

## РЕКОНСТРУКЦИЯ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ, ВСКРЫТЫХ СКВАЖИНОЙ НА О. КУРУНГНАХ

(дельта Лены, северо-восток Сибири)

Л.Б. Хазин<sup>1,2</sup>, И.В. Хазина<sup>1</sup>, О.Б. Кузьмина<sup>1,2</sup>, Д.Е. Аюнов<sup>1</sup>, Н.А. Голиков<sup>1,3</sup>, Л.В. Цибизов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,  
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

<sup>3</sup> Новосибирский государственный технический университет, 630073, Новосибирск, просп. К. Маркса, 20, Россия

Представлены результаты мультидисциплинарного изучения многолетнемерзлых отложений, вскрытых скважиной на о. Курунгнах в дельте Лены. Согласно полученным данным по палиноморфам и остракодам, суглинки инт. 10.58—13.54 м формировались в позднем плейстоцене (каргинский интерстадиал); а суглинки инт. 1.58—10.3 м — в раннем—среднем голоцене. Также был проведен анализ влагонасыщенности отложений, гранулометрический, рентгеноспектральный анализы, замерена магнитная восприимчивость. Результаты сопоставлены с данными, полученными другими исследователями из расположенных поблизости естественных обнажений. Установлено, что в каргинское время на рассматриваемой территории существовал озерный водоем с олиготрофным режимом и невысокими температурами воды; во время формирования отложений (на уровне 11 м) имел место перерыв в осадконакоплении; в раннем и среднем голоцене здесь была распространена растительность кустарничковой тундры.

*Остракоды, палиноморфы, влагонасыщенность, гранулометрия, магнитная восприимчивость, плейстоцен, голоцен, дельта Лены, Восточная Сибирь.*

## A BOREHOLE RECORD OF LATE QUATERNARY PERMAFROST ON KURUNGNAXH ISLAND (Lena delta, northeastern Siberia): RECONSTRUCTION OF DEPOSITION ENVIRONMENTS

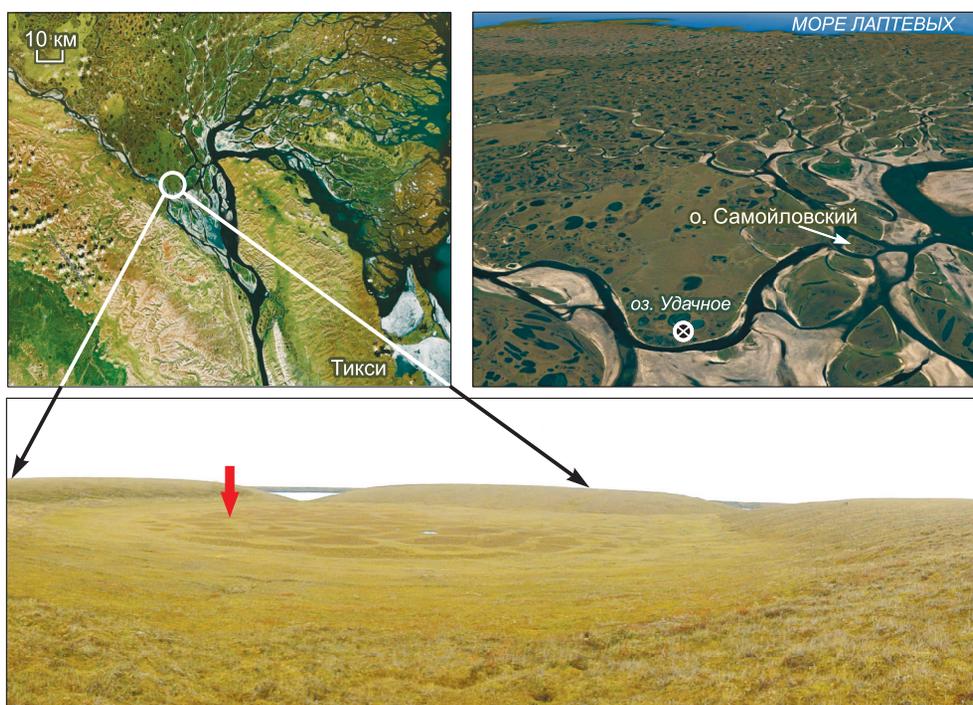
L.B. Khazin, I.V. Khazina, O.B. Kuzmina, D.E. Ayunov, N.A. Golikov, and L.V. Tsibizov

Paleoenvironmental reconstructions have been made from a multidisciplinary study of a borehole permafrost record on Kurungnakh Island (Lena delta). According to data on palynomorphs and ostracods, the clay silt units from the 10.58 to 13.54 m and 1.58 to 10.3 m core depth intervals were deposited in the Late Pleistocene (during the Karginian interstadial) and Early–Middle Holocene, respectively. The sediments were studied in terms of moisture contents, grain size distribution, mineralogy, and magnetic susceptibility, and the results were compared with published evidence from nearby natural outcrops. Quite a cold oligotrophic lake existed in the area during the Karginian period, and the deposition was interrupted by a gap recorded at a core depth of about 11 m. In the Early and Middle Holocene, the area was covered with shrub tundra vegetation.

*Ostracod, palynomorph, moisture content, particle size distribution, magnetic susceptibility, Pleistocene, Holocene, Lena delta, East Siberia*

### ВВЕДЕНИЕ

Территория дельты Лены является одним из наиболее хорошо исследованных регионов Российской Арктики, в том числе благодаря многолетним российско-германским проектам «Природная система моря Лаптевых». Эти исследования были сосредоточены как на мерзлотном и геологическом строении дельты и ее обрамления [Schwamborn et al., 2002; Система..., 2009; Большиянов и др., 2013; и др.], так и на реконструкции окружающей среды Арктики [Schwamborn et al., 2000; Andreev et al., 2002; Shirmmeister et al., 2003; Wetterich et al., 2005, 2008; и др.]. Полученные разносторонние сведения как кусочки мозаики позволяют восстанавливать ход развития природной среды региона. Настоящая работа является одним из таких кусочков, дополняющих знания о составе наземной и водной растительности, произраставшей на о. Курунгнах во время накопления толщи осадков, вскрытых изученной скважиной, о таксономическом разнообразии остракод, обитавших в разные периоды существования озера, а также об обстановке и режиме осадконакопления.



**Рис. 1. Схема расположения пробуренной скважины.**

Известно, что экосистемы, сформировавшиеся в криолитозоне, весьма чувствительны к колебаниям климата Земли [Васильчук, 2007], поэтому микропалеонтологическое изучение опорных разрезов многолетнемерзлых толщ может дать ценную информацию для понимания изменений природной среды. Палеонтологические данные позволяют реконструировать различные палеоэкологические условия: глубину, соленость бассейна, структуру растительных ландшафтов, произраставших вокруг палеобассейна. Такая информация в настоящее время является крайне актуальной в связи с прогнозами развития всего Арктического региона в ближайшем будущем.

В 2015 г. в районе дельты Лены, в южной части о. Курунгнах, была пробурена скважина глубиной 24.5 м. Точка бурения расположена в аласе, примыкающем к оз. Удачное (рис. 1). Скважина бурилась сотрудниками ИНГГ СО РАН с целью оценки изменения объема мерзлоты из-за термокарста на примере аласа. Полученный керн был описан на базе научно-исследовательской станции (НИС) «Самойловский», непосредственно после выемки керна проведено измерение влагонасыщенности и магнитной восприимчивости, отобраны образцы на различные виды анализов (микропалеонтологический, гранулометрический, рентгеноспектральный). Наряду с реконструкциями природных обстановок одной из наших задач являлось определение времени формирования вскрытых осадков по микропалеонтологическим данным путем сопоставления полученных палинологических спектров и ассоциаций остракод с таковыми из хорошо датированных естественных обнажений, расположенных в непосредственной близости от точки бурения [Wetterich et al., 2005, 2008; и др.].

### СОВРЕМЕННЫЕ ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ

Дельта Лены расположена в области с арктическим континентальным климатом, характеризуемым следующими параметрами: среднегодовая температура воздуха  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ , среднеянварская  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ , среднеиюльская  $6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , годовое количество осадков 190 мм [Большаинов и др., 2013]. Дельта находится в области вечномерзлых пород с непрерывной мерзлотой толщиной 500—600 м. Толщина активного (сезонно-талого) слоя 30—50 см.

Почти вся дельтовая равнина расположена в тундровой зоне. Согласно Дж. Шнайдеру и коллегам [Schneider et al., 2009], большая часть территории дельты занята ландшафтами влажной тундры с доминированием осок и мхов, меньшие площади занимают ландшафты сухой осоково-моховой и кустарничковой тундры, влажной мохово-травяной тундры, кустарничковой тундры влажной и сухой, сухой травяной и сухой кочкарной тундры. Имеются также участки, не занятые растительностью.

Ассоциации современных остракод арктической зоны Восточной Сибири хорошо изучены С. Веттерихом с соавтором [Wetterich et al., 2005, 2008, 2009; и др.]. По результатам этих работ были опреде-

лены характерные сообщества остракод из различных типов водоемов данного региона — от речных до озерных термокарстового происхождения. В таксономическом составе доминируют виды подсемейства *Candoninae* (роды *Candona* и *Fabaeformiscandona*), являющиеся типичными обитателями арктических областей.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

**Строение разреза.** Скважина была пробурена колонковым методом. Диаметр керна в верхней части разреза до глубины 7 м составлял 136 мм, в интервале 7.0—22.3 м — 117 мм, в интервале 22.3—24.0 м — 98 мм. Нашими исследованиями охвачены верхние 17 м отложений.

В целом разрез разбивается на следующие интервалы (рис. 2): верхний (0—0.6 м) представлен торфом; следующий интервал (0.6—9.5 м) сложен преимущественно суглинками, местами с органическими включениями, эти отложения содержат значительное количество влаги в виде жильного (жилы, прожилки и линзы) и порового льда; интервал 9.5—13.0 м представлен уплотненными мерзлыми суглинками массивной текстуры; интервал 13.0—14.4 м — мерзлыми среднезернистыми песками, массивной текстуры; интервал 14.4—15.4 м состоит из плотных суглинков, массивной текстуры; самый нижний интервал 15.4—17.0 м сложен мерзлыми массивными песками.

**Остракоды.** При извлечении раковин остракод использовалась стандартная для кайнозойских образцов навеска 100 г для обеспечения сопоставимости результатов подсчета количества створок в об-

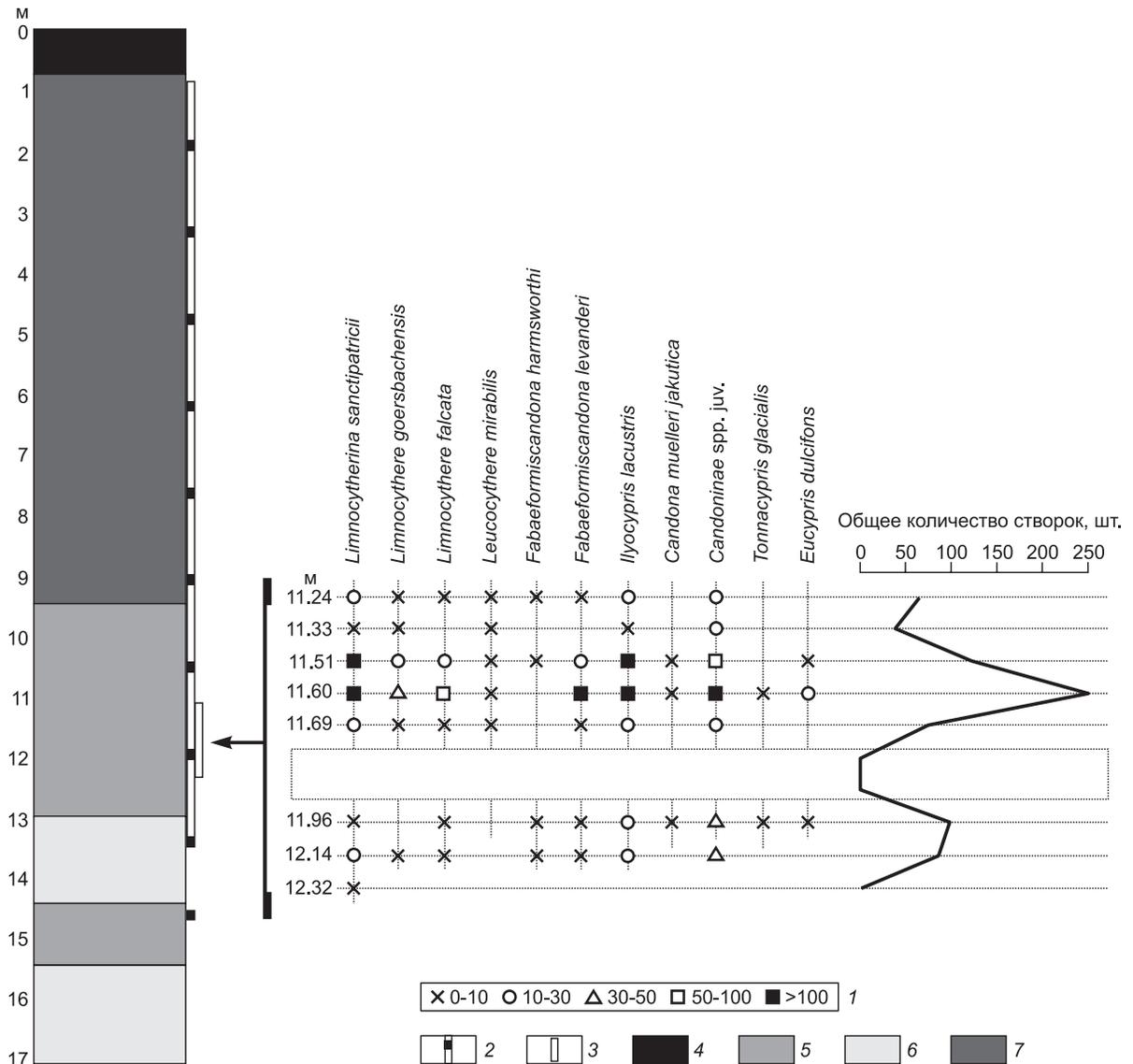


Рис. 2. Строение разреза и диаграмма распределения остракод.

1 — количество экземпляров, 2 — пыльца, 3 — остракоды, 4 — торф, 5 — плотные суглинки, 6 — песчаники, 7 — суглинки.

разцах. Дезинтегрированная в воде порода пропусклась через сито с размером ячеек 0.067 мм. Раковины остракод отбирались из отмытого и просушенного образца и затем исследовались под биноклем Zeiss Stemi 2000. Фотографирование осуществлялось на микроскопе Zeiss Discovery V12. Коллекция хранится в лаборатории микропалеонтологии ИНГГ СО РАН.

**Палинология.** Всего для палинологического анализа было отобрано 57 образцов, самый верхний с глубины 0.92 м, самый нижний с глубины 16.8 м, из них только в 21 образце оказалось удовлетворительное количество палиноморф. Образцы обрабатывали по методике, принятой в лаборатории палеонтологии и стратиграфии мезозоя и кайнозоя ИНГГ СО РАН, с использованием пирофосфата калия для удаления глинистых частиц и тяжелой кадмиевой жидкости с удельным весом 2.25 г/см<sup>3</sup> для разделения осадка на минеральную и органическую части. Палинологические объекты изучались во временных и постоянных препаратах при помощи светового микроскопа Zeiss Primo Star. Микрофотографирование выполнялось на световом микроскопе Zeiss Axioskop 40 с применением фотокамеры Canon PowerShot G10 с  $\times 400$ ,  $\times 630$ . Коллекция хранится в Лаборатории палеонтологии и стратиграфии мезозоя и кайнозоя ИНГГ СО РАН.

При подсчете в палинологических спектрах за 100 % принималась сумма пыльцы древесных, кустарниковых и травянисто-кустарничковых растений. Споры и непыльцевые палиноморфы рассчитывались из этой же суммы. Для вычисления содержания различных компонентов подсчитывали не менее 200 зерен. Диаграмма построена с помощью программы TILIA [Grimm, 1991]. Для идентификации палиноморф использовались атласы-определители [Куприянова, Алешина, 1972, 1978; Бобров и др., 1983; Ukraintseva, 1993; Komarek, Jankovska, 2001; Савельева и др., 2013; и др.].

Предварительные результаты микропалеонтологических исследований отложений, вскрытых скважиной, опубликованы в [Хазин и др., 2017].

**Влагонасыщенность. Гранулометрия. Рентгеноспектральный анализ (РСА).** Были проведены исследования 94 образцов керна многолетнемерзлых пород (ММП) на общее содержание влаги, на долю песчано-алевролитовой и пелитовой фракций, для нескольких образцов выполнены гранулометрический и рентгеноспектральный анализы.

Влагонасыщенность представлена в процентном отношении массы жильного и порового льда, поровой и капиллярной воды в образце к его массе. Измерения проводились согласно ГОСТ 5160-2015.

Для семи образцов проведен более детальный анализ на предмет гранулометрического состава песчано-алевролитовой фракции и минерального состава пелитовой фракции (< 10 мкм). Пелитовая часть пробы выделялась методом отмучивания, ее состав исследовался на дифрактометре ARL X'TRA.

**Магнитная восприимчивость.** Объемная магнитная восприимчивость образцов определялась в мерзлом состоянии непосредственно после выемки керна. Измерения были выполнены при помощи капаметра КТ-5 с рабочей частотой 10 кГц и чувствительностью 10<sup>-5</sup> ед. СИ. Замеры производились на боковой поверхности керна, для учета влияния кривизны поверхности на результаты измерений был введен поправочный коэффициент, зависящий от радиуса кривизны согласно паспорту прибора [КАРРАМЕТЕР..., 1980]. Всего было выполнено 72 измерения в диапазоне глубин от 0.5 до 17 м.

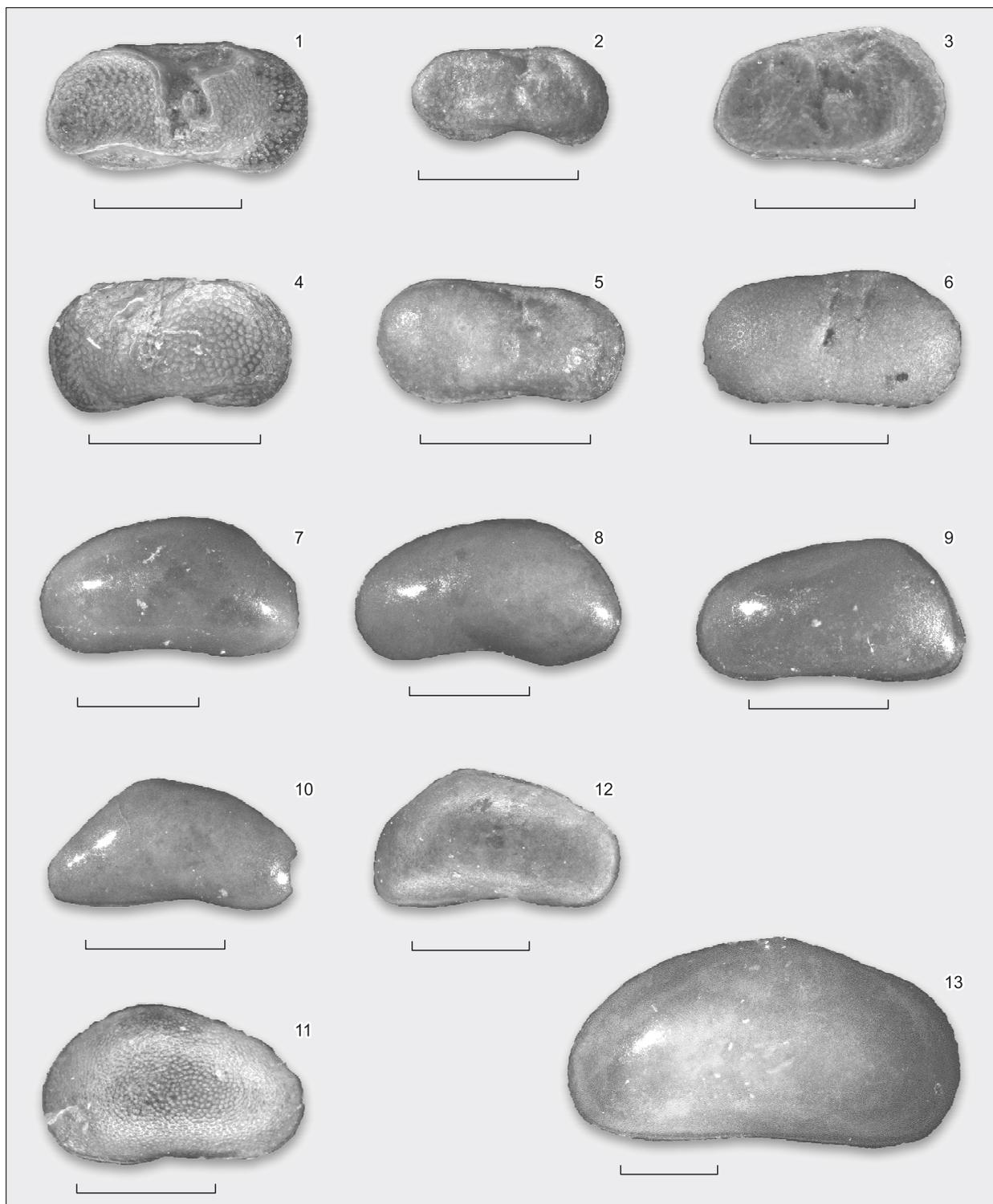
## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Микрофаунистические исследования.** Остракоды были обнаружены в толще суглинков (инт. 11.24–12.98 м). Таксономический состав довольно разнообразен (см. рис. 2, фототабл. 1), представлен видами *Limnocytherina sanctipatricii* (Brady et Robertson), *Limnocythere goersbachensis* Diebel, *L. falcata* Diebel, *Leucocythere mirabilis* Kaufmann, *Fabaeformiscandona harmsworthi* (Scott), *F. levanderi* (Hirschmann), *Ilyocypris lacustris* Kaufmann, *I. cf. bradyi* Sars, *Candona muelleri jakutica* Pietrzeniuk, *Candona cf. combibo* Livalent, *Candona* sp., *Candoninae* spp. juv., *Tonnacypris glacialis* (Sars), *Eucypris dulcifons* Diebel et Pietrzeniuk.

В ассоциации доминируют виды *Limnocytherina sanctipatricii*, *Ilyocypris lacustris*, многочисленны также створки *Limnocythere goersbachensis* и *Limnocythere falcata*, а виды подсемейства *Candoninae* гораздо менее многочисленны, представлены только четырьмя видами, что сильно отличает эту ископаемую ассоциацию от характерной современной.

Все обнаруженные виды являются холодостенотермными или олиготермофильными формами, т. е. живущими исключительно в холодных водах или предпочитающими таковые [Meisch, 2000; Wettlich et al., 2005, 2009].

Внутри содержащего остракод интервала выделяется уровень 11.78–11.87 м, характеризующийся отсутствием раковин и высоким содержанием растительных остатков. Этот «перерыв» делит интервал с остракодами на два — верхний и нижний. В остальном условия существования водоема были, по всей видимости, достаточно стабильные, на что указывает высокое таксономическое разнообразие остракод.



**Фототаблица 1. Остракоды из керна скважины.**

1 — *Limnocythere falcata* (правая створка), 2 — *Limnocythere goersbachensis* (самец, правая створка), 3 — *Leucocythere mirabilis* (самка, правая створка); 4, 5 — *Limnocytherina sanctipatricii* (4 — самка, левая створка, 5 — самец, правая створка); 6 — *Ilyocypris lacustris* (правая створка); 7, 8 — *Fabaeformiscandona levanderi* (7 — самка, левая створка, 8 — самец, левая створка); 9 — *Candona muelleri jakutica* (левая створка); 10 — *Candona* cf. *combibo* (правая створка); 11 — *Eucypris dulcifons* (самка, левая створка); 12 — *Fabaeformiscandona harmsworthi* (самка, правая створка), 13 — *Tonnacypris glacialis* (правая створка). Длина линейки 0.5 мм.

Вид *Limnocytherina sanctipatricii* довольно широко распространен в озерных отложениях на территории Западной Сибири, европейской части России, в Северной Европе и США с плейстоцена [Казьмина, 1975; Meisch, 2000]. Вид был встречен во всех образцах, содержащих фауну остракод, наиболее многочислен в верхней части, где его концентрация в образце превышает сотню экземпляров.

*Leucocythere mirabilis*, неизменно присутствующий во всех образцах верхнего интервала, глобально менее распространен в сообществах остракод, чем *Limnocytherina sanctipatricii* [Meisch, 2000], с которым довольно часто находится в одной ассоциации. Оба эти вида заселяют холодные олиготрофные озера, причем *L. mirabilis* предпочитает глубины не менее 12 м, хотя имеются факты его присутствия и на меньших глубинах. В российской (советской) литературе этот вид фигурирует под названием *Limnocythere baltica* Diebel, являющимся младшим синонимом *Leucocythere mirabilis* [Fuhrmann, 2012]. По данным Т.А. Казьминой [1975], *Limnocythere baltica* встречается в средневерхнечетвертичных, единично в нижнечетвертичных отложениях Западной Сибири и Алтайского края.

Целые створки вида *Tonnacypris glacialis* были обнаружены в двух образцах из средней части (инт. 11.96—11.60 м). Южная граница современного ареала распространения этого вида проходит по 65° с.ш., а его присутствие в ассоциации указывает на летние температуры на уровне 6 °С [Griffith et al., 1998].

Наконец, еще один вид, встреченный в больших количествах по всему интервалу, *Ilyocypris lacustris* предпочитает температуру воды около 4 °С [Fuhrmann, 2012].

В образце с гл. 11.6 м было обнаружено несколько створок остракод, по очертанию напоминающих вид *Candona combibo*, встречающийся на территории Западной Сибири, Алтайского края, Казахстана и Кавказа в среднем и верхнем плиоцене. Есть данные о нахождении створок вида *Candona combibo* в голоценовых осадках Черного моря [Бурындина, Бондарь, 2012].

Таким образом, отталкиваясь от таксономического состава остракод, можно предположить, что во время накопления осадков интервала, содержащего микрофауну, существовал озерный водоем с олиготрофным режимом и очень низкими температурами воды. Скорее всего, на начальном этапе он был не очень глубоким, что приводило к его резкому обмелению и зарастанию, в дальнейшем глубина возросла. Самые низкие температуры, по-видимому, имели место во время формирования средней части второго интервала, где максимальны количества створок *Ilyocypris lacustris* и ювенильных форм подсемейства Candoninae, которые не могли развиваться до половозрелых стадий из-за неблагоприятных условий.

**Палинологические исследования.** Пески, суглинки, вскрытые в инт. 13.54—16.80 м, практически не содержат спор и пыльцы. Единично отмечены пыльцевые зерна хвойных, переотложенные из дочетвертичных осадков. Только в суглинках на гл. 14.66 м присутствуют споры и пыльца в незначительных количествах. Чаше других здесь отмечена пыльца древесно-кустарниковых *Betula* sect. *Nanae*, *Betula* sect. *Albae*, *Alnus fruticosa*-type. Единично представлены пыльцевые зерна хвойных *Picea* sp., *Pinus sylvestris* L., *Pinus* s/g *Haploxyylon*, травянисто-кустарничковых Ericaceae, Caryophyllaceae, Poaceae, а также споры *Sphagnum* sp., *Bryales*, Polypodiaceae.

**Палинокомплекс 1 (ПК 1).** Из суглинков с гл. 10.58—13.54 м выявлен богатый палинокомплекс с высоким содержанием пыльцы травянисто-кустарничковых растений и микрофитопланктона (рис. 3, фототабл. 2).

Доминанты среди трав в спектрах разные, но в целом преобладает пыльца *Artemisia* sp., Cyperaceae, Poaceae, в меньших количествах представлена пыльца Caryophyllaceae, Asteraceae, *Thalictrum* sp., *Polygonum bistorta*-type, Saxifragaceae, Ranunculaceae, *Valeriana* sp., *Polemonium* sp., Apiaceae, Papaveraceae, *Rubus chamaemorus* L. и др.

Содержание пыльцы древесно-кустарниковых растений незначительно, она принадлежит следующим таксонам: *Betula* sect. *Nanae*, *Betula* sect. *Albae*, *Betula* spp., *Alnus fruticosa*-type, *Salix* sp., *Pinus* spp., *Picea* sp.

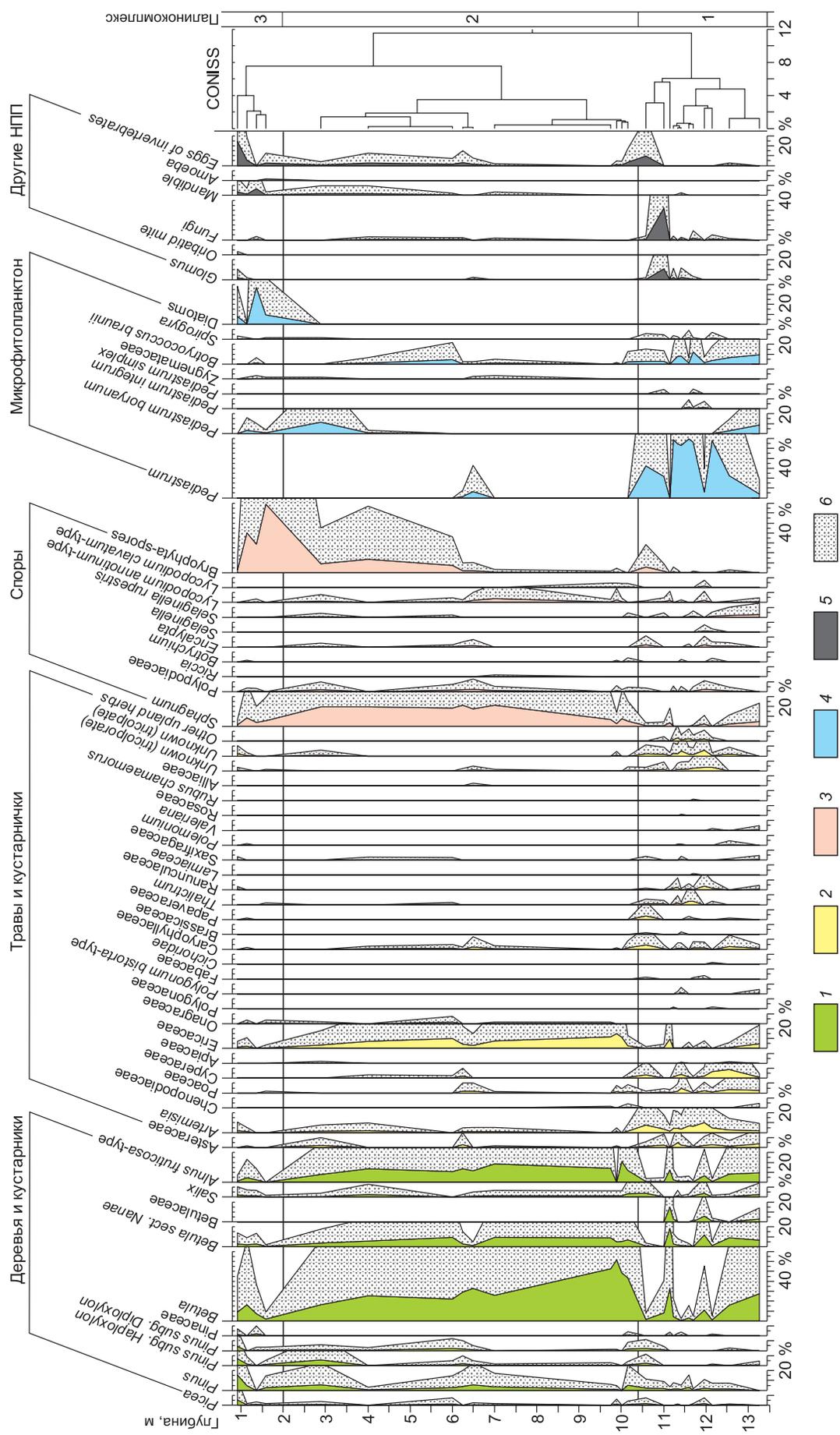
Отмечены немногочисленные споры: *Lycopodium annotinum*-type, *L. clavatum*-type, *Bryales*, *Selaginella rupestris* (L.) Spring, Polypodiaceae, *Sphagnum* sp., *Encalypta* sp.

Для комплекса характерно высокое содержание микрофитопланктона, представленного зелеными водорослями: *Pediastrum boryanum* (Turpin) Meneghini, *Pediastrum* spp., *Botryococcus* sp., *Spirogyra* sp., Zygnemataceae.

Выделенный ПК 1 отражает безлесную растительность с преобладанием открытых пространств, занятых степными и тундровыми ассоциациями. Высокое содержание водорослей *Pediastrum* и *Botryococcus* указывает на существование чистого, пресноводного водоема.

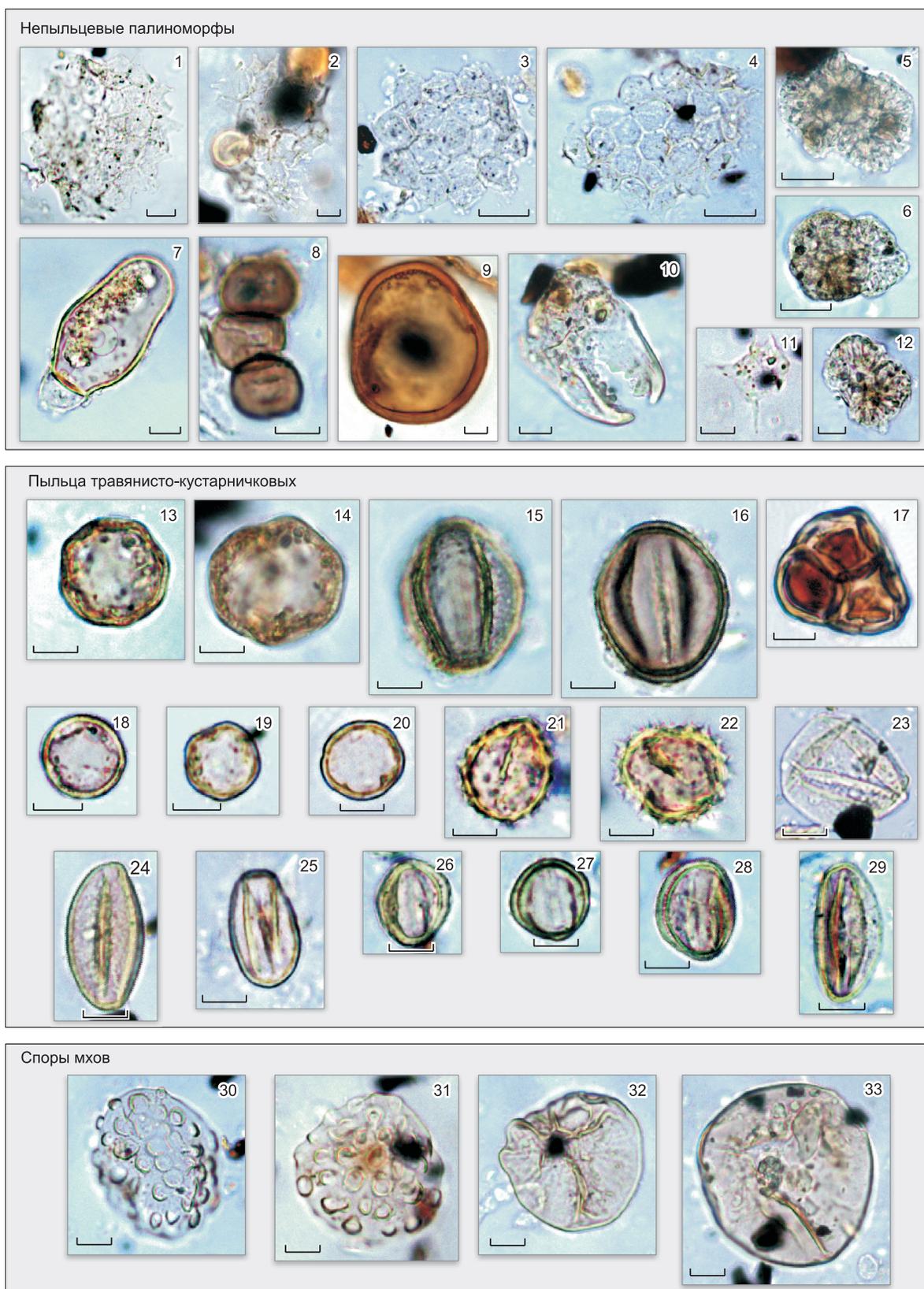
Спектры из суглинков в интервале 10.3—10.58 м отличаются низким содержанием палиноморф *Alnus fruticosa*-type, *Betula* spp., *Betula* sect. *Nanae*, *Pinus* spp., Ericaceae, Poaceae, Cyperaceae и др.

**Палинокомплекс 2 (ПК 2).** Спектры, полученные из суглинков в инт. 1.58—10.30 м, характеризуются преобладанием пыльцы древесно-кустарниковой растительности и спор (см. рис. 3, фототабл. 3).



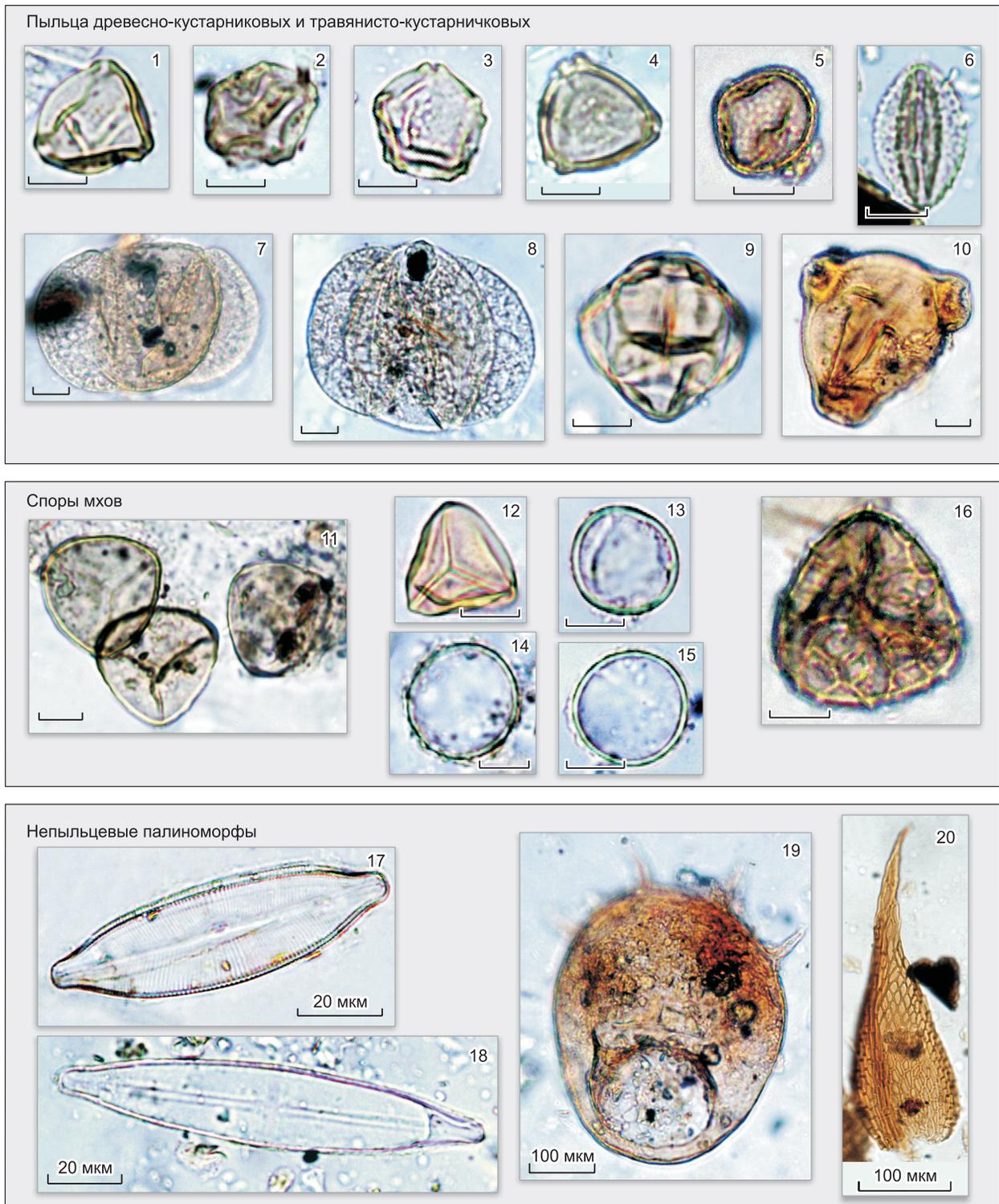
**Рис. 3. Палинологическая диаграмма.**

1 — содержание пыльцы древесно-кустарниковых растений; 2 — содержание пыльцы травянисто-кустарниковых растений; 3 — содержание спор; 4 — содержание микрофитопланктона; 5 — содержание остальных непальцевых палиноморф (НПП); 6 — содержание таксона, умноженное на 5 (индекс 5).



**Фототаблица 2. Палиноморфы, доминирующие в ПК 1.**

Масштабная линейка 10 мкм. 1 — *Pediastrum boryanum*; 2 — *Pediastrum* cf. *integrum*; 3, 4 — *Pediastrum* sp.; 5, 6 — *Botryococcus* sp.; 7 — Rhizopoda; 8 — Fungal spore; 9 — *Glomus* sp.; 10 — Mandible; 11 — Acritarha (?); 12 — *Botryococcus* cf. *neglecta*; 13, 14 — Caryophyllaceae; 15, 16 — *Rubus chamaemorus*; 17 — Ericaceae; 18–20 — *Thalictrum* sp., 21, 22 — Asteraceae; 23 — Cyperaceae; 24 — Ranunculaceae; 25 — Tricolpate pollen; 26–28 — *Artemisia* sp.; 29 — Tricolpate pollen; 30, 31 — *Encalypta* sp.; 32, 33 — *Selaginella rupestris*.



**Фототаблица 3. Палиноморфы, доминирующие в ПК 2 и ПК 3.**

Масштабная линейка 10 мкм, для отдельных таксонов масштабная линейка указана на изображении. 1, 4 — *Betula* sp.; 2, 3 — *Alnus fruticosa*-type; 5, 6 — *Salix* sp.; 7, 8 — *Pinus* s/g *Haploxylon*; 9 — Ericaceae; 10 — Onagraceae; 11, 12 — *Sphagnum* sp.; 13—15 — Bryophyta; 16 — *Lycopodium annotinum*-type; 17, 18 — Diatoms; 19 — Rhizopoda; 20 — веточные листья *Sphagnum*.

Среди древесно-кустарниковых наиболее распространена пыльца *Betula* spp., *Betula* sect. *Nanae*, в меньшем количестве присутствует пыльца *Alnus* sp., *Alnus fruticosa*-type, единична пыльца *Salix* sp.

Среди спор доминирует *Sphagnum* sp., в незначительных количествах отмечены споры Polypodiaceae, *Lycopodium annotinum*-type, *L. clavatum*-type, *Selaginella rupestris*, *Encalypta* sp.

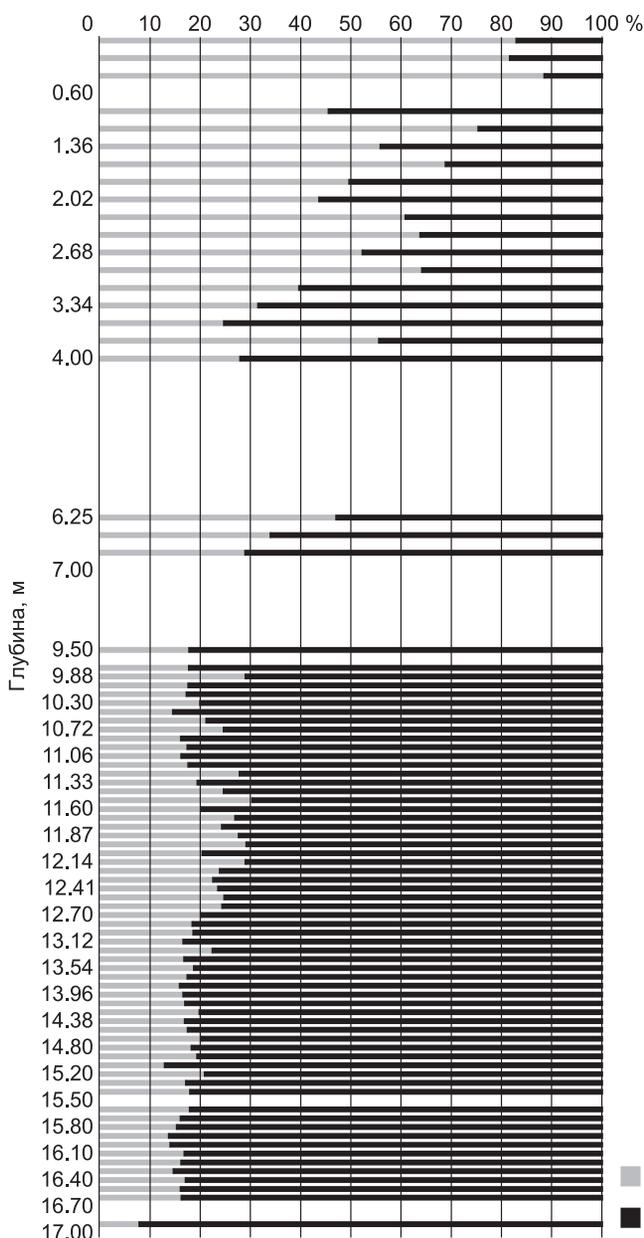
В группе травянисто-кустарниковых преобладает пыльца Ericaceae, в незначительных количествах отмечена пыльца Apiaceae, Asteraceae, *Artemisia* sp., Caryophyllaceae, Cyperaceae, *Thalictrum* sp., Poaceae, Onagraceae, Saxifragaceae.

Непыльцевые палиноморфы принадлежат *Pediastrum boryanum* (особенно многочислен на гл. 2.9 м), *Pediastrum* spp., Zygnemataceae, *Spirogyra* sp., *Botryococcus* sp., Fungi, *Glomus* sp. В образце с гл. 1.58 м отмечены диатомовые водоросли.

Полученные палинологические данные позволяют предположить, что во время формирования отложений, вскрытых в инт. 1.58—10.30 м, на рассматриваемой территории была распространена растительность кустарничковой тундры.

**Палинокомплекс 3 (ПК 3).** Суглинки инт. 0.92—1.58 м характеризуются высоким содержанием спор зеленых мхов, снижением количества пыльцы вересковых, спор сфагновых мхов, увеличением доли непыльцевых палиноморф.

В незначительных количествах отмечена пыльца древесно-кустарниковых *Betula* sect. *Nanae*, *Betula* sect. *Albae*, *Alnus fruticosa*-type, возросла доля пыльцы хвойных.



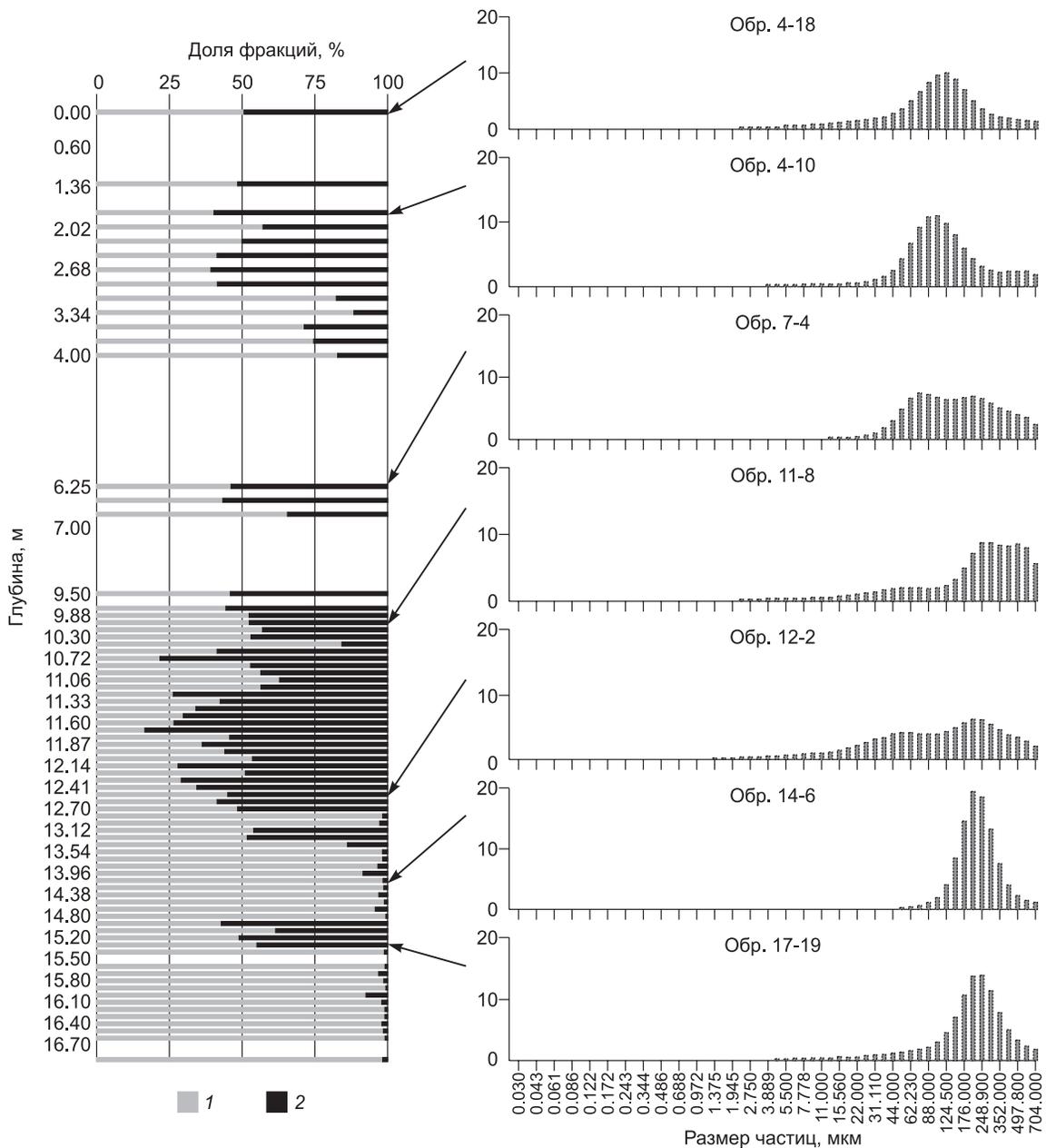
Пыльцы травянисто-кустарниковых также немного, по сравнению с ПК 2 резко снизилось содержание Ericaceae, отмечены единичные Caryophyllaceae, Poaceae, Papaveraceae, Asteraceae, *Artemisia* sp., Onagraceae, Saxifragaceae, *Thalictrum* sp. и др.

Микрофитопланктон представлен следующими таксонами: *Pediastrum boryanum*, *Pediastrum* sp., Zygnemataceae, *Spirogyra* sp., *Botryococcus* sp. В нескольких образцах присутствует большое количество диатомовых водорослей (см. фототабл. 3). Возросла доля таких непыльцевых палиноморф, как Fungi, *Glomus* sp., Pseudoshizaea, отмечены челюстные аппараты и яйца беспозвоночных, почвенные клещи. Среди группы спор доминант — Bryophyta, меньше *Sphagnum* sp., в незначительных количествах отмечены Lycopodiaceae, Polypodiaceae, *Encalypta* sp.

Состав палинокомплекса указывает на существование открытого тундрового ландшафта с высокой степенью увлажненности.

**Влагонасыщенность.** Разрез можно разделить две части: нижнюю (17—7 м) и верхнюю (7—0 м). Нижняя характеризуется достаточно стабильным значением влагонасыщенности, составляющей в среднем 20 % (рис. 4). Влагонасыщенность в основном обеспечена межпоровым льдом. Верхняя часть разреза, имеет большую неоднородность и характеризуется постепенным ростом влагонасыщенности к поверхности. В интервале 4—0 м имеются включения прозрачного льда в виде прожилок и линз, создающих слоистые и сетчатые криогенные текстуры. Местами встречаются наклонные, параллельные друг другу жилы прозрачного льда, секущие отложения толщи-

■ 1 Рис. 4. Процентное соотношение масс влаги (1) и минеральной части (2) в разрезе.



**Рис. 5.** Доля песчано-алевролитовой (1) и глинистой (2) фракции (слева) и гранулометрия (%) песчано-алевролитовой фракции (справа).

ной до 7 мм. В приповерхностном метре разреза влагонасыщенность достигает 80 % за счет жильного (жилы, прожилки и линзы) и порового льда.

**Анализ минеральной части** образцов на предмет содержания песчано-алевролитовой и пелитовой фракций позволяет выделить нижний песчаный интервал (17—13 м) и верхний суглинистый (13.0—0.9 м) (рис. 5, слева). Нижний песчаный интервал представлен практически чистым песком (>98 %), с отдельными прослоями суглинка на 13 и 15 м. Суглинки верхнего интервала содержат в среднем около 50 % пелита и 50 % песчано-алевролитовой фракции, однако имеются прослои с преобладанием последней: на глубинах 3.3-4.0 м (около 80 %) и на глубине 10.4 м (84 %).

**Гранулометрия.** По гранулометрическому анализу можно выделить три группы отложений. Первую представляют образцы с глубин 0.26 и 1.80 м, в которых распределение частиц нормальное, средний размер частиц 100—120 мкм (см. рис. 5, справа, образцы 4—18, 4—10). Таким гранулометрическим распределением можно охарактеризовать верхний интервал отложений с высокой общей влагонасыщенностью. Вторая группа (6.25, 10.02 и 12.5 м) имеет более сложное распределение размеров частиц

Таблица 1. Результаты рентгеноструктурного анализа образцов глинистой фракции (<0.001 мм)

Образец (глубина, м)	Кварц	Плагиоклаз	Хлорит	Диоктаэдрическая слюда мусковитового типа	КПШ	Амфибол	Сидерит	Иллит-смактит
	%							
4—18 (0.26)	~50	20—25	7—10	5—7	5—7	Следы	—	—
4—10 (1.8)	~50	20—25	7—10	5—7	5—7	»	Следы	Мал. примесь
7—4 (6.25)	~50	20—25	10	5—7	5—7	»	Мал. примесь	»
11—8 (10.02)	~50	30—35	5—7	5	5	Мал. примесь	—	Следы
12—2 (12.5)	50—60	20—25	5—7	5	5	Следы	—	—
14—6 (14.1)	50—65	15—20	5	5	5	Мал. примесь	Следы	—
17—19 (15.2)	50—60	~25	5—7	5	5	3—5	—	—

(образцы 7—4, 11—8, 12—2). Эта группа отражает гранулометрию среднего интервала уплотненных суглинков. Два образца с 14.1 и 15.2 м — чистые пески. Средний размер гранул здесь составляет около 230 мкм, распределение нормальное (образцы 4—18, 4—10).

В совокупности с данными о содержании пелитовой фракции изменение гранулометрического состава свидетельствует о различных режимах осадконакопления. В нижней части разреза действовал режим потока с однородными отложениями песка, затем произошла смена на турбидитный режим с неоднородными отложениями с переходом в дальнейшем к режиму осадков в спокойных водах с большим количеством пелитовой фракции.

**Рентгеноспектральный анализ** показывает довольно бедный минеральный состав отложений (таблица). Кроме того, что алевритопесчаная фракция представлена кварцем, пелитовая фракция также наполовину (до 12 м) и более (ниже 12 м) состоит из кварца. Второй по доле минерал — плагиоклаз, его содержание в среднем 20—25 %. Пелитовая составляющая верхней части разреза (0.26—6.25 м) калиевый полевой шпат (КПШ) и мусковит по 5—7 %, хлорит — 7—10 %. В нижней части разреза содержание этих минералов снижается и составляет 5; 5 и 5—7 % соответственно. По всему разрезу обнаруживаются следы и малые примеси амфибола, местами сидерита и иллит-смактита. В целом доля кварца во фракциях позволяет говорить о формировании пелита из алевритопесчаного материала. Бедный минералогический состав осадков, низкий уровень полимиктовости может свидетельствовать о неоднократном перемыве и переотложении материала в ходе его транспортировки.

**Магнитная восприимчивость.** В целом для разреза наблюдается увеличение магнитной восприимчивости ( $k$ ) с глубиной (рис. 6). В разрезе можно выделить два интервала: 0.5—8.0 и 11—17 м. В первом интервале наблюдаются относительно низкие (около  $10^{-4}$  ед. СИ) значения  $k$ . Это может объясняться как низким содержанием ферромагнитных минералов (магнетит, гематит) в тяжелой фракции, так и высокой влагонасыщенностью (около 50 %, см. рис. 6), поскольку лед является слабым диамагнетиком с магнитной восприимчивостью около  $-10^{-5}$  СИ [Lonsdale, 1949]. На втором интервале наблюдается увеличение  $k$  с глубиной от  $0.5 \cdot 10^{-3}$  до  $1.5 \cdot 10^{-3}$  СИ, при этом влагонасыщенность практически не изменяется, оставаясь на уровне около 20 %. Это однозначно свидетельствует о повышении доли ферромагнетиков в минеральной фракции с глубиной. Особо выделяется участок 9.7—10.4 м, на котором наблюдается отчетливый тренд снижения  $k$  с глубиной с  $0.6 \cdot 10^{-3}$  до  $0.3 \cdot 10^{-3}$  ед. СИ при отсутствии видимой корреляции с влагонасыщенностью.

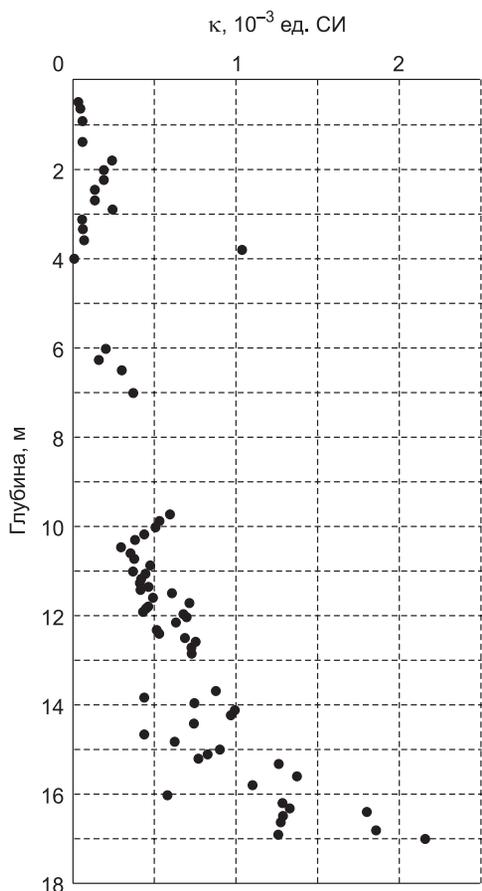


Рис. 6. График изменения магнитной восприимчивости ( $k$ ) по разрезу.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

**Стратиграфическое расчленение. Реконструкция природных условий.** *Нижний интервал разреза.* Выделенный в изученной скважине палинокомплекс 1 хорошо сопоставляется с палинокомплексами зон PZ 1 и PZ 2, установленных в естественном разрезе на о. Курунгнах [Wetterich et al., 2008]. Здесь также в спектрах преобладают травы (злаковые, осоковые, полыни, гвоздичные, в меньшей степени астровые, василистник и капустные) и микрофитопланктон *Pediastrum* и *Botryococcus*. Отложения, содержащие палинокомплексы PZ 1 и PZ 2, по данным радиоуглеродного анализа, формировались в интервале 45 500—32 000 л. н. и, согласно региональной стратиграфической схеме [Унифицированная..., 2010], относятся к каргинскому горизонту. С. Веттерих с соавторами [Wetterich et al., 2008] реконструируют на рассматриваемой территории открытые степные и тундровые растительные ассоциации, а присутствие зеленых водорослей связывают с относительно влажными условиями в то время. Схожие природные условия были реконструированы для каргинского интерстадиала и на Быковском полуострове [Andreev et al., 2002]. Таким образом, выделенный нами в разрезе скважины ПК 1 предположительно относится к каргинскому интервалу.

Установленная ассоциация остракод по таксономической и количественной структуре близка ко второму остракодовому комплексу, выделенному в естественном обнажении в урочище Мамонтовый Хаята (Быковский полуостров) [Wetterich et al., 2005] их интервала глубин 8.8—22.0 м. Этот интервал продатирован и имеет возрастной диапазон от 48 000 до 34 000 л. н. Таким образом, можно предположить, что отложения, вскрытые изученной скважиной на о. Курунгнах из интервала 11.24—12.98 м, накапливались в терминальной стадии позднего плейстоцена в эпоху каргинского интерстадиала.

Эти выводы по палинологии и комплексу остракод дополняются данными измерений магнитной восприимчивости. Общий вид графика  $k$  с глубиной в целом качественно согласуется с данными С. Веттериха и коллег [Wetterich et al., 2008]: стабильно низкие значения  $k$  в верхней части разреза (0—20 м [Wetterich et al., 2008] и 0.5—7.0 м в настоящей работе) и плавное увеличение  $k$ , начиная с некоторой глубины (20—30 м [Wetterich et al., 2008] и 11—17 м в настоящей работе). Рост магнитной восприимчивости с глубиной в ледовом комплексе С. Веттерих и коллеги объясняют изменением длины пути транспортировки материала вследствие смены его источника. Частицы с большей плотностью, содержащие ферромагнитные минералы, переносятся на меньшее расстояние, чем более легкие частицы, таким образом, концентрация ферромагнетиков снижается с удлинением пути переноса в процессе выветривания. Количественное сравнение с данными С. Веттериха затруднено, прежде всего, вследствие того, что германские коллеги исследовали сухое вещество, в то время как в данной работе определялась  $k$  мерзлой породы. Во-вторых, в настоящей статье рассматриваются отложения, представляющие собой сильноизмененный в результате протаивания материал ледового комплекса, исследованного в работе С. Веттериха и коллег. В качестве важного дополнения следует отметить, что монотонное уменьшение  $k$  от  $0.6 \cdot 10^{-3}$  до  $0.3 \cdot 10^{-3}$  ед. СИ в интервале 9.7—10.6 м может возникать вследствие образования сильномагнитных минералов в условиях аэрации [Бабанин, Худяков, 1972; Коснырева, 2007] и свидетельствовать о наличии длительного перерыва в осадконакоплении с формированием почвенного слоя.

Полученные данные позволяют предположить, что в каргинское время здесь существовал озерный водоем с олиготрофным режимом и невысокими температурами воды. Его окружали открытые безлесные тундровые и степные пространства.

Внутри содержащего остракод интервала выделяется уровень, характеризующийся отсутствием раковин, но с высоким содержанием растительных остатков. Вероятно, здесь происходило существенное обмеление и зарастание водоема. На это также указывают данные палинологии: для этого уровня типично возрастание доли таких непыльцевых палиноморф, как конидиоспоры микоризного гриба *Gloium*, других спор грибов (в том числе *Multicellate*-type), остатков яиц и челюстных аппаратов беспозвоночных. Обычно такие таксоны свойственны поверхностным почвенным пробам и свидетельствуют об эрозионных процессах. Также в пользу перерыва говорит скачок значений  $k$ , характерный для процессов почвообразования.

*Верхняя часть разреза.* Палинокомплекс 2, выделенный из суглинков инт. 1.58—10.3 м, коррелируется с палинокомплексом зоны PZ 4 из разреза четвертичных отложений на о. Курунгнах [Wetterich et al., 2008]. Увеличение содержания пыльцы *Alnus fruticosa*-type, *Betula sect. Nanae*, *B. sect. Albae* и *Ericales* в спектрах зоны PZ 4 авторы связывают с раннеголоценовым потеплением. Резкое увеличение в спектрах содержания пыльцы кустарниковой березки, кустарниковой ольхи и вересковых приурочено к раннему голоцену и в разрезе Быковского полуострова [Andreev et al., 2002]. Вывод о более благоприятных природных условиях в раннем голоцене подтверждается находками и датировками стволов берез и лиственниц в вершине дельты, на Быковском полуострове и на побережье Ванькиной губы [Большаинов и др., 2013]. Это показывает, что граница леса сдвигалась в область дельты и на сопредельные пространства 8.9—8.6 тыс. л. н. Причем лес, произраставший тогда в вершинной части дельты, был не

только лиственничным, но и березовым. Таким образом, вышеназванные авторы относят климатический оптимум голоцена к периоду 8900—8000 л. н.

Отложения, содержащие PZ 4 [Wetterich et al., 2008], датированы, имеют даты 8000 и 5900 л. н. Таким образом, выделенный нами ПК 2 в разрезе, вскрытом изученной скважиной, предположительно относится к раннему—среднему голоцену.

Значения магнитной восприимчивости и влагонасыщенности в осадках этого интервала имеют большой разброс, что может говорить о нестабильности условий формирования верхней части разреза.

Самая верхняя часть разреза, по данным палинологии, имеет очень разнородный состав (зеленые мхи, диатомовые водоросли, споры грибов и пр.) и отличается от нижележащих осадков, что может быть связано с периодическими изменениями уровня водоема.

## ВЫВОДЫ

Подводя итоги проведенных исследований, отметим, что полученные разносторонние данные позволяют, во-первых, определить интервал формирования нижней части разреза (17—10 м) — терминальная стадия позднего плейстоцена, каргинский интерстадиал; верхней его части как ранний—средний голоцен. Во-вторых, полученные данные указывают на то, что в каргинское время на рассматриваемой территории существовал озерный водоем с олиготрофным режимом и невысокими температурами воды. Его окружали открытые безлесные тундровые и степные пространства. В раннем и среднем голоцене здесь была распространена растительность кустарничковой тундры.

Установлено, что во время формирования отложений имел место перерыв в осадконакоплении, что подтверждается как палеонтологическими, так и геофизическими данными.

Работа подготовлена при поддержке комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН «Междисциплинарные интеграционные исследования», проект «Интегральная характеристика криолитозоны по данным дистанционного зондирования, геолого-геофизических, геоботанических и почвенных исследований, проводимых на базе НИС остров Самойловский».

## ЛИТЕРАТУРА

**Бабанин В.Ф., Худяков О.И.** Магнитная восприимчивость мерзлотно-таежных почв Магаданской области // Вестн. МГУ. Сер. Биология, почвоведение, 1972, № 5, с. 88.

**Бобров А.Е., Куприянова Л.А., Литвинцева М.В., Тарасевич В.Ф.** Споры папоротникообразных и пыльца голосеменных и однодольных растений флоры европейской части СССР. Л., Наука, 1983, 206 с.

**Большаинов Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штоф Г.** Происхождение и развитие дельты реки Лены. СПб., ААНИИ, 2013, 268 с.

**Бурындина Л.В., Бондарь Е.А.** Комплекс остракод голоцена Черного и Азовского морей (Российский сектор) // Труды XV Всероссийского микропалеонтологического совещания «Современная микропалеонтология» (г. Геленджик, сентябрь 2012). 2012, с. 223—226.

**Васильчук А.К.** Палинология и хронология полигонально-жильных комплексов в криолитозоне России. М., Изд-во Моск. ун-та, 2007, 488 с.

**Казьмина Т.А.** Стратиграфия и остракоды плиоцена и раннего плейстоцена юга Западно-Сибирской равнины. Новосибирск, Наука, 1975, 108 с. (Тр. ИГиГ СО АН СССР, вып. 264).

**Коснырева М.В.** Разработка комплекса геофизических методов для решения прикладных задач почвенного картирования: Автореф. дис.... к.г.-м. н. М., 2007, 22 с.

**Куприянова Л.А., Алешина Л.А.** Пыльца и споры флоры европейской части СССР. Л., Наука, 1972, 171 с.

**Куприянова Л.А., Алешина Л.А.** Пыльца двудольных растений флоры европейской части СССР. Lamiaceae — Zygophyllaceae. Л., Наука, 1978, 184 с.

**Савельева Л.А., Рашке Е.А., Титова Д.В.** Атлас фотографий растений и пыльцы дельты реки Лены. СПб., Изд-во «Реново», 2013, 114 с.

**Система моря Лаптевых и прилегающих арктических морей: современные условия и палеоклимат.** М., Изд-во Моск. ун-та, 2009, 608 с.

**Унифицированная стратиграфическая схема четвертичных отложений Средней Сибири (Таймыр, Сибирская платформа). Объяснительная записка / Под ред. В.С. Волковой, Б.А. Борисовой, В.А. Камалетдинова.** Новосибирск, СНИИГиМС, 2010, 90 с.; прил. 1.

**Хазин Л.Б., Хазина И.В., Кузьмина О.Б.** Микропалеонтологическая характеристика (остракоды, палиноморфы) многолетнемерзлых отложений, вскрытых скважиной, на о. Курунгнах (дельта Лены, северо-восток Сибири) // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Международный научный конгресс (г. Ново-

сибирск, 17—21 апреля 2017): Международная научная конференция «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология»: Сборник материалов. 2017, т. 1, с. 7—11.

**Andreev A., Schirrmeister L., Siegert K., Bobrov A., Demske D., Seiffert M., Hubberten H.W.** Palaeoenvironmental changes in northeastern Siberia during the Late Quaternary — evidence from pollen records of the Bykovsky Peninsula // *Polarforschung*, 2002, v. 70, p. 13—25.

**Fuhrmann R.** Atlas quartärer und rezenter Ostrakoden Mitteldeutschlands. *Altenburger naturwissenschaftliche Forschungen*. 2012, v. 15, 320 p.

**Griffith H.I., Pietrzeniuk E., Fuhrmann R., Lennon J.J., Martens K., Evans J.G.** *Tonnacypris glacialis* (Ostracoda, Cyprididae): taxonomic position, (palaeo-) ecology, and zoogeography // *J. Biogeogr.*, 1998, № 25, p. 515—526.

**Grimm E.** TILIA and TILIAGRAPH. Illinois State Museum, Springfield, IL, USA, 1991.

**KAPPAMETER** model KT-5 USER'S MANUAL. Geofyzika Brno, Czechoslovakia, 1980, 24 p.

**Komarek J., Jankovska V.** Review of the green algal genus *Pediastrum*; Implication for pollen-analytical research. Berlin; Stuttgart, Cramer, 2001, 127 p.

**Lonsdale K.** Diamagnetic susceptibility and anisotropy of ice // *Nature*, 1949, v. 164, p. 101.

**Meisch C.** Freshwater ostracoda of Western and Central Europe. *Subwasserfauna von Mitteleuropa* 8/3. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2000, 522 p.

**Schirrmeister L., Grosse G., Schwamborn G., Andreev A., Meyer H., Kunitsky V., Kuznetsova T., Dorozhkina M., Pavlova Y., Bobrov A., Oezen D.** Late Quaternary history of the accumulation plain north of the Chekanovsky Ridge (Lena Delta, Russia): a multidisciplinary approach // *Polar Geogr.*, 2003, v. 27, № 4, p. 277—319.

**Schneider J., Grosse G., Wagner D.** Land cover classification of tundra environments in the Arctic Lena Delta based in Landsat ETM+ data and its application for upscaling of methane emissions // *Remote Sens. Environ.*, 2009, № 113, p. 380—391.

**Schwamborn G., Andreev A., Rachold V., Hubberten H.W., Grigoriev M.N., Tumskoy V., Pavlova E.Yu., Dorozhkina M.V.** Evolution of Lake Nikolay, Arga Island, Western Lena River Delta, during Late Pleistocene and Holocene Time // *Polarforschung*, 2000, v. 70, p. 69—82.

**Schwamborn G., Rachold V., Grigoriev M.** Late Quaternary sedimentation history of the Lena Delta // *Quat. Int.*, 2002, v. 89, p. 119—134.

**Ukrainitseva V.V.** Vegetation cover and environment of the «Mammoth Epoch» in Siberia. Inc. Hot Springs, South Dakota, 1993, 309 p.

**Wetterich S., Schirrmeister L., Pietrzeniuk E.** Freshwater ostracodes in Quaternary permafrost deposits in the Siberian Arctic // *J. Paleolimnol.*, 2005, v. 34, p. 363—376.

**Wetterich S., Kuzmina S., Andreev A.A., Kienast F., Meyer H., Schirrmeister L., Kuznetsova T., Sierralta M.** Palaeoenvironmental dynamics inferred from late Quaternary permafrost deposits on Kurungnakh Island, Lena Delta, Northeast Siberia, Russia // *Quat. Sci. Rev.*, 2008, v. 27, p. 1523—1540.

**Wetterich S., Schirrmeister L., Andreev A., Pudenz M., Plessen B., Meyer H., Kunitsky V.V.** Eemian and Late Glacial/Holocene palaeoenvironmental records from permafrost sequences at the Dmitry Laptev Strait (NE Siberia, Russia) // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 2009, № 279, p. 73—95.

*Рекомендована к печати 25 апреля 2018 г.  
Н.В. Сенниковым*

*Поступила в редакцию 26 декабря 2017 г.,  
после доработки — 19 апреля 2018 г.*