

МИКРОБИОМОРФНЫЙ АНАЛИЗ В ИЗУЧЕНИИ ПОЗДНЕЛЕДНИКОВОЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРЕЗА КУЛИКОВО (САМБИЙСКИЙ ПОЛУОСТРОВ, КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2024 А. А. Гольева¹, О. А. Дружинина^{2, *}

¹Институт географии РАН, Москва, Россия

²Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: olga.alex.druzhinina@gmail.com

Поступила в редакцию 10.09.2023 г.

После доработки 24.12.2023 г.

Принята к публикации 26.12.2023 г.

Статья посвящена предварительным результатам исследования разреза Куликово (Самбийский полуостров, Калининградская область, Россия), вскрывающего отложения одного из позднеплейстоценовых палеоводоемов. Разрез представлен алевритами с прослойками торфа. Уникальность разреза обусловлена его хорошей сохранностью. В то время как большая часть палеоводоемов, существовавших вдоль побережья Балтийского моря, впоследствии была разрушена в ходе голоценовых морских трансгрессий и регрессий, обнаруженные отложения предоставляют возможность детального изучения природной среды позднеледниковья юго-восточной части побережья Балтийского моря во временном интервале от среднего до позднего дриаса (~14200–12500 кал. л. н.). Впервые для региона данный тип отложений исследован методом микробиоморфного анализа. При этом решались две основные задачи: оценить информативность метода применительно к позднеледниковым отложениям палеоводоемов и получить дополнительные локальные данные о растительности и окружающей среде позднеледниковья. Первый этап изучения разреза показал высокую информативность метода. Получены сведения о составе микробиоморфных спектров позднеледниковых водных отложений. Он включает в себя 4 основных категории микробиоморф: фитолиты растений, панцири диатомовых водорослей, спикулы губок, растительный детрит. В отдельную группу выделены сферулы, обогащенные железом (Fe). На основании имеющихся предварительных результатов можно сделать вывод о неоднократной смене гидрологических условий на прилегающей территории, выразившейся в изменении проточности водоема. Получены также данные о растительных сообществах, окружавших палеоводоем: они были представлены тростниковыми зарослями, луговой и лесной растительностью, включая хвойные деревья. Последний факт особенно важен при решении дискуссионного вопроса о распространении древесных пород на освобожденных от ледника пространствах. Обнаружение железистых сферул в отложениях Куликово имеет существенное значение для дальнейшего исследования влияния импактных событий на природу позднеледниковья.

Ключевые слова: микробиоморфы, фитолиты, железистые микросферулы, позднеледниковье, постледниковый водоем

DOI: 10.31857/S2587556624010078, EDN: GLCKXV

ВВЕДЕНИЕ

Юго-восточная часть побережья Балтийского моря (современная Калининградская область России) относится к районам, покрытым ледником в период максимума валдайского оледенения (рис. 1) (Huges et al., 2015). С началом дегляциации в позднем плейстоцене природная среда этой территории претерпела значительные изменения, реконструкция которых

представляет собой сложную научную задачу. Отступление последнего Скандинавского материкового ледника стало не только основным фактором формирования рельефа и гидросети суши, но и Балтийского моря как такового (Блажчишин, 1998; Kabailinè, 1995; Uścinowicz, 2011). Общая схема палеогеографического развития этого региона с момента деградации последнего оледенения выглядит следующим образом. Возникновение современного Балтийского моря

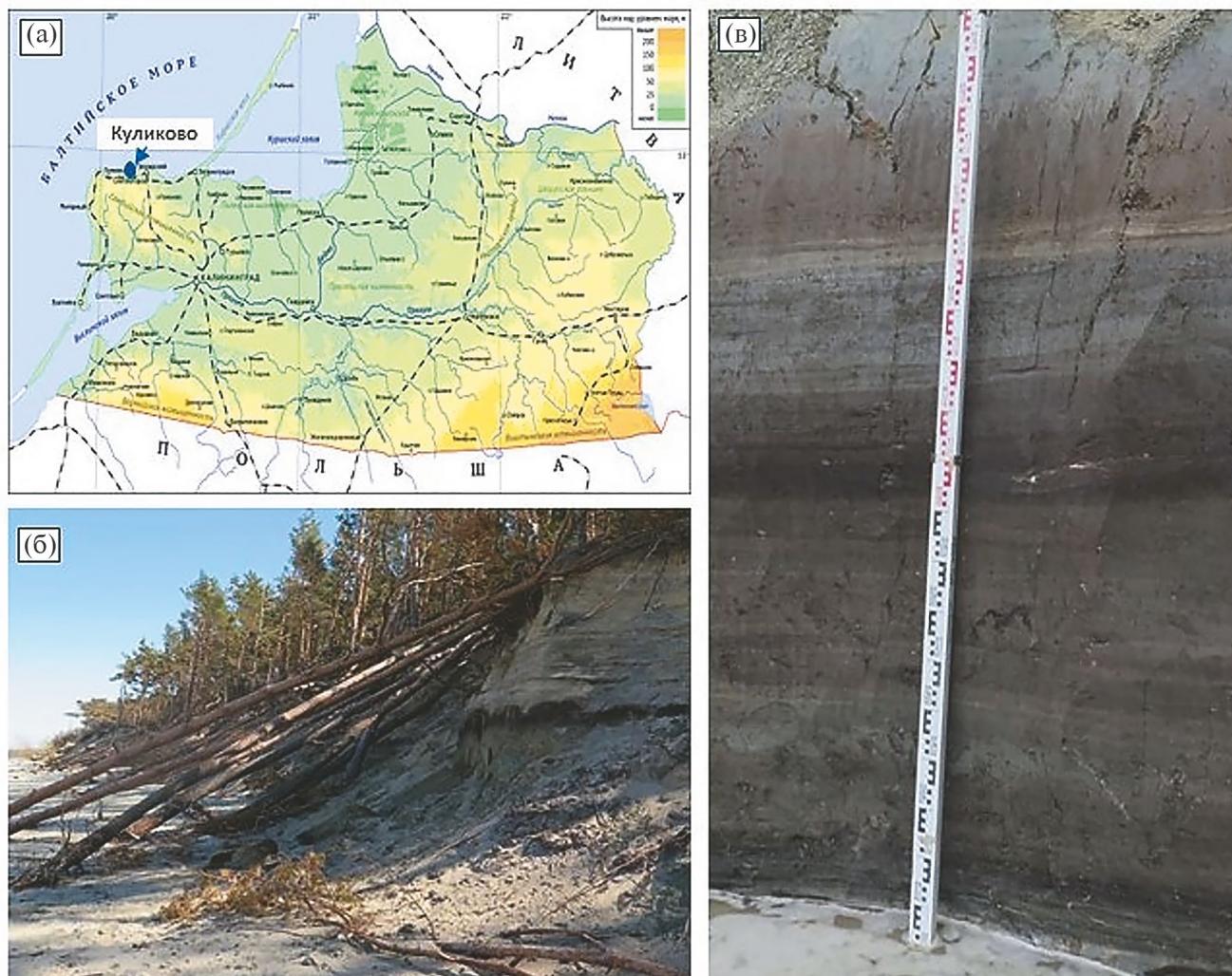


Рис. 1. Разрез Куликово: (а) расположение объекта исследований на карте Калининградской области; (б) абразионный склон Самбийского полуострова; (в) разрез Куликово.

Источник: (Druzhinina et al., 2023a).

связано с отступлением материкового ледника, начавшегося около 20000–19000 и продолжавшегося до 16000–14000 кал. л. н. (Uściniowicz, 2011). Воды тающего ледника собирались перед ним, образуя приледниковые водоемы (подпрудные озера). Вероятно, приледниковые озера, расположенные в то время в современных Борнхольмской и Гданьской котловинах, около 14500–14000 кал. л. н. слились и образовали Балтийское ледниковое озеро (БЛО). Одновременно, на суше существовали обособленные более мелкие бассейны, собиравшие воды тающего мертвого льда и вновь образующейся гидрографической сети. Размер и колебания уровня воды БЛО сильно зависели от колебаний фронта ледника в Скандинавии, открытия и закрытия связи с океаном, что приводило к сложной динамике всей системы БЛО и более мелких водоемов на суше. Последниковое изостатическое поднятие усложняло эволюцию прибрежных ландшафтов: по оценкам

польских исследователей, земная кора после дегляциации в районе южной части Балтийского моря была на 90 м ниже, чем в настоящее время, и испытала поднятие в относительно короткое время (Uściniowicz, 2011).

Водоем, отложения которого вскрыты в разрезе Куликово, представлял собой, по-видимому, один из неглубоких бассейнов, образовавшихся на суше в результате деградации льда (Druzhinina et al., 2023a). Уникальность разреза заключается в том, что большая часть отложений послеледниковых водоемов, существовавших вдоль побережья Балтийского моря, впоследствии была разрушена в ходе голоценовых трансгрессий и регрессий. Согласно реконструкциям древних берегов БЛО и собственно Балтийского моря, после окончательного отступления ледника из данной части Прибалтики (14500–14000 кал. л. н.), к суше относилась ныне затопленная полоса побережья шириной в несколько десятков километров (Блажчишин,

1998; Sivkov et al., 2011). Возможно, в период между 14000 и 11600 кал. л. н. имели место трансгрессии БЛО (Sivkov et al., 2011), при которых осуществлялся водообмен между последним и внутренними водоемами. Голоценовая абразия побережья и неотектонические процессы привели к тому, что остатки отложений палеоводоема Куликово обнажились в эрозионном береговом уступе Самбийского полуострова Балтийского моря. Отложения представлены алевритами с прослойками торфа и предоставляют возможность детального изучения и реконструкции локальной природной среды данной части Прибалтики.

Исследование разреза начато в 2022 г. комплексом методов, среди которых литологический (гранулометрический состав, потери при прокаливании, содержание карбонатов, магнитная восприимчивость), геохронологический, диатомовый, палинологический, альго-зоологический, хирономидный и микробиоморфный анализы (Druzhinina et al., 2023a). Последний занимает особое место в изучении разреза, поскольку исследование позднеледниковых отложений методом микробиоморфного анализа проводится впервые не только на территории Калининградской области, но и всей Прибалтики (Дружинина, 2020). Метод основан на изучении микроостатков биоты (микробиоморф) в контексте условий их образования (Гольева, 2001, 2008). В состав микробиоморф могут входить растительный детрит, спикулы губок, панцири диатомовых водорослей, растительные кутикулярные слепки, фитолиты (кремниевые копии клеток), споры и пыльца и ряд других частиц биогенной природы микроскопической размерности. Каждая из этих категорий частиц образуется в определенных экологических условиях и, обладая высокой устойчивостью и сохранностью, позволяет их диагностировать спустя длительный промежуток времени (тысячи – миллионы лет) (Yost et al., 2018). Наиболее интересна и разнообразна информация, получаемая при изучении всего комплекса микробиоморф и одновременном учете их количественных и качественных характеристик.

Проведенный ранее микробиоморфный анализ голоценовых лагунных отложений в Куршском заливе Балтийского моря позволил получить сведения не только о типах локальных растительных сообществ на окружающей территории, но и о колебаниях уровня воды в лагуне (Druzhinina et al., 2023b). В исследовании же отложений разреза Куликово были поставлены следующие задачи: 1) оценить информативность метода применительно к позднеледниковым отложениям палеоводоемов; 2) получить дополнительные данные о локальной растительности и окружающей среде позднеледниковья.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ

Территория Калининградской области располагается на западе Русской (Восточно-Европейской) равнины. Регион расположен на северо-западной окраине Русской платформы, в пределах Балтийской синеклизы (Географический ..., 2002). В геоморфологическом отношении этот регион представляет собой чередование обширных равнинных и низменных пространств с отдельными холмисто-грядовыми возвышенностями. Современный рельеф сформировался в результате непосредственной деятельности ледников последнего валдайского оледенения, а также лимно- и флювиогляциальных процессов. Большая часть территории занята Прегольско-Инстручской низменностью, которая на юге переходит в холмистую Балтийскую гряду, а на севере – в Приморскую низменность. Самбийский полуостров, представляя собой холмистую возвышенность, отличается сложными сочетаниями геоморфологических форм: здесь природные комплексы холмистого, холмисто-грядового конечно-моренного и камового рельефа средне-литовской фазы Балтийской (Померанской) стадии последнего валдайского оледенения чередуются с плоскими и слабоволнистыми моренными и озерно-ледниковыми равнинами (Дружинина и др., 2023).

Климат региона является переходным от морского климата Западной Европы к умеренно-континентальному Восточной Европы (Географический ..., 2002). Холодный период года составляет от 90 до 105 дней со средней многолетней температурой января от -3°C на побережье до -6.5°C на востоке. Самым теплым месяцем является июль со среднемесячной температурой от 16.5°C до 18°C . Влажность воздуха высокая – от 70% летом до 80–90% зимой. Годовое количество осадков составляет 600–700 мм, распределение их по территории и по сезонам года неравномерное. Область находится в зоне избыточного увлажнения.

Вся территория относится к лесной зоне, к ландшафтной подзоне смешанных хвойно-широколиственных лесов. В основе строения почвенного покрова лежит смена почв от бурых лесных с простым однообразным профилем до сложноорганизованных дерново-подзолистых и дерново-элювиально-глеевых почв (Географический ..., 2002).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Мощность разреза Куликово (54.932° с.ш., 20.357° в.д.) составляет 192 см. Образцы на комплексный палеогеографический анализ отбирались каждые 1–3 см, при этом микробиоморфным методом исследован 71 образец. Микробиоморфный анализ осуществлялся в два этапа. На первом этапе проведено рекогносцировочное исследование образцов на предмет

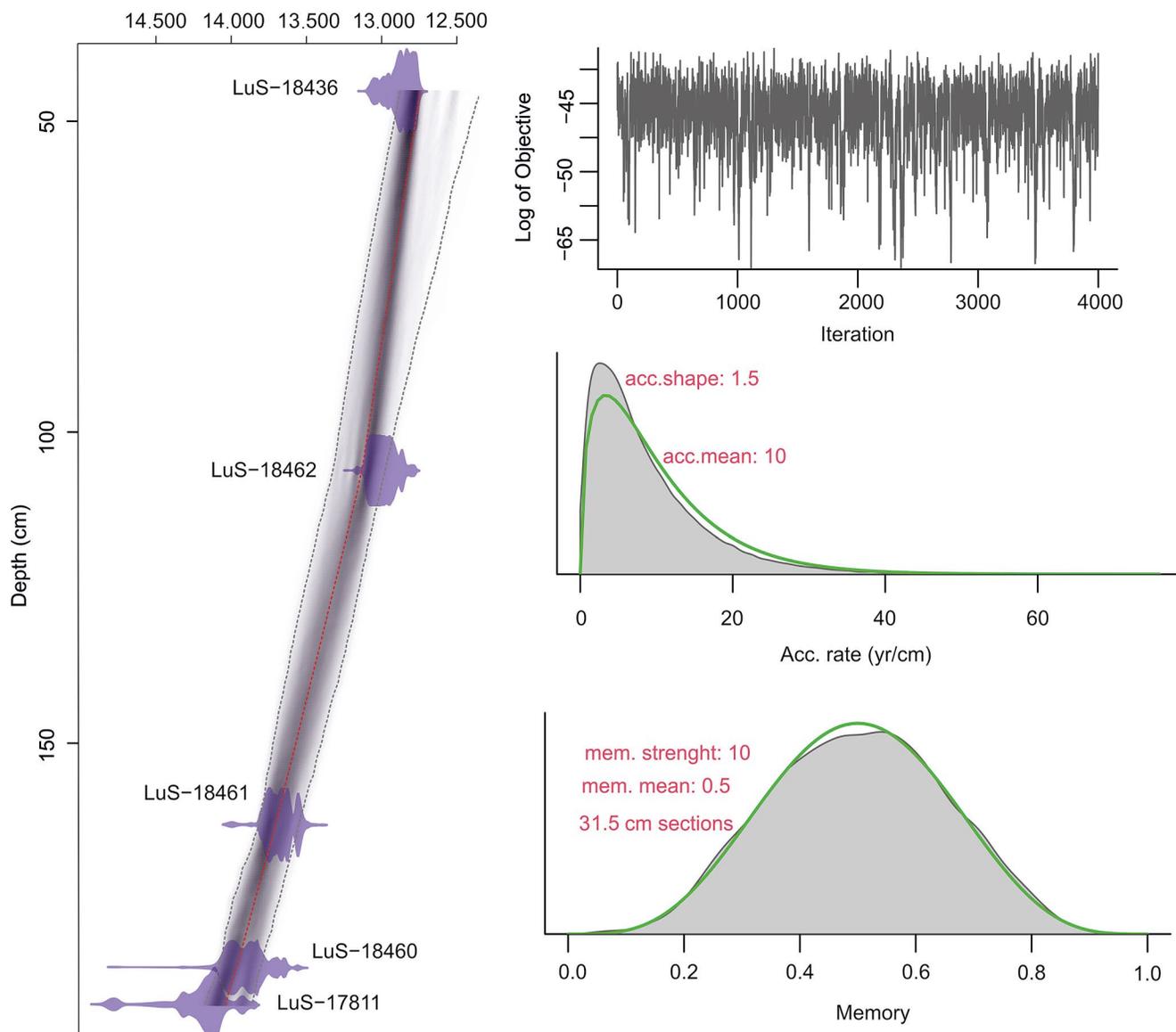


Рис. 2. Возрастная модель разреза Куликово.

Примечание: Использована программа Rbacon (Blaauw and Christen, 2011).

Источник: (Druzhinina et al., 2023a).

потенциальной информативности разреза и состав микробиоморфного спектра (наличие или отсутствие фитолитов, диатомовых, растительного детрита и т.д.). Для этого применялась методика, включающая обработку образца перекисью водорода (37% H_2O_2) при комнатной температуре для разрушения органоминеральных соединений и диспергации породы. Затем высушенные образцы просматривались при помощи электронного микроскопа (SEM) JEOL 6610LV (JEOL, Japan). Наиболее типичные и часто встречающиеся частицы фотографировались. Для оценки относительного содержания различных групп микробиоморф проведен полуколичественный анализ результатов, позволяющий охарактеризовать содержание частиц в следующих категориях: *абсолютно преобладают* – индекс “3”; *среднее*

содержание – индекс “2”; *низкое содержание (единично)* – индекс “1”; *отсутствуют* – индекс “0”. Для уточнения химического состава отдельных частиц в 10 произвольно выбранных образцах был использован INCAx-act microanalyzer (MAN) (Oxford Instruments, GB). В данной статье рассматриваются результаты первого, рекогносцировочного, этапа. Морфологическое описание фитолитов приводится согласно требованиям Международного кода по фитолитной номенклатуре (International ..., 2019), а их биоценологическая характеристика дана по А. Гольевой (Golyeva, 2007).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Хронология разреза. Хронологическую основу исследования составляют 5 AMS¹⁴C датировок, полученных по прослойке торфа (одна проба)

Таблица 1. Литостратиграфическое описание разреза Куликово

Глубина, см	Литостратиграфия
0–14	Гиттиевая глина, серая, плотная
14–63	Глинистая гиттия, от серого до светло-бурого, с редкой органикой
63–88	Гиттия оторфованная, темно-бурая, с тонким песчаным прослоем
88–158	Глинистая гиттия, от темно-серого до бурого, с органикой и ракушкой
158–171	Гиттия, темно-серая с органикой и ракушкой
171–181	Глинистая гиттия, темно-серая, с редкой органикой и ракушкой
181–186	Гиттия оторфованная, темно-бурая
186–192	Глинистая гиттия, бурая, с редкой органикой

и остаткам древесины (четыре пробы) (Druzhinina et al., 2023a). Возрастная модель (рис. 2) построена с помощью программы Rbason (Vlaauw and Christen, 2011). Даты откалиброваны с использованием калибровочной кривой IntCal20 (Reimer et al., 2020). Согласно результатам датирования, седиментация в исследуемом бассейне началась 14 040 ± 140 кал. л. н. (средний дриас). Верхней части разреза соответствует дата 12 770 ± 240 кал. л. н. (начало позднего дриаса).

Результаты гранулометрического анализа и литостратиграфическое описание. Гранулометрический состав терригенного вещества отложений, исследованный лазерно-дифрактометрическим методом, свидетельствует о том, что толща накапливалась при изменяющихся условиях осадконакопления (Рудинская и др., 2022; Druzhinina et al., 2023a). В отложениях преобладают фракции глины (<4 мкм) – от 11 до 36%, и алеврита (4–63 мкм) – от 54 до 84%. Доля песка (63–2000 мкм) изменяется от 2.4 до 22.3%. Исключение составляет слой на глубине 78–79 см, где фракция песка резко преобладает, достигая 56.1%.

В целом, по условиям осадконакопления в разрезе выделяются две части. Нижняя часть толщи (глубины 192–162 см) менее глинистая, что указывает на более динамичную среду осадконакопления во время ее формирования. Вверх по разрезу доля глинистой фракции возрастает, и это может свидетельствовать о более спокойных условиях седиментации или увеличении глубины водоема. Значительное возрастание доли песка на глубине 78–79 см, вероятно, указывает на природное событие (12 950 ± 210 кал. л. н.), повлекшее резкое кратковременное изменение условий седиментации. Этот слой характеризуется также пиком содержания органического вещества (Рудинская и др., 2022).

Литостратиграфическое описание представлено в табл. 1. Используемая литологическая классификация типов донных отложений основана на содержании органического вещества в осадках (Субетто, 2009).

Состав микробиоморфного спектра. Изученные образцы обогащены органическим веществом и биогенным кремнеземом в разных его формах. В составе микробиоморфного спектра отложенный выделены следующие основные группы микробиоморф: фитоциты, панцири диатомовых водорослей, спикулы губок. Результаты сравнительного полуколичественного анализа представлены на рис. 3. Во всех образцах отмечен также растительный детрит.

Обнаружены следующие индикационные формы фитоцитов (рис. 4). В подавляющем большинстве это морфотипы ELONGATE ENTIRE, характерные для двудольных и ряда однодольных трав (разнотравье). Фитоциты, относящиеся к морфотипу BLOCKY RECTANGULAR (иглы хвойных), найдены не в каждом образце, однако отмечены в разных частях профиля – от самого низа до верха разреза. О регулярной встречаемости можно говорить и в отношении морфотипов ELONGATE SINUATE и ACUTE BULBOSUS, характерных для луговых злаков. В образце № 16 (глубина 172 см) также встречена форма морфотипа RONDEL CONICAL, характеризующая открытые пространства или сухие луга. Еще один морфотип фитоцитов – BULLIFORM FLABELLATE, является диагностом тростника. Большинство фитоцитов представлено в виде обломков и не индикационных форм.

Полученные результаты хорошо согласуются с имеющимися данными палинологического анализа разреза (Druzhinina et al., 2023a). Согласно последнему, позднеледниковая растительность характеризовалась обилием степных и луговых трав (Cyperaceae, Poaceae, *Artemisia*, *Fagopyrum* sp., *Valeriana* sp. и др.), растений, характерных для участков с нарушенными грунтами (*Artemisia*, *Amaranthus* sp., *Chenopodium album*). Отдельное место в составе растительного покрова занимали растения болот, влажных лугов и прибрежных местообитаний (*Equisetum*, *Polygonum*). Древесная растительность была представлена, прежде всего, *Pinus sylvestris* и *Betula humilis*.

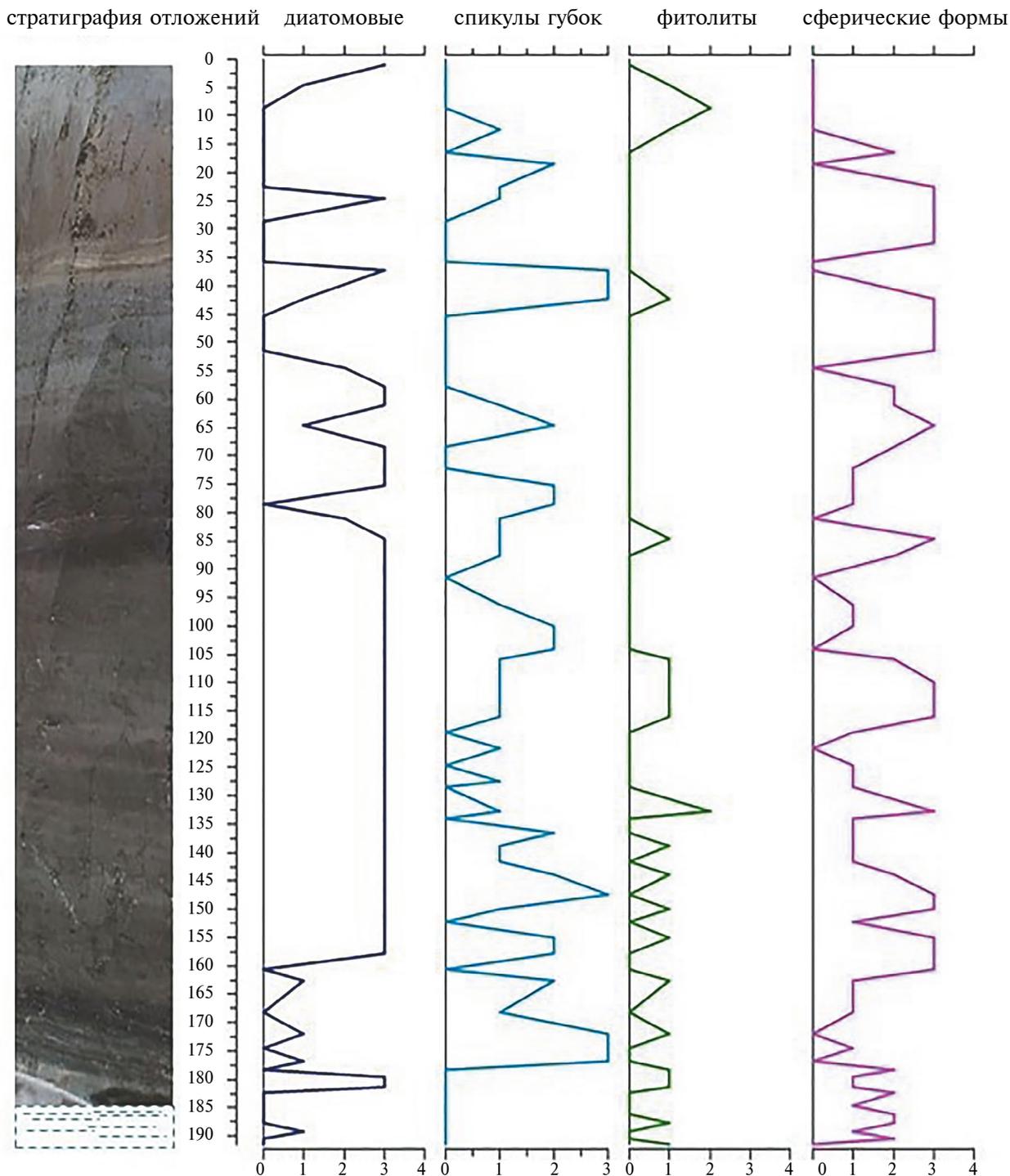


Рис. 3. Сравнительное полуколичественное содержание и распределение органоминеральных микробиоморф и микросферул: 3 – абсолютно преобладают; 2 – среднее содержание; 1 – низкое содержание (единично); 0 – отсутствуют.

В разрезе регулярно встречаются микробиоморфы – останки водных организмов: панцири диатомовых водорослей и спикулы губок (см. рис. 3, 5). По содержанию этих частиц, исследуемую толщу предварительно можно разделить на две части. Самый низ разреза не содержит данных частиц или их встречаемость единична (глубина 192–182 см). Далее количество диатомовых водорослей и спикул

губок, в целом, возрастает; при этом наблюдается чередование слоев с различной степенью обогащенности этими частицами от обилия и абсолютного преобладания одного из типов (например, глубина 182–179 см, диатомовые водоросли; глубина 177–172 см, спикулы губок) до полного их отсутствия (глубина 50–45 см). Очевидно, выявленная специфика содержания и распределения этих водных ми-

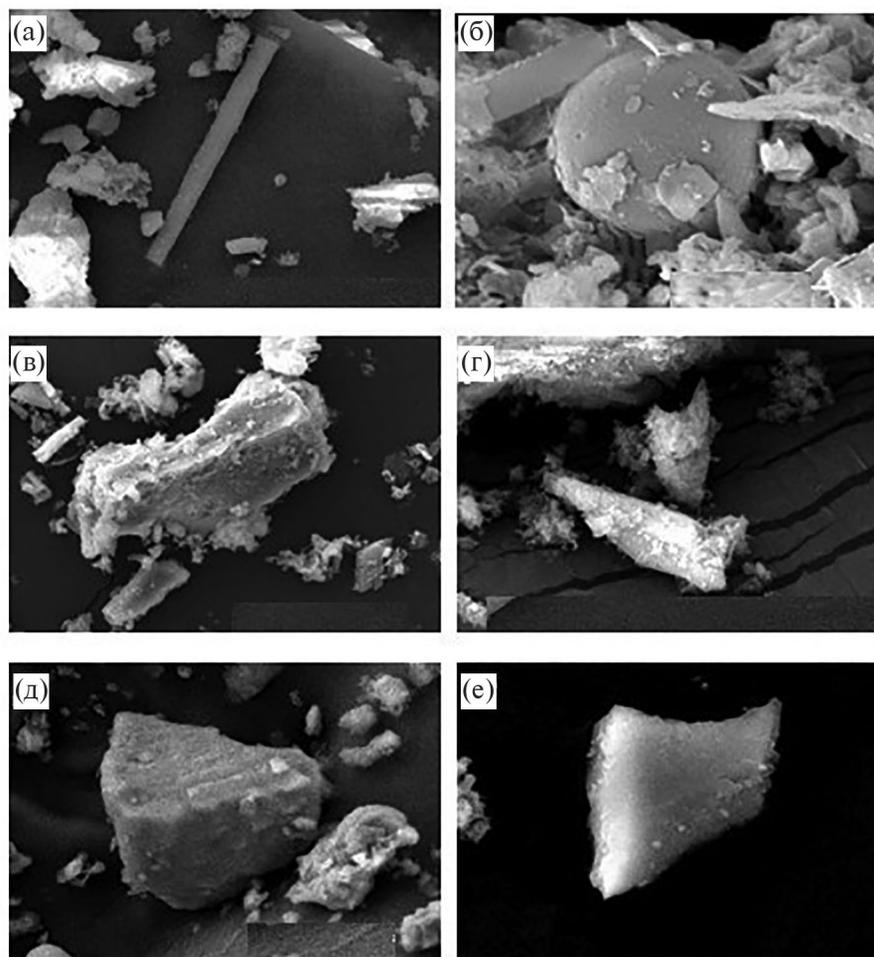


Рис. 4. Разнообразие встреченных морфотипов фитолитов: (а) ELONGATE ENTIRE; (б) SPHEROIDAL; (в) BLOCKY RECTANGULAR; (г) ACUTE BULBOSUS; (д) BULLIFORM FLABELLATE; (е) RONDEL CONICAL. Размеры фитолитов на фотографиях варьируют от 2 до 10 μm .

кроорганизмов отражает генезис формирования осадков исследованной колонки. Следует заметить, что спикулы обнаружены несколько реже, чем диатомовые, в целом их количество меньше. Более того, диатомовые водоросли присутствуют большими скоплениями, панцири крупные, встречаются в виде колоний. Спикулы, в основном, также целые, без признаков коррозии.

Анализ показал наличие в отложениях нескольких видов частиц вещества сферических форм. В то время как кремнистые микробиоморфы (см. рис. 4б) могут относиться к фитолитам мхов или высших растений (злаков, полыней) (SPHEROIDAL), цистам золотистых водорослей Chrysophyceae, а также порам окремненных покровных растительных тканей растений, генезис достаточно большого количества сферул, состоящих преимущественно из железа и выделенных в процессе выборочного определения химического состава частиц, остается пока не до конца решенной задачей (рис. 6). В процентном отношении доля Fe в обнаруженной группе колеблется от 41

до 75%, кислорода (O) от 21 до 53%. Могут присутствовать в небольшом количестве другие элементы, например, Si, Al, Ca, C, S. Данные формы выделены в отдельную группу.

Железистые сферулы. Наличие Fe-обогащенных сферических форм в разрезе заслуживает особого внимания в контексте исследований феномена позднего дриаса и импактной гипотезы – Younger Dryas Impact Hypothesis (Firestone et al., 2007; Teller et al., 2019; West et al., 2020; Wolbach et al., 2020). Она предполагает, что фрагменты астероида или кометы столкнулись с Землей ~12 800 кал. л. н., послужив толчком к последовавшим затем резким и существенным климатическим изменениям. К настоящему моменту имеются данные более чем по 50 местоположениям по всему миру, демонстрирующие высокие концентрации платины, высокотемпературных металлических сферул, расплавленное микростекло и нанодиамазы, присутствующие в слое, соотносимом с началом позднего дриаса (West et al., 2020). Поскольку металлические, в основном железистые, микросферулы являются

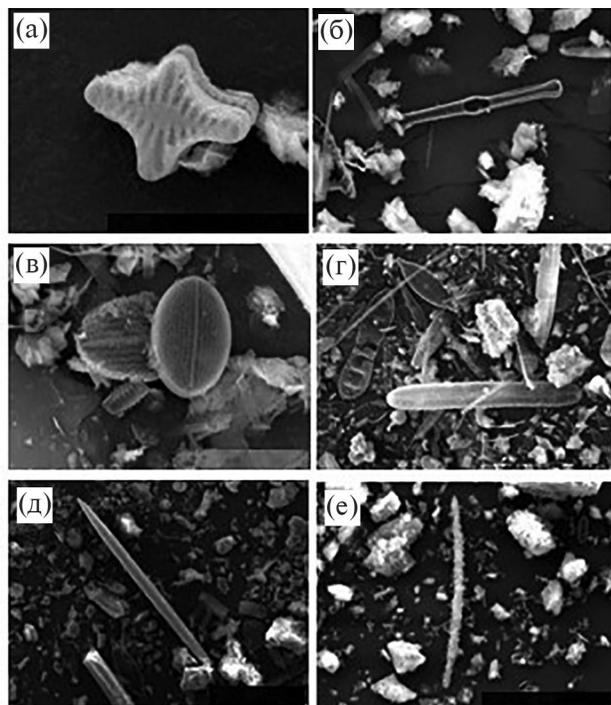


Рис. 5. Разнообразие морфотипов: (а)–(г) диатомовых водорослей; (д), (е) спикул губок. Размеры объектов 5–10 μm .

одним из важнейших доказательств импактных или других космогенных событий, как в отношении позднего дриаса, так и для более ранних геологических эпох, они детально рассматриваются в ряде работ (Miono et al., 1998; Teller et al., 2019; Wittke et al., 2013; Wolbach et al., 2020), что позволяет провести предварительный сравнительный анализ данных разреза Куликово с опубликованным материалом.

Отложения Куликово содержат значительное количество сферул, относящихся к так называемой группе фрамбоидов (*framboids*) (Rickard, 2019), состоящих, главным образом, из Fe и O в разном процентном соотношении. Во фрамбоидах из отложений Куликово присутствует также S; массовая доля ее достигает 4.77%. Фрамбоиды имеют характерную структуру, представленную многочисленными кубическими или ограниченными кристаллами (см. рис. ба–д); возможна также “сотовая” структура поверхности. Могут образовывать скопления (см. рис. бд, е). Pino et al. (2019), а также West et al. (2020) указывают, что фрамбоиды не имеют отношения к высокотемпературному импактному воздействию; напротив, наличие не расплавленных кристаллов свидетельствует об условиях формирования вне высоких температур, но медленно, в условиях гипоксии, в самом осадке.

В то же время, в отложениях Куликово выделены и сферические частицы другого характера (см. рис. бж), внешне сопоставимые с группой сферул – индикаторов космогенных событий

(см. рис. бз–м). Согласно Pino et al. (2019), последние, кроме Fe и O, могут содержать в составе Si, а также Pt, Ir и другие редкие элементы. В отличие от фрамбоидов, они имеют поверхность, сформированную в условиях высоких температур ($>1450^\circ\text{C}$) с последующим быстрым охлаждением: в целом, более гладкую, а при высоком разрешении – демонстрирующую дендритную, везикулярную или другие текстуры. Примечательно, что в разрезе Куликово подобные сферулы обнаружены в слое, датированном ~13500 кал. л. н. Данный факт интересен в контексте исследований микроэлементов космогенного генезиса в позднеледниковых отложениях четырех озер на территории Литвы, которые показали присутствие космогенного материала как минимум в двух горизонтах, возникших в результате двух отдельных событий (Andronikov et al., 2015). Более молодой горизонт выявлен во всех изученных толщах и соответствует возрасту ~11000–11500 кал. л. н. Предполагается, что его геохимические особенности являются результатом локального удара метеорита или взрыва болида, предположительно связанного с метеоритным кратером Вельнё Дуобес (Velnio Duobės). Более древний горизонт, выявленный пока только в разрезе Ула-2 (Ūla-2), соответствует возрасту ~13500 кал. л. н. и, вероятно, обусловлен взрывом болида в воздухе.

Важно отметить, что теми же исследователями в озерных отложениях Лопайчай-2 (Lopaičiai-2) обнаружен слой, где присутствует и вулканический, и метеоритный материал, расположенный непосредственно над горизонтом, датированным 12900 ± 162 кал. л. н., и, вероятно, связанный с извержением вулкана Лахер Зе (Laacher See) (~12880 кал. л. н.) и с возможным импактным событием позднего дриаса (Andronikov et al., 2015). По-видимому, горизонт, обнаруженный в Лопайчай-2, коррелирует с горизонтом Куликово 12950 ± 210 кал. л. н., маркирующим природное событие, повлекшее резкое кратковременное изменение условий седиментации.

Очевидно, что дальнейшие исследования разреза Куликово потребуют детального целенаправленного изучения не только описанных выше горизонтов, но и распределения микросферул по разрезу и их химического состава во всех имеющихся образцах для понимания их связи с позднеледниковыми природными событиями.

ВЫВОДЫ

Исследование разреза Куликово (Самбийский полуостров, юго-восточная Прибалтика) методом микробиоморфного анализа показало высокую информативность последнего применительно к изучению отложений позднеледниковых

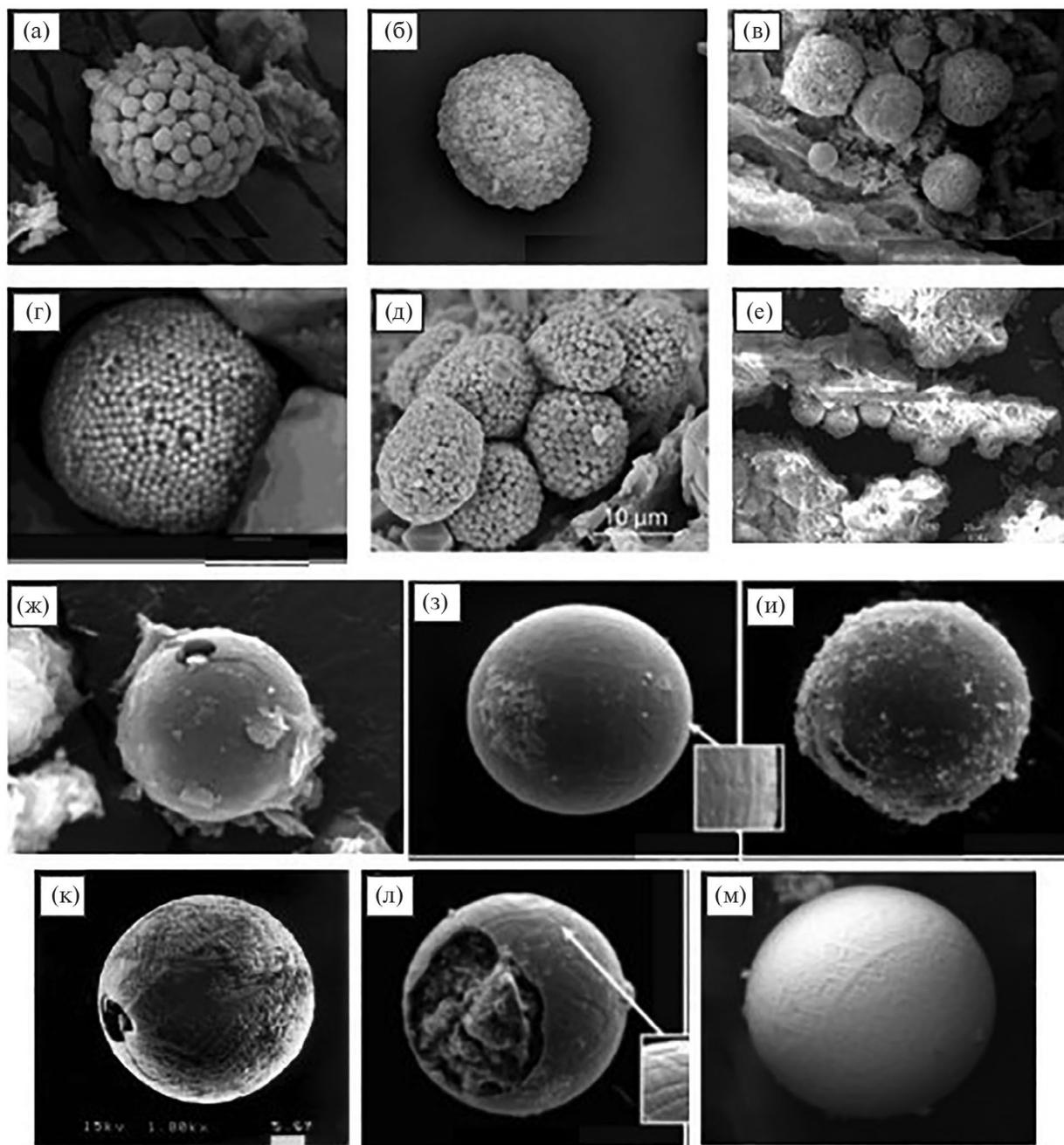


Рис. 6. Обогащенные железом микросферулы: (а), (б), (в), (е) фрамбоиды, разрез Куликово; (г) фрамбоид, разрез Хинд, Канада (Teller et al., 2019); (д) скопление фрамбоидов (Rickard, 2019); (ж) микросферула, разрез Куликово; (з), (и), (л) микросферулы, связываемые с импактным событием позднего дриаса, разрез Хинд, Канада (Teller et al., 2019); (к) микросферула космогенного генезиса, Сасаяма, Япония, импактное событие на рубеже пермского и триасового периодов (Miono et al., 1998); (м) микросферула, разрез Пилауко, Чили, импактное событие позднего дриаса (Pino et al., 2019). Размеры микросферул на фотографиях варьируют от 5 до 40 μm .

водоемов. На первой, рекогносцировочной, стадии анализа удалось выделить несколько групп микробиоморф, среди которых фитолиты, панцири диатомовых водорослей, спикулы губок, растительный детрит. Обнаружены также микросферулы, обогащенные железом.

Индикационные формы фитолитов показали, что локальный растительный покров в рассма-

триваемый интервал времени (~14200–12500 кал. л. н.) был представлен травами влажных и, вероятно, сухих лугов, зарослями тростника и лесной растительностью, включая хвойные породы деревьев (не позднее ~13900 кал. л. н.). Последний факт особенно важен при решении вопроса о распространении древесных пород на освобожденных от ледника территориях.

Флуктуации относительного содержания панцирей диатомовых и спикул губок указывают на неоднократную смену гидрологических условий на прилегающей территории, выразившуюся в изменении проточности водоема.

Микросферулы, обогащенные Fe, содержат в своем составе также O, S, Si, Al и некоторые другие элементы. Часть микросферул относится к группе так называемых фрамбоидов, формирующихся в условиях гипоксии в самом осадке. Другая часть предварительно отнесена к группе микросферул, формирование которых может быть связано с импактным событием. На данном этапе исследований в отложениях Куликово они обнаружены в горизонте с датой ~13500 кал. л. н.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-17-00113 “Критические рубежи и палеоклиматические события позднего плейстоцена и голоцена и их роль в формировании природно-культурных ландшафтов юго-восточной Прибалтики”.

FUNDING

The work was supported by the Russian Science Foundation, project 22-17-00113 (<https://rscf.ru/project/22-17-00113>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Блажчишин А.И.* Палеогеография и эволюция позднечетвертичного осадконакопления в Балтийском море. Калининград, 1998. 160 с.
- Географический атлас Калининградской области. Калининград: КГУ, ЦНИТ, 2002. 276 с.
- Гольева А.А.* Фитолиты и их информационная роль в изучении природных и археологических объектов. Сыктывкар: Элиста, 2001. 200 с.
- Гольева А.А.* Микробиоморфные комплексы природных и антропогенных ландшафтов: Генезис, география, информационная роль. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 240 с.
- Дружинина О.А.* О перспективах применения метода фитолитного анализа в палеолимнологии // Естественные и технические науки. 2020. № 3. С. 139–142.
- Дружинина О.А., Шварев С.В., Кротова-Путинцева А.Е., Сходнов И.Н.* Палеогеография юго-восточной Прибалтики. Путеводитель. Полевой семинар рабочей группы Перibalтик, 18–22 июля 2023. Калининград: Страж Балтики, 2023. 78 с.
- Рудинская А.И., Филиппова К.Г., Лазукова Л.И., Дружинина О.А., Бурко А.А., Сходнов И.Н.* Новые данные о строении и условиях формирования отложений разреза Куликово (Самбийский полуостров, Калининградская область) // Рельеф и чет-

- вертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-запада России. 2022. № 9. С. 348–351.
- Субетто Д.А.* Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. 348 с.
- Andronikov A., Rudnickaite E., Lauretta D., Andronikova I., Kaminskas D., Sinkunas P., Melesyte M.* Geochemical evidence of the presence of volcanic and meteoritic materials in Late Pleistocene lake sediments of Lithuania // Quat. Int. 2015. № 386. P. 18–29.
- Blaauw M., Christen J.A.* Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // Bayesian Anal. 2011. Vol. 6. № 3. P. 457–474. <https://doi.10.1214/11-BA618>
- Druzhinina O., Rudinskaya A., Filippova K., Lazukova L., Lavrova N., Zharov A., Skhodnov I., Burko A., van den Berghe K.* The Bølling–Allerød Transition in the Eastern Baltic: Environmental Responses to Climate Change // Biology. 2023. Vol. 12. № 6. Art. 821. <https://doi.10.3390/biology12060821>
- Druzhinina O., Napreenko M., Napreenko-Dorokhova T., Golyeva A., Bashirova L.* Water Level Fluctuations in the Middle and Late Holocene in the Curonian Lagoon, Southeastern Baltic: Results of the Macrofossil and Phytolith Analyses // Hydrology. 2023. Vol. 10. № 1. Art. 11. <https://doi.10.3390/hydrology10010011>
- Firestone R.B., West A., Kennett J.P., Becker L., Bunch T.E., Revay Z.S., et al.* Evidence for an extraterrestrial impact 12.900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions and the Younger Dryas cooling // Proc Natl Acad Sci USA. 2007. Vol. 104. № 41. P. 16016–16021.
- Golyeva A.* Various phytolith forms as bearers of different kinds of ecological information / M. Madella, D. Zurro (Eds.). Plants, People and Places: Recent Studies in Phytolith Analysis. UK: Oxbow Books, 2007. P. 107–203.
- Hughes A.L.C., Gyllencreutz R., Lohne Ø.S., Mangerud J., Svendsen J.I.* The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DAT-ED-1. Boreas, 2015. <https://doi.10.1111/bor.12142>
- International Committee for Phytolith Taxonomy (ICPT). International code for phytolith nomenclature (ICPN) 2.0 // Annals of Botany. 2019. Vol. 124. № 2. P. 189–199.
- Kabailiné M.* The Baltic Ice Lake and Yolda Sea stages, based on data from diatom analysis in the Central, South-Eastern and Eastern Baltic // Quat. Int. 1995. № 27. P. 69–72.
- Miono Sh., Detre Cs., Berczi S., Don G., Dosztály L., Solt P., Tóth I., Uzonyi I., Lukács B.* Permo-Triassic Boundary cosmic spherule layers in Eurasia. Conference Proceedings: Lunar and Planetary Science Conference. Houston, 1998. Vol. 29. P. 89.
- Pino M., Abarzúa A., Astorga G., Martel-Cea A., Cosío-Montecinos N., Navarro R.X., et al.* Sedimentary record from Patagonia, southern Chile supports cosmic-impact triggering of biomass burning, climate change, and megafaunal extinctions at 12.8 ka // Nature. 2019. № 9. P. 4413.
- Reimer P., Austin W.E.N., Bard E., et al.* The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration

- curve (0–55 cal kBP) // *Radiocarbon*. 2020. Vol. 62. № 4. P. 725–757.
<https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Rickard D.* Sedimentary pyrite framboid size-frequency distributions: A meta-analysis // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2019. Vol. 522. P. 62–75.
- Sivkov V., Dorokhov D., Ulyanova M.* Submerged Holocene Wave-Cut Cliffs in the South-eastern Part of the Baltic Sea: Reinterpretation Based on Recent Bathymetrical Data. In *The Baltic Sea Basin* / J. Harff (Ed.). Berlin/Heidelberg: Springer, 2011. P. 203–217.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-17220-5_10
- Teller J., Boyd M., Le Compte M., Kennett J., West A., Telkaf A., Diaz A., Adedeji V., Batchelor D., Mooney C., Garcia R.* A multi-proxy study of changing environmental conditions in a Younger Dryas sequence in southwestern Manitoba, Canada, and evidence for an extraterrestrial event // *Quat. Res.* 2019. P. 1–28.
<https://doi.org/10.1017/qua.2019.46>
- Uścińowicz S.* An Outline of the History of the Baltic Sea. In: *Geochemistry of Baltic Sea surface sediments*, 2nd ed. / S. Uścińowicz (Ed.). Warsaw, 2011. P. 70–73.
- West A., Bunch T., Lecompte M., Adedeji V., Moore C., Wolbach W.* Evidence from Pilauco, Chile Suggests a Catastrophic Cosmic Impact Occurred Near the Site 12.800 Years Ago / M. Pino, G.A. Astorga (Eds.). Pilauco: A Late Pleistocene Archaeo-paleontological Site, The Latin American Studies Book Series, Springer Nature Switzerland AG, 2020. P. 249–270.
- Wittke J.H., Weaver J.C., Bunch T.E., Kennett J.P., Kennett D.J., Moore A.M.T., et al.* Evidence for deposition of 10 million tonnes of cosmic impact spherules across four continents 12.800 years ago // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 2013. Vol. 110. № 23. P. E2088–E2097.
- Wolbach W., Ballard J., Mayewski P., Kurbatov A., Bunch T., Le Compte M., et al.* Extraordinary Biomass-Burning Episode and Impact Winter Triggered by the Younger Dryas Cosmic Impact 12.800 Years Ago: A Reply // *The J. of Geology*. 2020. Vol. 128. P. 1–20.
- Yost C., Jackson L.J., Stone J.R., Cohen A.S.* Subdecadal phytolith and charcoal records from Lake Malawi, East Africa imply minimal effects on human evolution from the ~74 ka Toba supereruption // *J. of Human Evolution*. 2018. Vol. 116. P. 75–94.

Microbiomorph Analysis in the Study of the Pioneer Environment of the Late Glacial: Preliminary Results of Kulikovo Section (Sambian Peninsula, Kaliningrad Oblast)

A. A. Golyeva^a and O. A. Druzhinina^{b, *}

^a*Institute of Geography, RAS, Moscow, Russia*

^b*Herzen State Pedagogical University, St. Petersburg, Russia*

*e-mail: olga.alex.druzhinina@gmail.com

The article is devoted to the preliminary results of the study of the Kulikovo section (Sambian Peninsula, Kaliningrad oblast, Russian Federation), where deposits of one of the Late Pleistocene palaeobasins are exposed. The uniqueness of the section is due to its good preservation: while most of the postglacial basins that existed along the Baltic coast were subsequently destroyed during the Holocene marine transgressions and regressions, the deposits of the Kulikovo section, represented by silt with peat interlayers, provide an opportunity for a detailed study of the palaeoenvironment of the southeastern Baltic during the Middle to Younger Dryas (~14200–12500 cal BP). For the first time in the Baltic region, this type of deposits has been studied by microbiomorph analysis. The aim of the analysis was to evaluate the informative potential of the method in relation to Late Glacial palaeobasin deposits and to obtain additional local data on Late Glacial vegetation and environment. The first phase of the study of the section showed the high informative value of the method. Data were obtained on the microbiomorph composition of the Late Glacial water sediments. It includes 4 main categories of microbiomorphs: phytoliths, diatom shells, sponge spicules and plant detritus. Fe-rich spherules were also detected in the sediments. The analysis provided information on the plant communities surrounding the paleobasin, represented by reed communities, meadow and forest vegetation, including coniferous trees. The latter is an important point in the discussion about the presence of trees in the ice-free areas. A repeated change in hydrological conditions in the adjacent area was also noted, expressed in a change in the flow rate of the basin. Further study of the Fe-rich nodules in the Kulikovo sediments is important with regard to “impact events” and their role in the dynamics of the Late Glacial environment.

Keywords: microbiomorphs, phytoliths, Fe-rich spherules, Late Glacial, postglacial basin

REFERENCES

- Andronikov A., Rudnickaite E., Lauretta D., Andronikova I., Kaminskis D., Sinkunas P., Melesyte M. Geochemical evidence of the presence of volcanic and meteoritic materials in Late Pleistocene Lake sediments of Lithuania. *Quat. Int.*, 2015, no. 386, pp. 18–29.
- Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Anal.*, 2011, vol. 6, no. 3, pp. 457–474. <https://doi.org/10.1214/11-BA618>
- Blazhchishin A.I. *Paleogeografiya i evolyutsiya pozdnechetvertichnogo osadkonakopleniya v Baltiiskom more* [Paleogeography and Evolution of Late Quaternary Sedimentation in the Baltic Sea]. Kaliningrad, 1998. 160 p.
- Druzhinina O.A. On the prospects for using the method of phytolith analysis in paleolimnology. *Estestv. Tekhn. Nauki*, 2020, no. 3, pp. 139–142. (In Russ.).
- Druzhinina O., Napreenko M., Napreenko-Dorokhova T., Golyeva A., Bashirova L. Water Level Fluctuations in the Middle and Late Holocene in the Curonian Lagoon, Southeastern Baltic: Results of the Macrofossil and Phytolith Analyses. *Hydrology*, 2023, vol. 10, no. 1, art. 11. <https://doi.org/10.3390/hydrology10010011>
- Druzhinina O., Rudinskaya A., Filippova K., Lazukova L., Lavrova N., Zharov A., Skhodnov I., Burko A., van den Berghe, K. The Bølling–Allerød Transition in the Eastern Baltic: Environmental Responses to Climate Change. *Biology*, 2023, vol. 12, no. 6, art. 821. <https://doi.org/10.3390/biology12060821>
- Druzhinina O.A., Shvarev S.V., Krotova-Putintseva A.E., Skhodnov I.N. *Paleogeografiya yugo-vostochnoi Baltiki. Putevoditel'. Polevoi seminar rabochei gruppy Peribaltik, 18–22 iyulya 2023* [Palaeogeography of the South-Eastern Baltic Region. Guide. Field Workshop of the Peribaltics Working Group, July 18–22, 2023]. Kaliningrad: Strazh Baltiki Publ., 2023. 78 p.
- Firestone R.B., West A., Kennett J.P., Becker L., Bunch T.E., Revay Z.S., et al. Evidence for an extraterrestrial impact 12,900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions and the Younger Dryas cooling. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 2007, vol. 104, no. 41, pp. 16016–16021.
- Geograficheskii atlas Kaliningradskoi oblasti* [Geographical Atlas of the Kaliningrad Region]. Kaliningrad: KGU, TsNIT, 2002. 276 p.
- Golyeva A.A. *Fitolity i ikh informatsionnaya rol' v izuchenii prirodnykh i arkhologicheskikh ob'ektov* [Phytoliths and Their Informational Role in the Study of Natural and Archaeological Objects]. Syktyvkar: Elista Publ., 2001. 200 p.
- Golyeva A. Various phytolith forms as bearers of different kinds of ecological information. In *Plants, People and Places: Recent Studies in Phytolith Analysis*. Madella M., Zurro D., Eds. UK: Oxbow Books, 2007, pp. 107–203.
- Golyeva A.A. *Mikrobiomorfnye komplekсы prirodnykh i antropogennykh landshaftov: Genezis, geografiya, informatsionnaya rol'* [Microbiomorphic Complexes of Natural and Anthropogenic Landscapes: Genesis, Geography, Informational Role]. Moscow: LKI Publ., 2008. 240 p.
- Hughes A.L.C., Gyllencreutz R., Lohne Ø.S., Mangerud J., Svendsen J.I. The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1. *Boreas*, 2016, vol. 45, no. 1, pp. 1–45. <https://doi.org/10.1111/bor.12142>
- International Committee for Phytolith Taxonomy (ICPT). International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0. *Ann. Bot.*, vol. 124, no. 2, pp. 189–199. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz064>
- Kabailiné M. The Baltic Ice Lake and Yolda Sea stages, based on data from diatom analysis in the Central, South-Eastern and Eastern Baltic. *Quat. Int.*, 1995, no. 27, pp. 69–72.
- Miono Sh., Detre Cs., Berczi S., Don G., Dosztály L., Solt P., Tóth I., Uzonyi I., Lukács B. Permo-Triassic Boundary cosmic spherule layers in Eurasia. In *Conf. Proc.: LPSC. Vol. 29*. Houston, 1998, 89 p.
- Pino M., Abarzúa A., Astorga G., Martel-Cea A., Cosío-Montecinos N., Navarro R.X., et al. Sedimentary record from Patagonia, southern Chile supports cosmic-impact triggering of biomass burning, climate change, and megafaunal extinctions at 12.8 ka. *Sci. Rep.*, 2019, no. 9, art. 4413. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38089-y>
- Reimer P., Austin W.E.N., Bard E., et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 2020, vol. 62, no. 4, pp. 725–757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Rickard D. Sedimentary pyrite framboid size-frequency distributions: A meta-analysis. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 2019, vol. 522, pp. 62–75.
- Rudinskaya A.I., Filippova K.G., Lazukova L.I., Druzhinina O.A., Burko A.A., Skhodnov I.N. New data on the structure and conditions of formation of deposits of the Kulikovo section (Sambian Peninsula, Kaliningrad region). *Rel'ef Chetvert. Obrazov. Arktiki, Subarkтики Sev.-Zap. Ross.*, 2022, no. 9, pp. 348–351. (In Russ.).
- Sivkov V., Dorokhov D., Ulyanova M. Submerged Holocene Wave-Cut Cliffs in the South-eastern Part of the Baltic Sea: Reinterpretation Based on Recent Bathymetrical Data. In *The Baltic Sea Basin*. Harff J., Ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011, pp. 203–217. https://doi.org/10.1007/978-3-642-17220-5_10
- Subetto D.A. *Donnye otlozheniya ozer: paleolimnologicheskie rekonstruktsii* [Lake Sediments: Palaeolimnological Reconstructions]. St.-Petersburg: RGPU im. A.I. Gertsena, 2009. 348 p.
- Teller J., Boyd M., Le Compte M., Kennett J., West A., Telkaf A., et al. A multi-proxy study of changing environmental conditions in a Younger Dryas sequence in southwestern Manitoba, Canada, and evidence for an extraterrestrial event. *Quat. Res.*, 2019, pp. 1–28. <https://doi.org/10.1017/qua.2019.46>
- Uścinowicz S. An Outline of the History of the Baltic Sea. In *Geochemistry of Baltic Sea surface sediments*. Uścinowicz S., Ed. Warsaw, 2011, pp. 70–73.

- West A., Bunch T., Lecompte M., Adedeji V., Moore C., Wolbach W. Evidence from Pilauco, Chile Suggests a Catastrophic Cosmic Impact Occurred Near the Site ~12,800 Years Ago. In *Pilauco: A Late Pleistocene Archaeo-paleontological Site*. Pino M., Astorga G.A., Eds. Switzerland: Springer Nature, 2020, pp. 249–270.
- Wittke J.H., Weaver J.C., Bunch T.E., Kennett J.P., Kennett D.J., Moore A.M.T., et al. Evidence for deposition of 10 million tonnes of cosmic impact spherules across four continents 12,800 years ago. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 2013, vol. 110, no. 23, pp. E2088–E2097.
- Wolbach W., Ballard J., Mayewski P., Kurbatov A., Bunch T., Le Compte M., et al. Extraordinary Biomass-Burning Episode and Impact Winter Triggered by the Younger Dryas Cosmic Impact ~12,800 Years Ago: A Reply. *J. Geol.*, 2020, vol. 128, pp. 1–20.
- Yost C., Jackson L.J., Stone J.R., Cohen A.S. Subdecadal phytolith and charcoal records from Lake Malawi, East Africa imply minimal effects on human evolution from the ~74 ka Toba supereruption. *J. Hum. Evol.*, 2018, vol. 116, pp. 75–94.