разреза (глубинный интервал от 192 до 141 см).

Для определения абсолютного возраста отложений для всего разреза (192–0 см) была получена серия из пяти радиоуглеродных дат. Материал для датирования представлен гиттией и остатками древесины. Полученные данные по ^{14}C скорректированы на ^{13}C с учетом отклонения от согласованного стандартного значения соотношения $^{13}C/^{12}C$. Модель "возраст–глубина" была построена с использованием программы rbacon 3.1.0. (Blaauw, Christen, 2011). Все радиоуглеродные даты откалиброваны по кривой IntCal20 (Reimer et al., 2020).

Для реконструкции условий осадконакопления выполнен комплексный литологический анализ – определен гранулометрический состав отложений, рассчитано содержание органического вещества и $CaCO_3$, измерена удельная магнитная восприимчивость. Анализ гранулометрического состава отложений выполнен на лазерном дифрактометре Malvern Mastersizer 3000 с приемником-диспергатором Hydro EV после предварительной пробоподготовки образцов, включающей удаление карбонатной составляющей осадка с использованием 10% HCl, органического вещества – с использованием 30% H_2O_2. Содержание органического вещества и $CaCO_3$ определялось с помощью метода расчета потерь при прокаливании (ППП). Материал прокаливался в муфельной печи при трех температурах (105oC для определения сухого веса, 550 °C и 950 °C) и взвешивался на электронных весах после каждого этапа прокаливания (Heiri et al., 2001). Оценка содержания карбоната кальция ($CaCO_3$) выполнялась путем умножения ППП Δ950 на 2.27 (Dean, 1974). Анализ удельной магнитной восприимчивости был выполнен на приборе ZHinstruments SM 150 L. Пробоподготовка включала предварительное высушивание материла при температуре 40 °C. Измерение произведено на двух частотах – низкой (500 Гц) и высокой (4000 Гц) напряженности магнитного поля 320 А/м.

Диатомовый анализ был выполнен для 24 образцов из интервала 142–191 см. Препараты для диатомового анализа приготовлены по стандартной методике (Batarbee et al., 2001). Навеска в 1–2 г образца естественной влажности была обработана 10% HCl и 30% H_2O_2 для очистки от карбонатов и органического вещества, затем с помощью отмучивания (6 раз с интервалом в 2 ч) была удалена глинистая фракция. Далее была проведена плотностная сепарация образцов в тяжелой жидкости ГСП-В плотностью 2.3 г/см^3. Для последующего расчета концентрации створок в каждый образец была добавлена таблетка ликоподиума Batch 280521 291 (13 761 спора в одной таблетке без учета стандартного отклонения). Сухой вес навески (используемый при вычислении концентрации створок) был рассчитан по измеренной в ходе литологических анализов весовой влажности образца. Расчет весовой концентрации диатомей производился по формуле (Batarbee, et al., 2001):

$$\textit{концентрация, створок} / г = \frac{N_L \times n_д}{n_L \times m_{сух}},$$

где N_L – общее число спор *Lycopodium* в таблетке, n_L– число подсчитанных в препарате спор *Lycopodium*, $n_д$ – число подсчитанных в препарате створок диатомей, $m_{сух}$ – сухая масса образца.

В каждом препарате была определена видовая принадлежность от 100 до 1600 створок. Идентификация проводилась при помощи электронного бинокуляра Motic BA 300 при увеличении в 1000 крат. Различия в числе идентифицированных створок для каждого препарата связаны с разной насыщенностью образцов створками. Для идентификации таксонов использовались "Определитель диатомовых водорослей России" (Куликовский и др., 2016) и "Bacillariophyceae" (Kramer, Lange-

Таблица 1. Краткая характеристика диатомовых ассоциаций бёллинг–аллерёдского интерстадиала в некоторых седиментационных архивах юго-восточной Прибалтики

Table 1. Brief characteristics of Bølling-Allerød diatoms in some sedimentary archives of the south-eastern Baltic

Возраст, кал. л. н	Разрез Рега, Долина р. Pera (Witkowski et al., 2009)	Палеоозеро Тшеховское (Słowinski et al., 2017)	Разрез Алейка (Зарецкая и др., 2023)	Озеро Камышовое (Druzhinina et al., 2015, 2020)	Озеро Кашучай (Stančikaitė et al., 2008)	Озеро Гинкунай (Stančikaitė et al., 2015)
1	2	3	4	5	6	7
12 600	Преобладают обрастатели *Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosira pinnata*, *S.construens*, *Punctastriata linearis*		Створки диатомей и их фрагменты практически отсутствуют		Увеличивается число видов, появляются планктонные виды (в основном род *Cyclotella* – *C. ocellata, C. radiosa, C. grabriuscula, C. meneghiniana, C. antiqua*), их содержание достигает 20%. Обрастатели представлены в основном створками *Fragilaria* spp., *Cocconeis* spp., *Gomphonema* spp., *Cymbella* spp., *Epithemia* spp. Среди донных видов преобладают *Aneumastus tusculus*, *Amphora pediculus*	Увеличивается число видов диатомей, преобладают крупные виды рода *Navicula*, отмечается повышение содержания створок планктонных видов (*Cyclotella*) до 10%, велика роль вида *Caloneis obtusa*, отмечается увеличение содержания реофильного вида *Gomphonema parvulum*
12 700						
12 800		До 30% увеличивается содержание планктонных диатомей, особенно *Cyclotella comensis*, *Puncticulata radiosa* и *Cyclotella praetermissa*				
12 900			Преобладают обрастатели (до 80% – *Staurosira venter*, *S. pinnata*, *S. lapponica*), в конце интервала возрастает содержание бентосного вида *Gyrosigma attenuatum* (до 83%)	Малое видовое разнообразие. Преобладают пресноводные донные виды (*Amphora affinis*, *A. ovalis* var. *pediculus*) и обрастатель *Pseudostaurosira construens*		
13 000						
13100		Доминируют бентосные виды и виды-обрастатели (до 80%), главным образом пионерные (например, виды рода *Fragilaria*)				
13 200			Единичные находки створок и фрагментов створок пресноводных видов			
13 300					Преобладают обрастатели (*Cocconeis* spp., *Fragilaria* spp.), среди донных видов заметна роль *Navicula crucicula*, *Amphora pediculus*, *A. thumensis*	
13 400						
13 500						
13 600						
13 700						
13 800						Преобладают обрастатели рода *Fragilaria* spp., в том числе *Staurosira construens* и *S. pinnata*. Заметна роль донного вида *Gyrosigma attenuatum*
13 900						
14 000						
14 100						
14 200						
14 300					Преобладают обрастатели – *Staurosirella pinnata*, *S. construens*, *Pseudostaurosira brevistriata*	
14 400						

Озеро Петрашюнай (Stančikaitė et al., 2009)	Озеро Варенис (Šeirienė et al., 2009)	Разрез Памеркяй (Stančikaitė et al., 2008)	Диатомовые зоны Литвы (Кабайлене, 2002; Kabailienė, 2006)	Похолодания/потепления
8	9	10	11	12
Преобладают обрастатели (*Fragilaria* spp.) и донные диатомеи (*Navicula diluviana*). Содержание планктонных видов (*Cyclotella ocellata*, *C. kuetzingiana* и *C. comta*) около 20%	Преобладают планктонные диатомеи (в основном *Aulacoseira granulata*), до 30% возрастает содержание донных видов и обрастателей (*Epithemia zebra*, *Rhopalodia gibba*, *Staurosira construens*, *Synedra ulna*, *Cocconeis placentula*, *Achnanthes clevei*)	Обилие *Fragilaria* spp., содержание планктонных видов (*Aulacoseira granulata*, *A. islandica*, *A. italica*, *Cyclotella ocellata*, *C. krammen*) достигает 10%	Преобладают планктонные олиготрофные виды (*Cyclotella* spp.), среди бентосных заметны *Cymatopleura* spp. и *Gyrosigma* spp., отмечаются обрастатели рода *Fragilaria*	Поздний дриас
Большое число донных видов (*Navicula diluviana*, *Amphora pediculus*) и обрастателей – *Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosira construens* var. *venter*, *S. lapponica*			Доминируют пресноводные обрастатели, предочитающие умеренные и теплые температурные условия (*Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosira pinnata*, *S. construens* и т.д.) и бентические диатомеи	Аллерёд
			Доминируют створки пресноводных планктонных (*Cyclotella* spp., *Aulacoseira* spp.) и бентосных видов (*Amphora pediculus*), предпочитающих холодные и умеренные температурные условия олиготрофных и мезотрофных водоемов	Средний дриас Бёллинг

Таблица 2. Результаты радиоуглеродного датирования отложения разреза Куликово
Table 2. Results of radiocarbon dating of deposits of the Kulikovo section

Образец	Глубина, см	Материал	Возраст, ^{14}C	Калиброванный возраст, кал. л. н.
LuS-18436	45	Макроостатки (древесина)	10 940±60	12 773±240
LuS-18462	106	Макроостатки (древесина)	11 060±60	13 102±160
LuS-18461	163	Макроостатки (древесина)	11 790±60	13 693±130
LuS-18460	186	Макроостатки (древесина)	11 980±80	13 957±140
LuS-17811	192	Гиттия	12 200±60	14 038±160

Bertalot, 2001, T. 1–4). Устаревшие названия были актуализированы с помощью ресурса Algaebase.org (Guiry, Guiry 2020).

Диатомовая диаграмма построена при помощи программного комплекса TILIA 2.6.1. На ней показаны таксоны, доля которых превышает 4% всех видов. Деление на локальные диатомовые зоны (ЛДЗ) было выполнено по результатам кластерного анализа CONISS (Grimm, 2011).

Среди идентифицированных видов диатомей были выделены экологические группы в зависимости от местообитания, по системе галобов (Kolbe, 1932; Hustedt, 1953) и в зависимости от наиболее предпочтительного для данного вида трофического статуса водоема.

По местообитанию идентифицированные виды диатомей разделены на виды влажных местообитаний, приуроченные к влажным субстратам (мхам, камням); бентосные виды, обитающие на донном грунте и способные к передвижению, обрастателей, образующих обрастания из одиночно живущих и колониальных форм на дне, подводных камнях, водорослях и живых организмах; планктонные виды, пассивно дрейфующие в толще воды (Прошкина-Лавренко, 1949).

При группировке по системе галобов Кольбе-Хустедта (Kolbe, 1932; Hustedt, 1953) идентифицированные виды были разделены на мезогалобные (солоноватоводные), предпочитающие соленость от 5 до 20‰, и олигогалобные, т.е. пресноводные виды, предпочитающие соленость 0–5‰. Среди олигогалобных видов выделены галофобные, предпочитающие исключительно пресноводные условия обитания, виды-индифференты, для которых минерализация воды не считается определяющим фактором развития, и галофильные виды, способные обитать в условиях повышенной минерализации.

При группировке видов в зависимости от трофности водоема, наиболее предпочтительной для диатомей выделенных таксонов (Denys, 1991), была выделена группа диатомовых, предпочитающих водоемы олиготрофного типа, т.е. с холодной, хорошо насыщенной кислородом прозрачной

Таблица 3. Литостратиграфическое описание разреза Куликово
Table 3. Lithostratigraphy of the Kulikovo section

Глубина, см	Описание слоя
0–14	Гиттиевая глина, серая, плотная
14–63	Глинистая гиттия, от серого до светло-бурого, с редкими мелкими растительными остатками. Верхний контакт – четкий, резкий
63–88	Гиттия оторфованная, темно-бурая, с тонким песчаным прослоем. Верхний контакт – четкий, переходный
88–158	Глинистая гиттия, от темно-серого до бурого, с органикой и ракушью. Переход постепенный, четкий
158–171	Гиттия, темно-серая с мелкими растительными остатками и ракушей. Переход постепенный
171–181	Глинистая гиттия, темно-серая, с редкой органикой и ракушей. Переход постепенный
181–186	Гиттия оторфованная, темно-бурая. Переход постепенный

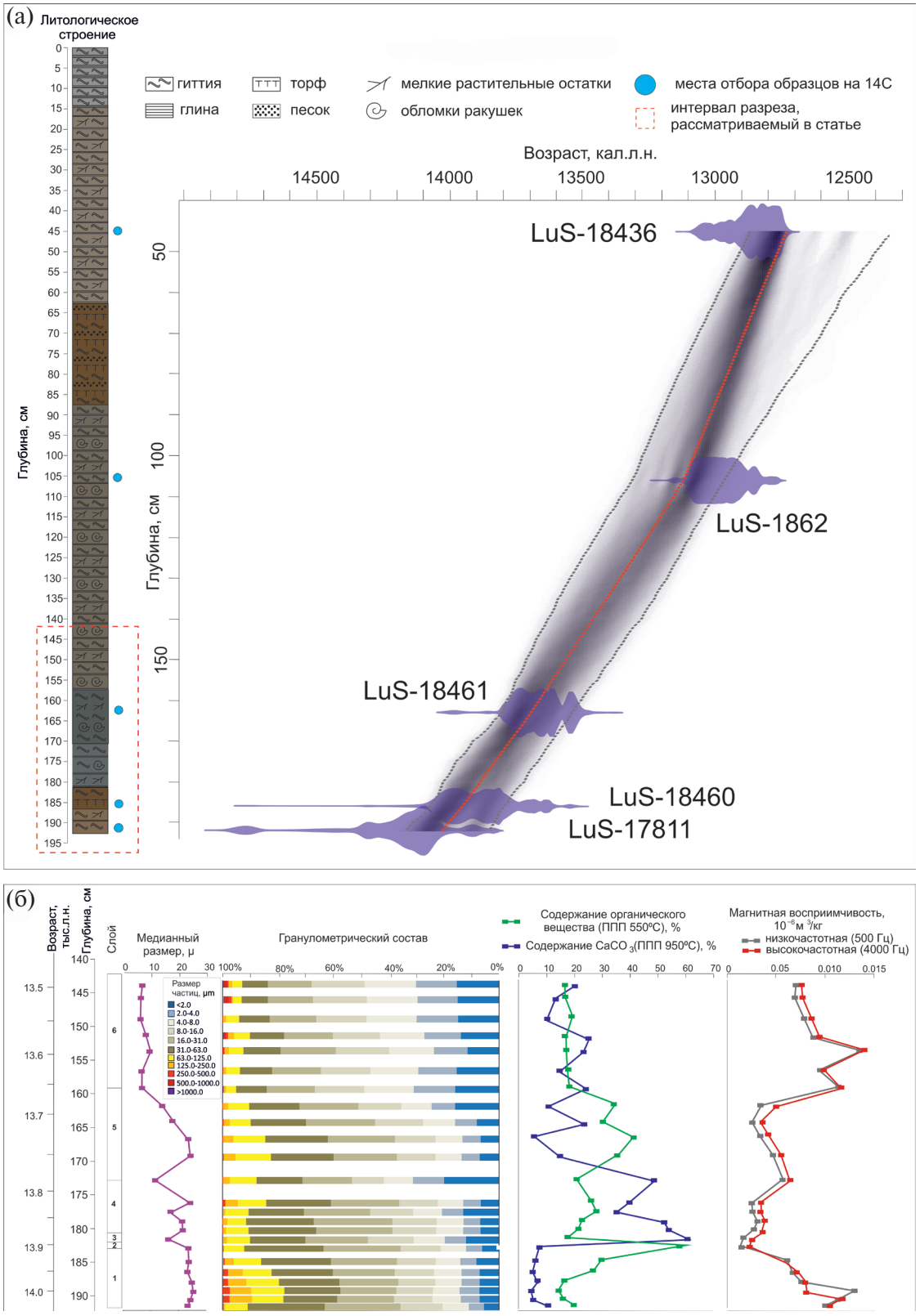

Рис. 2. Строение, возраст и литологические характеристики отложений разреза Куликово: (а) – литологическое строение и глубинно-возрастная модель отложений разреза, (б) – результаты комплексного литологического анализа глубинного интервала 192–141 см.

Fig. 2. Structure, age and lithological characteristics of the Kulikovo section deposits: (a) – lithological structure and age-depth model of the deposits of the section, (б) – results of a comprehensive lithological analysis of the depth interval 192–141 cm.

водой и низким содержанием растворенных питательных веществ; группа диатомовых водорослей, предпочитающих водоемы эвтрофного типа, хорошо прогреваемые, отличающиеся большой продуктивностью и высоким содержанием биогенных элементов; группа диатомовых водорослей, предпочитающих водоемы средней трофности (т.е. мезотрофные), и группа, представители которой индифферентны к трофности местообитания.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты радиоуглеродного датирования представлены в табл. 2. По глубинно-возрастной модели был рассчитан возраст для каждого сантиметра разреза (рис. 2, (а)). Интервал отбора проб 1–3 см обеспечивает временное разрешение образцов примерно примерно в 6–30 лет. Все полученные радиоуглеродные даты попадают в диапазон 95% доверительного интервала. В соответствии с глубинно-возрастной моделью, отложения, слагающие разрез, начали накапливаться 14 040±140 кал. л. н. Интервал неопределенности для самой нижней части разреза (192–145 см) составляет ±130–160 лет, выше по разрезу он увеличивается до ±170–190 лет.

Литостратиграфическое описание разреза представлено в табл. 3, используемая литологическая классификация типов донных отложений основана на содержании органического вещества в осадках (Субетто, 2009).

По результатам комплексного литологического анализа разреза Куликово (рис. 2, (б)) установлено, что на всем протяжении изученного интервала преобладает фракция алеврита, что свидетельствует о достаточно спокойных условиях осадконакопления. В то же время на глубинах 192–183 см и 158.5–141 см наблюдается повышенное содержание песчаной фракции — до 20% и 10–15%. Кривые содержания органического вещества и карбонатов демонстрируют резкие изменения показателей: содержание органического вещества меняется в пределах от 11 до 55%, карбонатов – от 8 до 62%. Удельная магнитная восприимчивость колеблется в пределах 0.002 до 0.014×10^{-6} м^3/кг (максимальные значения характерны для глубинного интервала 192–183 и 158.5–141 см), частотной зависимости не наблюдается.

В отложениях разреза на глубинах 192–182 и 180.5–176 см обнаружено незначительное число створок диатомей – от 1 до 50 на образец. Весовая концентрация створок в интервале 192–182 см составляет $0.002–0.033\times10^6$ створок/г, в интервале 180.5–176 см – $0.04–0.11\times10^6$ створок/г. Для остальной части осадочной толщи выделено 6 локальных диатомовых зон (ЛДЗ), отвечающих изменениям видового состава диатомовых ассоциаций (рис. 3).

ЛДЗ-I, 182–180.5 см (13 900–13 870 кал. л. н). В этой ЛДЗ обнаружены створки 18 видов диатомей. Доминируют виды-обрастатели (84% всех створок), большая часть которых представлена двумя видами, индифферентными к солености и трофности видам по системе галобов: индифирентным к трофности видом *Pseudostaurosira brevistriat*a (64%) и эвтрофным видом *Epithemia adnata* (13.5%). Содержание бентосных видов составляет около 16%, виды влажных местообитаний и планктонные виды в этой диатомовой зоне не представлены. Общее содержание видов-индифферентов составляет 89%, галофильных видов – первые доли процента, галофобных – 10%. Общее содержание эвтрофных видов составляет около 14%, мезотрофных – около 1%, олиготрофных – менее 1%, индифферентных к трофическому статусу – около 84% (рис. 4, 5). Весовая концентрация более 1×10^6 створок/г.

ЛДЗ-II, 176–169 см (13 830–13 750 кал. л. н). Идентифицированы 40 видов диатомей. Содержание бентосных видов вверх по зоне увеличивается с 40 до 63%, содержание видов-обрастателей, напротив, уменьшается с 59 до 33%. В верхней части диатомовой зоны до 4% увеличивается содержание видов влажных местообитаний; планктонные виды не представлены. Среди бентосных видов доминируют галофобный мезотрофный вид *Amphora affinis*, обитающий в водоемах разного трофического статуса (его содержание снижается от 23 до 9%), и эвтрофный вид-индифферент *Navicula oblonga* (5–9%). Среди обрастателей наиболее часто встречаются створки вида *Epithemia adnata* (от 11 до 18% всех створок) и галофобного мезотрофного вида *Cymbopleura inaequalis* (10–13%). Вверх по зоне увеличивается содержание галофобных (с 21 до 36%) и галофильных (с 0 до 13%) видов, содержание видов-индифферентов снижается с 79 до 46%; содержание мезогалобных видов увеличивается вверх по ЛДЗ-II с 0 до 4%. Увеличивается содержание мезотрофных (с 9 до 26%), олиготрофных (с 0 до 5%) и эвтрофных видов (с 16 до 22%). Содержание видов, индифферентных к трофическому статусу местообитания, резко уменьшается с 75 до 47%. Весовая концентрация вверх по зоне увеличивается с 0.05×106 до 0.11×10^6 створок/г.

ЛДЗ-III, 169–165 см (13 750–13 710 кал. л. н). В этой диатомовой зоне представлены створки 36 видов диатомей, большая их часть относится к бентосным видам (77–76%), содержание обрастателей составляет 21–22%, содержание видов влажных местообитания – от 1.5 до 0.5%, доля плактонных видов – менее 1%. Среди бентосных

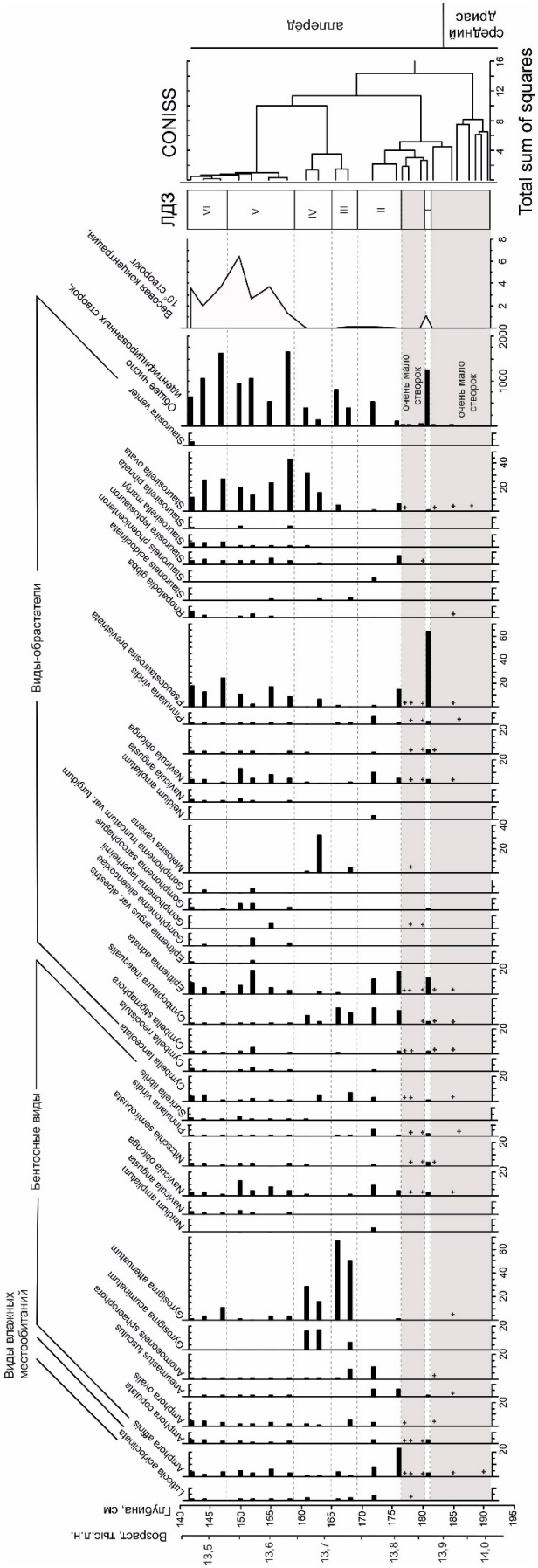

Рис. 3. Видовой состав диатомовых ассоциаций изученного интервала разреза Куликово (указаны таксоны, доля которых хотя бы в одном образце равна либо превышает 4% от всех идентифицированных створок). Цветными полосами выделены глубины с очень малым числом створок, недостаточным для корректного анализа.

Fig. 3. Diatom percentage diagram of selected taxa (their proportion in at least one sample is equal to or exceeds 4% of all identified valves) for the the studied interval of the Kulikovo outcrop sediment sequence. Colored stripes highlight depths with a very small number of sashs, insufficient for correct analysis.

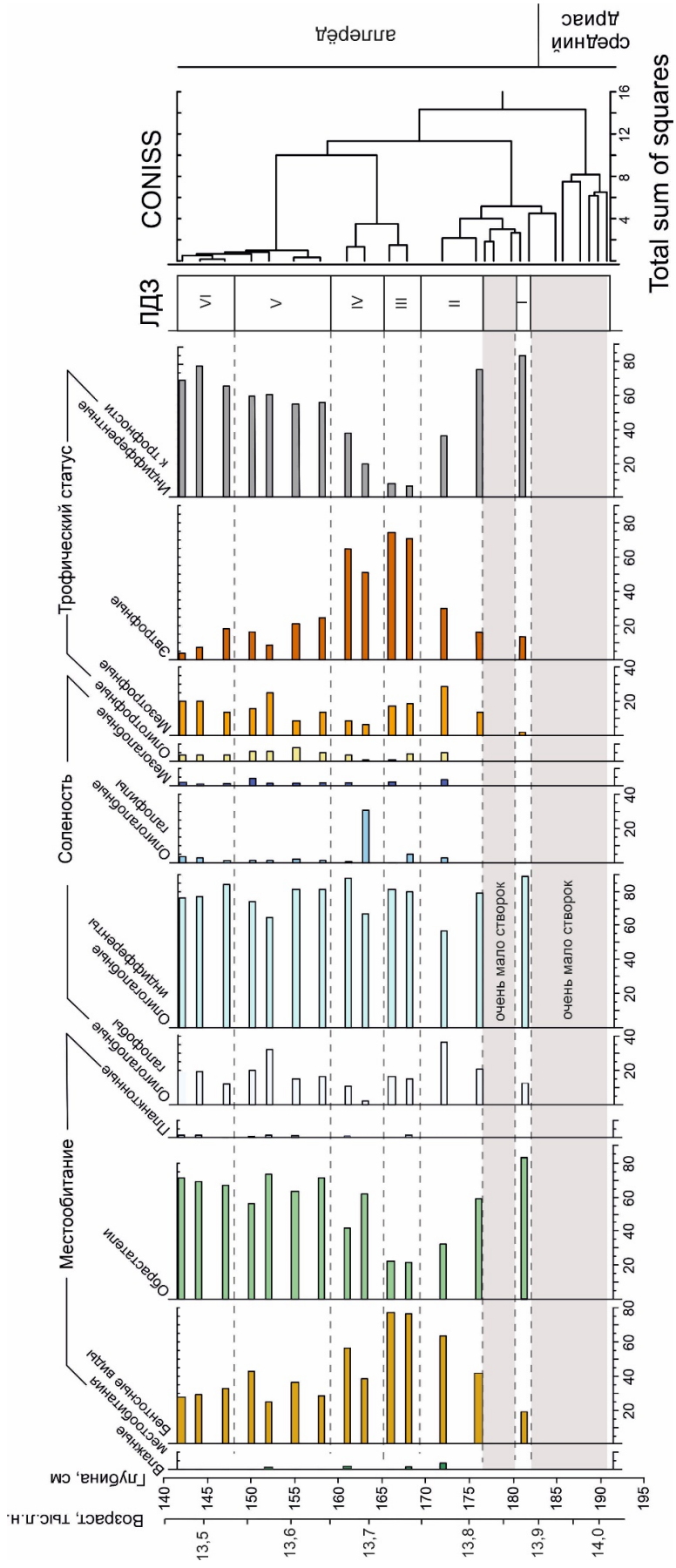

Рис. 4. Распределение экологических групп диатомей изученного интервала разреза Куликово. Цветными полосами выделены глубины с очень малым числом створок, недостаточным для корректного анализа.

Fig. 4. Distribution of ecological groups of diatoms in the studied interval of the Kulikovo outcrop sediment sequence. Colored stripes highlight depths with a very small number of sashs, insufficient for correct analysis.

резко преобладает эвтрофный вид, относящихся к индифферентам по системе галобов – *Gyrosigma attenuatum* (от 50 до 66% всех створок). Следующие по численности виды – бентосный эвтрофный индифферентный вид *Gyrosigma acuminatum* (7% всех створок в нижней части ЛДЗ) и вид-обрастель *Cymbopleura inaequalis* (9–13%). Содержание галофобных видов колеблется в пределах от 15 до 16%, содержание галофильных снижается вверх по подзоне с 13 до 1%, содержание видов-индифферентов увеличивается до 72–81%, содержание мегогалобных видов колеблется от первых долей процента до 2%. Содержание эвтрофных видов существенно увеличивается по сравнению с ЛДЗ-II и составляет от 63 до 74%, содержание мезотрофных видов составляет 17–19%, олиготрофных – от долей процента до 4%, видов, обитающих в водоемах разного трофического статуса, от 14 до 8%. Весовая концентрация створок вверх по зоне уменьшается с 0.10×10^6 до 0.05×10^6 створок/г.

ЛДЗ-IV, 165–158.5 см (13 710–13 640 кал. л. н). В этой зоне представлены створки 28 видов диатомей. По сравнению с ЛДЗ-III снижается содержание створок бентосных видов (оно изменяется в пределах от 38 до 56%) и, напротив, увеличивается содержание видов-обрастателей (хотя заметно снижение их содержания вверх по зоне с 61 до 42%). До 1.5% возрастает содержание видов влажных местообитаний и до 0.5% увеличивается содержание планктонных диатомей. Среди последних часто встречаются створки галофобных видов: индифферентного к солености и трофическому статусу местообитания вида *Staurosirella ovata* (составляют от 15 до 32% всех створок) и эвтрофного галофильного вида *Melosira varians* (31% створок в нижней части диатомовой зоны, затем его содержание резко уменьшается до 1%). Среди бентосных видов велико содержание створок видов *Gyrosigma attenuatum* (составляет от 16 до 29%) и *Gyrosigma acuminatum* (15–17%). Содержание галофобных видов вверх по подзоне снижается с 11 до 2%, содержание галофильных видов снижается от 32 до 2%, видов-индифферентов меняется от 66 до 86%, содержание мезогалобных видов едва достигает 1%. Содержание эвтрофных видов несколько снижается по сравнению с ЛДЗ-IV и составляет 55–65%. Содержание мезотрофных видов также уменьшается и составляет 6–8%. Содержание олиготрофных видов составляет от 1 до 4%, индифферентных к трофности – 21–40%. Весовая концентрация створок вверх по подзоне увеличивается от 0.012×10^6 до 0.042×10^6створок/г.

ЛДЗ-V, 158.5–148 см (13 640–13 540 кал. л. н). В этой зоне представлены створки 83 видов диатомей. Преобладают обрастатели, их содержание меняется в пределах от 56 до 73%. Среди них наиболее многочисленны створки видов *Staurosirella ovata* (от 13 до 44% створок) и *Pseudostaurosira brevistriata* (содержание меняется от 3 до 34%). Среди бентосных диатомей (их содержание меняется в пределах от 24 до 43%) преобладают створки вида *Navicula oblonga* (от 4 до 13%). Содержание створок видов влажных местообитаний и планктонных видов меняется от долей процента до 1.5%. В отложениях этого глубинного интервала преобладают виды — индифференты (их содержание меняется в пределах от 64 до 87%). Содержание галофобных видов изменяется в пределах от 10 до 32%. Содержание галофильных видов составляет 1–2%, мезогалобных видов – увеличивается к верху зоны с 1.5 до 4%. Содержание эвтрофных видов значительно снижено по сравнению с ЛДЗ-IV и меняется в пределах от 15 до 28%, содержание мезотрофных видов, напротив, несколько повышается и колеблется в пределах от 9 до 25%. Содержание олиготрофных видов составляет 4–7%, а видов, индифферентных к трофическому статусу местообитания, меняется в пределах от 55 до 64%. Весовая концентрация возрастает от 1.3×10^6 до 6.4×10^6 створок/г вверх по диатомовой зоне.

ЛДЗ-VI, 148–141 см (13 540–13 470 кал. л. н). В этой зоне идентифицированы створки 84 видов диатомей. Доминируют обрастатели (67–70%), среди которых преобладают *Pseudostaurosira brevistriata* (13–24%) и *Staurosirella ovata* (при этом, их содержание снижается вверх по зоне от 26 до 11%). Содержание бентосных видов составляет 27–33%, видов влажных местообитаний – менее 1%, планктонных видов – 1.5%. Содержание галофобных видов составляет 12–19%, индифферентов – 76–84%. Содержание галофильных видов вверх по зоне повышается от 0.5 до 3.7%, а мезогалобных составляет 1–2%. В то время, как содержание эвтрофных видов снижается вверх по зоне с 18 до 5%, содержание мезотрофных видов, напротив, увеличивается с 13 до 19%. Содержание олиготрофных видов составляет около 3%, индифферентных к трофности видов – меняется в пределах от 65 до 78%. Весовая концентрация меняется в пределах от 2×10^6 до 3.7×10^6 створок/г.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Судя по результатам радиоуглеродного датирования, отложения изученного интервала разреза Куликово накапливались в среднем дриасе и первой половине аллерёда, примерно с 14 000 по 13 400 кал. л. н. Гранулометрический анализ и анализ магнитной восприимчивости показывают, что водоем, в целом, характеризовался достаточно спокойными условиями осадконакопления,

за исключением двух этапов некоторой активизации терригенного сноса – около 14 100–13 900 (слой 1) и 13 600–13 400 кал. л. н. (слой 6), – на который указывает рост содержание крупных частиц в гранулометрическом составе осадка. Отсутствие частотной зависимости удельной магнитной восприимчивости в осадке свидетельствует о том, что в течение рассматриваемого временного этапа палеоводоем не пересыхал (Maher, Thompson, 1999). Ход кривых содержания органического вещества и карбонатов указывает на быструю смену палеоэкологичсеких условий в водоеме – вероятно, в первую очередь, его трофического статуса.

В отложениях среднего дриаса (14 100–13 900 кал. л. н.) диатомей не представлено – возможно, условия были неподходящими для их вегетации либо для сохранения створок. В отложениях первой половины аллерёда (13 900–13 400 кал. л. н.) их концентрация варьирует в широких пределах, от десятков тысяч до нескольких миллионов на 1 г осадка. Число таксонов в изученном интервале составляет 117 видов.

Судя по видовому составу диатомовых ассоциаций, на этапе 13 900–13 870 кал. л. н. (ЛДЗ-I) изучаемый палеоводоем характеризовался небольшой глубиной и средней степенью минерализации, его трофический статус восстановить достаточно сложно, поскольку преобладали диатомеи, индифферентные к трофическому статусу местообитания. Резко преобладающий вид *Pseudostaurosira brevistriata* относится к пионерным и указывает на щелочные условия и воду, богатую кислородом и растворенным кальцием (Miller, 1977). Это же подтверждается высоким содержанием карбонатов в осадке, установленным при расчете потерь при прокаливании. Эти диатомеи образуют лентовидные колонии на субстрате, в связи чем они слабо устойчивы к волновому воздействию. Их обилие можно считать индикатором спокойных гидродинамических условий (Зарецкая и др., 2023), на которые также указывает гранулометрический состав отложений, соотвествующих ЛДЗ-I. Видовой состав ЛДЗ-I значительно схож с аллерёдской хронозоной (DZ-1) по Кабайлене (1968), Kabailiné (2006)

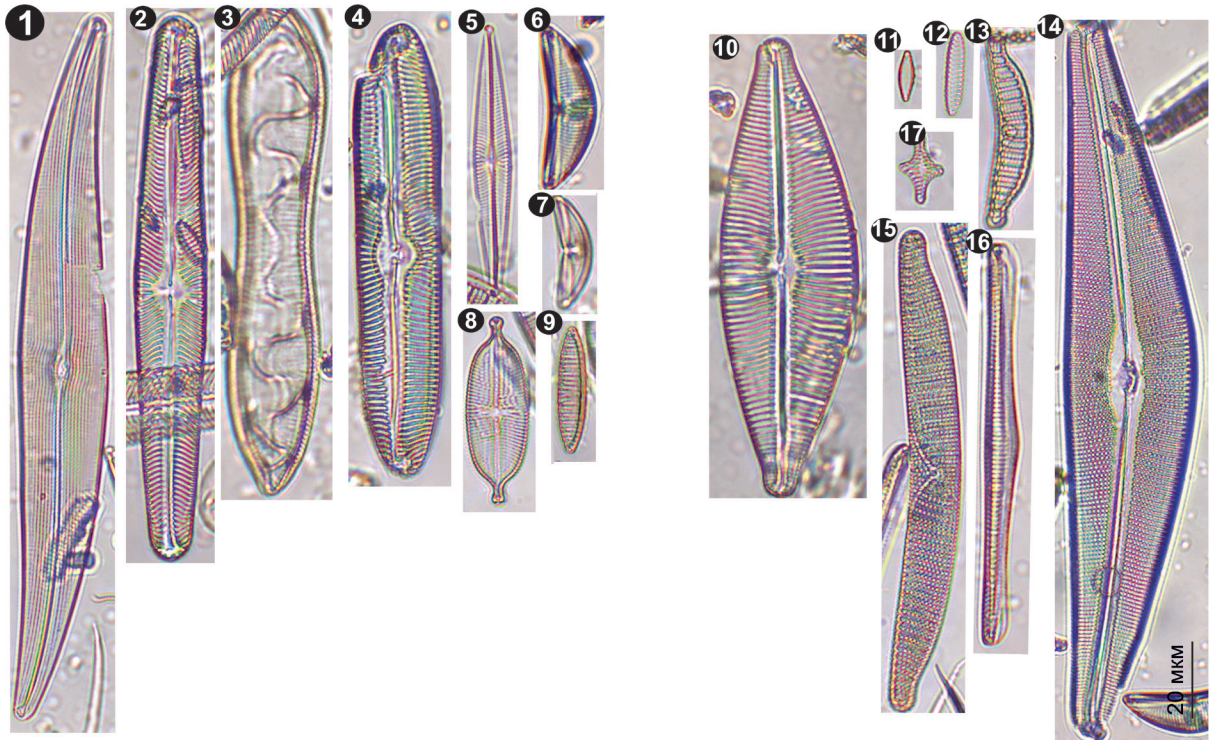

Рис. 5. Некоторые виды диатомей изученного интервала разреза Куликово. Цифрами обозначены бентосные диатомеи (1 – *Gyrosigma attenuatum*, 2 – *Navicula oblonga*, 3 – *Surirella librile*, 4 – *Pinnularia viridis*, 5 – *Navicula radiosa*, 6 – *Amphora ovalis*, 7 – *Amphora affinis*, 8 – *Aneumastus tusculus*, 9 – *Nitzschia semirobusta*) и обрастатели (10 – *Cymbopleura inaequalis*, 11 – *Pseudostaurosira brevistrata*, 12 – *Staurosirella ovata*, 13 – *Epithemia adnata*, 14 – *Cymbella lanceolata*, 15 – *Epithemia argus var.alpestris*, 16 – *Rhopalodia gibba*).

Fig. 5. Some diatoms of the studied interval of the Kulikovo section. The numbers indicate: bentic (1 – *Gyrosigma attenuatum*, 2 – *Navicula oblonga*, 3 – *Surirella librile*, 4 – *Pinnularia viridis*, 5 – *Navicula radiosa*, 6 – *Amphora ovalis*, 7 – *Amphora affinis*, 8 – *Aneumastus tusculus*, 9 – *Nitzschia semirobusta*) and epiphytic diatoms (10 – *Cymbopleura inaequalis*, 11 – *Pseudostaurosira brevistrata*, 12 – *Staurosirella ovata*, 13 – *Epithemia adnata*, 14 – *Cymbella lanceolata*, 15 – *Epithemia argus var.alpestris*, 16 – *Rhopalodia gibba*).

и диатомовыми ассоциациями первой половины аллерёда из донных отложений озер (Słowinski et al., 2017), Петрашюнай (Stančikaitė et al., 2009) и Кашучяй (Stančikaitė et al., 2008).

На этапе 13 870–13 830 кал. л. н. (в глубинном интервале 180.5–176 см) наблюдается крайне незначительное число створок диатомей, не позволяющее характеризовать условия исследуемого палеоводоема. Гранулометрический состав отложений не отличается от залегающих ниже. Отмечается некоторый рост содержания органического вещества и снижение содержания карбонатов. Для установления причин прекращения вегетации диатомей на этом этапе либо невозможности их сохранения в осадке необходимы дополнительные исследования.

На этапе 13 830–13 750 кал. л. н. (ЛДЗ-II) видовой состав диатомовых ассоциаций указывает на условия неглубокого мезотрофно-эвтрофного водоема с низкой минерализацией. Преобладание бентосных видов, среди которых доминирует вид *Amphora affinis*, характеризующийся небольшим размером створок, снижение содержание обрастателей, среди которых преобладают виды со сравнительно толстыми стенками панциря (*Cymbopleura inaequalis* и *Epithemia adnata*) и рост содержания створок олигогалобных галофильных видов может указывать на увеличение проточности палеоводоема. С этим предположением согласуются результаты комплексного литологического анализа – отложения, соответствующие этому этапу, характеризуются повышенным содержанием песчаной фракции, высокими значениями медианного размера частиц.

Судя по видовому составу диатомовых ассоциаций, на этапе 13 750–13 640 кал. л. н. (ЛДЗ-III, IV) изучаемый палеоводоем характеризовался небольшой глубиной и эвтрофными условиями и минерализацией от низкой до средней. На эвтрофикацию водоема может указывать рост содержания органического вещества в осадке. Преобладающие виды *Gyrosigma attenuatum* и *G.acuminatum* отличаются крупным размером створок и способны обитать в текучей воде, предпочитают щелочные условия (Lange-Bertalot et al., 2017). На возможное увеличение проточности водоема также указывают литологические индикаторы терригенного сноса – рост содержания песчаной фракции в отложениях и увеличение медианного размера частиц и удельной магнитной восприимчивости осадка. Кроме разреза Куликово, представители рода *Gyrosigma* spp., в рассмотренных в настоящей работе седиментационных архивах были встречены в большом количестве только в отложениях бёллинга в озере Гинкунай (Stančikaite et al., 2015) и в отложениях второй половины аллереда (13100–12800 кал. л. н.) в разрезе Алейка (Зарецкая и др., 2023).

На этапе 13 640–13 400 кал. л. н. (ЛДЗ-V, VI) видовой состав диатомовых ассоциаций указывает на условия неглубокого эвтрофного водоема. Резкое преобладание обрастателей *Staurosirella ovata* и *Pseudostaurosira brevistriata* может указывать на спокойные гидродинамические условия, благоприятные для развития характерных для этих видов лентовидных колоний, и высокое содержание кальция в воде. Для донных отложений этого этапа характерно некоторое увеличение содержания карбонатов (до 30%), однако в гранулометрическом составе при малом общем содержании песчаной фракции отмечается некоторое количество крупно- и грубозернистого песка. В нижней части глубинного интервала, соответствующего ЛДЗ-V, отмечается повышение удельной магнитной восприимчивости осадка, что может быть индикатором некоторой активизации терригенного сноса. В целом видовой состав диатомовых ассоциаций выделенного этапа соответствует составу аллерёдской хронозоны (DZ-1), по Кабайлене (1968), Kabailiné (2006), и отложений ряда озер юго-восточной Прибалтики (Stančikaitė et al., 2008, Stančikaitė et al., 2009, Słowinski et al., 2017).

Как и в большинстве рассмотренных палеоводоемов с небольшой глубиной, в отложениях изученного интервала разреза Куликово заметна роль мезотфроных и эвтрофных диатомей, в отличие от водоемов с большей глубиной, в которых преобладают олиготрофные виды. Вероятно, климатические особенности аллерёда, а также влияние других факторов, например, деградация мертвого льда, не создавали благоприятных условий для эвтрофикации водоемов, кроме тех, где небольшая глубина способствовала хорошему прогреву. Для диатомовых ассоциаций исследуемого разреза, как и для всех рассмотренных палеоархивов, характерно преобладание олигогалобных видов. Это может указывать на низкую минерализацию не только в моренных озерах, но и в других изолированных или полуизолированных бассейнах, расположенных по побережью БЛО.

Установленные для разреза Куликово значимые изменения видового состава диатомовых ассоциаций в сроки менее чем за столетие указывают на высокую динамичность региональных и локальных природных условий позднеледниковья. Выделенные этапы характеризуются очень небольшой продолжительностью, зачастую сопоставимой с погрешностью радиоуглеродного датирования. Этот факт подтверждает необходимость максимально детального опробования седиментационных архивов для понимания всей сложности процессов,

формировавших природную среду в финале плейстоцена. При этом при построении региональных реконструкций необходимо учитывать возможную асинхронность развития биологических индикаторов в водоемах разной площади, глубины, степени проточности.

ВЫВОДЫ

В результате изучения разреза Куликово установлены этапы смены видового состава диатомовых ассоциаций в интервале 14 000–13 400 кал. л. н. Сравнительно короткая продолжительность этих этапов (несколько десятилетий – столетие) свидетельствует о чутком реагировании водной экосистемы изучаемого водоема на быстрые изменения природной среды юго-восточной Прибалтики в интерстадиале бёллинг–аллерёд. Сопоставление полученных данных с результатами диатомового анализа отложений других седиментационных архивов этого региона выявило общие тенденции развития диатомовой флоры, а также ее локальные особенности, связанные с условиями осадконакопления в конкретном палеоводоеме. Так, общим для большей части палеоводоемов является массовое развитие пионерных обрастателей семейства Fragilariaceae в аллерёде. Можно выделить и локальные особенности – например, в глубоких озерах в аллерёде продолжают доминировать планктонные холодолюбивые виды, а в изучаемом палеоводоеме на севере Самбийского (Калининградского) п-ова отмечается массовое развитие видов *Gyrosigma* spp. на кратком этапе 13 700–13 640 кал. л. н.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование отложений разреза Куликово выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-17-00113, сравнительный анализ региональных диатомовых ассоциаций выполнен по теме госзадания FMWS-2024-0003 Института географии РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Зарецкая Н.Е., Лудикова А.В., Кузнецов Д.Д. и др. (2023). Природные обстановки позднеледниковья и развитие приледниковых водоемов на северном побережье Самбийского (Калининградского) полуострова. *Геоморфология и палеогеография*. Т. 54. № 4. С. 7–25. https://doi.org/10.31857/S2949178923040163

Кабайлене М. (2002). Озера Юго-Восточной Литвы и их окружающая среда в позднем ледниковье и голоцене по данным диатомового и пыльцевого анализа отложений. *Прикладная лимнология*. Вып. 3. С. 123–132.

Кабайлене М. (1968). Озерные и морские диатомеи в голоцене на территории Литвы. В кн.: *Ископаемые диатомовые водоросли СССР*. М.: Наука. С. 102–107.

Куликовский М.С., Глущенко А.М., Генкал С.И. и др. (2016). Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль: Филигрань. 804 с.

Прошкина-Лавренко А.И. (1949). Физиология и экология диатомовых водорослей. В кн.: *Диатомовый анализ*. Т. 1. М.: Госгеолиздат. С. 52–79.

Субетто Д.А. (2009). Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. СПб.: РГПУ им. А. И. Герцена. 348 с.

Battarbee R.W., Jones V.J., Flower R.J. (2001). Diatoms. In: *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*. Smol J.P, Birks H.J-B., Last W.M. (Eds.). Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators. P.155–202.

Blaauw M., Christen J.A. (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*. V. 6. № 3. P. 457–474. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.01.010

Denys L. (1991). A check-list of the Diatoms in the Holocene deposits of the Western Belgian Coastal Plane with a Survey of Their Apparent Ecological Requirements. In: *Intriduction, ecological code and complete list. Berchem: Ministere des affairs economiques, Service Geologique de Belgique*. 41 p.

Druzhinina O., Kublitskiy Y., Stančikaitė M. et al. (2020). A new approach based on chironomid, geochemical and isotopic data from Kamyshovoe Lake. *Boreas*. V. 49. № 33. P. 544–561. https://doi.org/10.1111/bor.12438

Druzhinina O., Subetto D., Stančikaitė M. et al. (2015). Sediment record from the Kamyshovoe Lake: history of vegetation during late Pleistocene and early Holocene (Kaliningrad District, Russia). *Baltica*. V. 28. № 2. P. 121–134.

Gaigalas A., Vaikutienė G., Vainorius J. et al. (2008). Development of Lake Rėkyva and its environment in Late Pleistocene and Holocene. *Geologija*. V. 1. № 61. P. 28–36.

Gałka M., Tobolski K., Bubak I. (2015). Late Glacial and Early Holocene lake level fluctuations in NE Poland tracked by macro-fossil, pollen and diatom records. *Quat. Int*. № 388. P. 23–38. http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.03.009

Guiry M.D., Guiry G.M. (2020). AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway [Электронный ресурс]. URL: https://www.algaebase.org/ (дата обращения 20.12.2023).

Grimm E.C. (1987). CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Comput. Geosci*. V. 13. P. 13–35.

Heikkilä M., Seppä H. (2010). Holocene climate dynamics in Latvia, eastern Baltic region: A pollen-based summer temperature reconstruction and regional comparison. *Boreas*. V. 39. № 4. P. 705–719. https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2010.00164.x

Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *J. Paleolimnol*. V. 25. P. 101–110. https://doi.org/10.1023/A:1008119611481

Houmark-Nielsen M., Kjær K.H. (2003). Southwest Scandinavia, 40–15 kyr BP: palaeogeography and environmental change. *J. of Quat. Sci*. V. 18. № 8. P. 769–786. https://doi.org/10.1002/jqs.802

Hustedt F. (1953). Die Systematik der Diatomeen in ihren Beziehungen zur Geologie und Okologie nebst einer Revision des Halobien-systems. *Sv. Bot. Tidskr*. V. 47. P. 509–519.

Kabailiné M. (1995). The Baltic Ice Lake and Yolda Sea stages, based on data from diatom analysis in the Central, South-Eastern and Eastern Baltic. *Quat. Int*. V. 27. P. 69–72.

Kabailiné M. (2006). Late Glacial and Holocene stratigraphy of Lithuania based on pollen and diatom data. *Geologija*. V. 54. P. 42–48.

Kramer K., Lange-Bertalot H. (2001). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Teil 1: Naviculaceae. Heidelberg, Berlin. 876 p.

Kramer K., Lange-Bertalot H. (2001). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Teil 2: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Heidelberg, Berlin. 596 p.

Kramer K., Lange-Bertalot H. (2001). Süßwasserflora von Mitteleuropa. 3. Teil: Bacillariaceae, Centrales, Fragilariaceae, Eunoticeae. Heidelberg, Berlin. 640 p.

Kramer K., Lange-Bertalot H. (2001). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Tei 4l: Achnantaceae. Heidelberg, Berlin. 468 p.

Kolbe R. (1932). Grundlinien einer allgemeinen Ökologie der Diatomeen. In: *Ergebnisse der Biologie*. T. 8. Frisch K.V., R Goldschmidt R., Ruhland W., Winterstein H. (Eds.). P. 221–348.

Lange-Bertalot H., Hoffman G., Werum M. et al. (2017). Freshwater Bentic Diatoms of Central Europe: Over 800 Common Species Used in Ecological Assesement. Koeltz Botanical Book. 908 p.

Maher B.A., Thompson R. (1999). Quaternary climates, environments and magnetism. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 390 p.

Mangerud J., Jakobsson M., Alexanderson H. et al. (2004). Ice-dammed lakes and rerouting of the drainage of Northern Eurasia during the Last Glaciation. *Quat. Sci. Rev*. V. 23. № 11–12. P. 1313–1332. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2003.12.009

Miller U. (1977). Pleistocene Deposits of the Alnarp Valley, Southern Sweden. Microfossils and Their Stratigraphical Application. T. 4. Lund: University of Lund, Department of Quaternary Geology. 125 p.

Özer M., Orhan M., Isik N.S. (2010). Effect of Particle Optical Properties on Size Distribution of Soils Obtained by Laser Diffraction. *Environmental and Engineering Geoscience*. V. 16. № 2. P. 163–173. https://doi.org/10.2113/gseegeosci.16.2.163

Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. et al. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal. kBP). *Radiocarbon*. V. 62. № 4. P. 725–757. https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41

Šeirienė V., Kabailienė M., Kasperovičienė J. et al. (2009). Reconstruction of postglacial palaeoenvironmental changes in eastern Lithuania: Evidence from lacustrine sediment data. *Quat. Int*. V. 207. P. 58–68. https://doi:10.1016/j.quaint.2008.12.005

Seppä H., Poska A. (2004). Holocene annual mean temperature changes in Estonia and their relationship to solar insolation and atmospheric circulation patterns. *Quat. Res*. V. 61. № 1. P. 22–31. https://doi:10.1016/j.yqres.2003.08.00

Słowinski M., Zawiska I., Ott F. et al. (2017). Differential proxy responses to late Allerød and early Younger Dryas climatic change recorded in varved sediments of the Trzechowskie palaeolake in Northern Poland. *Quat. Sci. Rev*. V. 158. P. 94–106. http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.01.005

Stančikaitė M., Kisielienė D., Moeb D. et al. (2009). Lateglacial and early Holocene environmental changes in northeastern Lithuania. *Quat. Int*. V. 207. P. 80–92. http://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.10.009

Stančikaitė M., Šeirienė V., Kisielienė D. et al. (2015). Lateglacial and early Holocene environmental dynamics in northern Lithuania: A multi-proxy record from Ginkūnai Lake. *Quat. Int*. V. 357. P. 44–57. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.08.036

Stančikaitė M., Šinkūnas P., Šeirienė V. et al. (2008). Patterns and chronology of the Lateglacial environmental development at Pamerkiai and Kašučiai, Lithuania. *Quat. Sci. Rev*. V. 27. P. 127–147 https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.01.014

Úscinowicz S. (2011). An Outline of the History of the Baltic Sea. In: *Geochemistry of Baltic Sea Surface Sediments*. Úscinowicz S. (Ed.). Warsaw: Polish Geological Institute-National Research Institute. P. 70–73.

Veski S., Seppä H., Stančikaitė M. et al. (2015). Quantitative summer and winter temperature reconstructions from pollen and chironomid data between 15 and 8 ka BP in the Baltic-Belarus area. *Quat. Int*. V. 388. P. 4–11. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.10.059

Witkowski A., Cedro B., Kierzek A., et al. (2009) Diatoms as a proxy in reconstructing the Holocene environmental changes in the south-western Baltic Sea: the lower Rega River Valley sedimentary record. *Hydrobiologia*. V. 631. P. 155–172. https://doi.org/10.1007/s10750-009-9808-7

NEW DATA ABOUT LATE GLACIAL DIATOMS IN SOUTHEASTERN BALTIC[2]

A. I. Rudinskaya[a,#], O. A. Druzhinina[b,c], K. G. Filippova[a], and L. I. Lazukova[a]

[a] *Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*
[b] *Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint-Petersburg, Russia*
[c] *Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia*
[#] *E-mail: rudinskaya94@gmail.com*

The sediments of shallow basins formed along the coast of the Baltic Ice Lake about 14 500-14 000 cal BP provide a valuable data to reconstruct environmental changes in the Bølling-Allerød Interstadial. Radiocarbon dating and complex lithological and diatom analyzes were performed for the deposits of one of these paleoreservoirs exposed in the Kulikovo section (northern part of the Sambian Peninsula). As a result of studying the deposits aged 14 000 – 13 400 cal BP the total of number of 117 diatom species were identified, oligohalobic indifferent eutrophic benthic species predominated. The most typical species are *Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosirella ovata*, *Gyrosigma attenuatum*, *G. acuminatum*, *Amphora affinis*, *Epithemia adnata*. The obtained data on diatom communities were compared with existing ideas about the Late Glacial diatom flora for this region. This comparison made it possible not only to reconstruct the changes in the ecological conditions of the studied paleoreservoir, but also to identify general and local patterns of diatom communities formed at that time. Thus, in most paleoreservoirs pioneer cosmopolitic epiphytic diatoms of the Fragilariaceae dominate in the Allerød sediments. This indicates fairly calm hydrodynamic conditions. At the same time, in deep paleoreservoirs, despite the Allerød warming, oligotrophic planktonic species dominate in diatom communities and in some sedimentary archives, benthic diatoms capable of living in running water (*Gyrosigma* spp.) become significant or predominating species.

Keywords: diatom analysis, paleolimnology, paleogeographic reconstructions, Late Glacial, Sambian Peninsula

ACKNOWLEDGMENTS

The study of deposits of the Kulikovo section was funded by the Russian Science Foundation, project № 22-17-00113, the comparative analysis of regional diatom associations was carried out on the theme a state assignment FMWS-2024-0003 by Institute of Geography RAS.

REFERENCES

Battarbee R.W., Jones V.J., Flower R.J. (2001). Diatoms. In: *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments.* Smol J.P., Birks H.J-B., Last W.M. (Eds.). Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators. P. 155–202.

Blaauw M., Christen J.A. (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*. V. 6. № 3. P. 457–474. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.01.010.

Bykov B.A. (1983). Ekologicheskii slovar' (Ecological dictionary). Alma-Ata: Nauka (Publ.). 216 p. (in Russ.)

Dean W.E. (1974). Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; comparison with other methods. *J. Sediment. Petrol.* V. 44. № 1. P. 242–248. https://doi.org/10.1306/74D729D2-2B21-11D7-8648000102C1865D

Denys L. (1991). A check-list of the Diatoms in the Holocene deposits of the Western Belgian Coastal Plane with a Survey of Their Apparent Ecological Requirements. In: In: *Intriduction, ecological code and complete list*. Berchem: Ministere des affairs economiques, Service Geologique de Belgique. 41 p.

Druzhinina, O., Kublitskiy, Y., Stančikaitė, M. et al. (2020) A new approach based on chironomid, geochemical and isotopic data from Kamyshovoe Lake. *Boreas*. Vol. 49. No.33. P.544–561. https://doi.org/10.1111/bor.12438

Druzhinina O., Subetto D., Stančikaitė M. et al. (2015). Sediment record from the Kamyshovoe Lake: history of vegetation during late Pleistocene and early Holocene (Kaliningrad District, Russia). *Baltica*. V. 28. № 2. P.121–134.

Gaigalas A., Vaikutienė G., Vainorius J. et al. (2008). Development of Lake Rėkyva and its environment in Late Pleistocene and Holocene. *Geologija*. V. 1. № 61. P. 28–36.

Gałka M., Tobolski K., Bubak I. (2015). Late Glacial and Early Holocene lake level fluctuations in NE Poland tracked by macro-fossil, pollen and diatom records. *Quat. Int.* № 388. P. 23–38. http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.03.009

Gilyarov M.S. (Ed.). (1986). Biologicheskii entsiklopedicheskii slovar' (Biological encyclopedic dictionary). Moscow: Sovetskaya Ensiklopediya (Publ.). 831 p. (in Russ.)

Grimm E.C. (1987). CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Comput. and Geosci*. V. 13. P. 13–35.

[2] *For citation*: Rudinskaya A.I., Druzhinina O.A., Filippova K.G., Lazukova L.I. (2024). New data about Late Glacial diatoms in Southeastern Baltic. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. V. 55. № 3. P. 164–182. https://doi.org/10.31857/S2949178924030093; https://elibrary.ru/PLESSI

Guiry M.D., Guiry G.M. (2020). AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. [Электронный ресурс]. Access way: https://www.algaebase.org/ (дата обращения 20.12.2023).

Heikkilä M., Seppä H. (2010). Holocene climate dynamics in Latvia, eastern Baltic region: A pollen-based summer temperature reconstruction and regional comparison. *Boreas*. V. 39. № 4. P. 705–719. https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2010.00164.x

Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *J. of paleolimnology*. V. 25. P. 101–110. https://doi.org/10.1023/A:1008119611481.

Houmark-Nielsen M., Kjær K.H. (2003). Southwest Scandinavia, 40–15 kyr BP: palaeogeography and environmental change. *J. of Quat. Sci*. V. 18. № 8. P. 769–786. https://doi.org/10.1002/jqs.802

Hustedt F. (1953). Die Systematik der Diatomeen in ihren Beziehungen zur Geologie und Okologie nebst einer Revision des Halobien-systems. *Sv. Bot. Tidskr*. V. 47. P. 509–519.

Kabailiné M. (1968). Freshwater and marine diatoms in the Holocene in Lithuania. In: *Iskopaemye diatomovye vodorosli SSSR*. Moscow: Nauka (Publ.) P. 102–107. (in Russ.)

Kabailiné M. (2002). Lakes of South-Eastern Lithuania and their environment in the Late Glacial and Holocene according to diatom and pollen analysis of sediments. *Prikladnaya limnologiya*. V. 3. P. 123–132. (in Russ.)

Kabailiné M. (2006) Late Glacial and Holocene stratigraphy of Lithuania based on pollen and diatom data. *Geologiya*. V. 54. P. 42–48.

Kabailiné M. (1995). The Baltic Ice Lake and Yolda Sea stages, based on data from diatom analysis in the Central, South-Eastern and Eastern Baltic. *Quat. Int*. V. 27. P. 69–72.

Kolbe R. (1932). Grundlinien einer allgemeinen Ökologie der Diatomeen. In: Frisch K.V., R Goldschmidt R., Ruhland W., Winterstein H. (Eds.). *Ergebnisse der Biologie*. V. 8. P. 221–348.

Kramer K., Lange-Bertalot H. (2001). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Teil 1: Naviculaceae. Heidelberg, Berlin. 876 p.

Kramer K., Lange-Bertalot H. (2001). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Teil 2: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Heidelberg, Berlin. 596 p.

Kramer K., Lange-Bertalot H. (2001). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Teil 3: Bacillariaceae, Centrales, Fragilariaceae, Eunoticeae. Heidelberg, Berlin. 640 p.

Kramer K., Lange-Bertalot H. (2001). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Teil 4: Achnantaceae. Heidelberg, Berlin. 468 p.

Kulikovskii M.S., Gluschenko A.M., Genkal S.I. et al. (2016). Opredelitel' diatomovykh vodoroslei Rossii (Identification book for diatoms of Russia). Yaroslavl': Filigran' (Publ.). 804 p. (in Russ.)

Lange-Bertalot H., Hoffman G., Werum M. et al. (2017). Freshwater Bentic Diatoms of Central Europe: Over 800 Common Species Used in Ecological Assesement. Koeltz Botanical Book. 908 p.

Maher B.A., Thompson R. (1999). Quaternary climates, environments and magnetism. Cambridge: Cambridge University Press. 1999. 390 p.

Mangerud J., Jakobsson M., Alexanderson H. et al. (2004). Ice-dammed lakes and rerouting of the drainage of Northern Eurasia during the Last Glaciation. *Quat. Sci. Rev*. V. 23. № 11–12. P. 1313–1332. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2003.12.009

Miller U. (1977). Pleistocene Deposits of the Alnarp Valley, Southern Sweden. Microfossils and Their Stratigraphical Application. T. 4. Lund: University of Lund, Department of Quaternary Geology. 125 p.

Özer M., Orhan M., Isik N.S. (2010). Effect of Particle Optical Properties on Size Distribution of Soils Obtained by Laser Diffraction. *Environmental and Engineering Geoscience*. V. 16. № 2. P. 163–173. https://doi.org/10.2113/gseegeosci.16.2.163.

Proshkina-Lavrenko A.I. (1949). Physiology and ecology of diatoms. In: *Diatomovyi analiz*. Moscow: Gosgeolizdat (Publ.). V. 1. P. 52–79. (in Russ.)

Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. et al. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*. V. 62. № 4. P. 725–757. https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41

Šeirienė V., Kabailienė M., Kasperovičienė J. et al. (2009). Reconstruction of postglacial palaeoenvironmental changes in eastern Lithuania: Evidence from lacustrine sediment data. *Quat. Int*. V. 207. P. 58–68. https://doi:10.1016/j.quaint.2008.12.005

Seppä H., Poska A. (2004). Holocene annual mean temperature changes in Estonia and their relationship to solar insolation and atmospheric circulation patterns. *Quat. Res*. V. 61. № 1. P. 22–31. https://doi:10.1016/j.yqres.2003.08.00

Słowinski M., Zawiska I., Ott F. et al. (2017). Differential proxy responses to late Allerød and early Younger Dryas climatic change recorded in varved sediments of the Trzechowskie palaeolake in Northern Poland. *Quat. Sci. Rev*. V. 158. P. 94–106. http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.01.005

Stančikaitė M., Kisielienė D., Moeb D. et al. (2009). Lateglacial and early Holocene environmental changes in northeastern Lithuania. *Quat. Int*. V. 207. P. 80–92. http://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.10.009

Stančikaitė M., Šeirienė V., Kisielienė D. et al. (2015). Lateglacial and early Holocene environmental dynamics in northern Lithuania: A multi-proxy record from Ginkūnai Lake. *Quat. Int*. V. 357. P. 44–57. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.08.036

Stančikaitė M., Šinkūnas P., Šeirienė V. et al. (2008). Patterns and chronology of the Lateglacial environmental development at Pamerkiai and Kašučiai, Lithuania. *Quat. Sci. Revs*. V. 27. P. 127–147. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.01.014

Subbeto D.A. (2009). Lake Sediments: Paleolimnological Reconstructions. Saint-Petersburg: Herzen University Publ. 348 p. (in Russ.)

Úscinowicz S. (2011). An Outline of the History of the Baltic Sea. In: Úscinowicz S. (ed.). Geochemistry of Baltic Sea

Surface Sediments. Warsaw: Polish Geological Institute-National Research Institute. P. 70–73.

Veski S., Seppä, H., Stančikaitė M. et al. (2015). Quantitative summer and winter temperature reconstructions from pollen and chironomid data between 15 and 8 ka BP in the Baltic-Belarus area. *Quat. Int*. V. 388. P. 4–11. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.10.059

Witkowski A., Cedro B., Kierzek A. et al. (2009). Diatoms as a proxy in reconstructing the Holocene environmental changes in the south-western Baltic Sea: the lower Rega River Valley sedimentary record. *Hydrobiologia*. V. 631. P. 155–172. https://doi.org/10.1007/s10750-009-9808-7

Zaretskaya N.E., Ludikova A.V., Kuzhetsov D.D. et al. (2023). Late Glacial palaeoenvironment and development of proglacial lakes on the northern coast of the Sambian (Kaliningrad) Peninsula. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. V. 54. № 4. P. 7–25. (in Russ.). https://doi.org/10.31857/S2949178923040163