

Позднеплейстоценовая флора местонахождения Кирьяс-Л по данным спорово-пыльцевому и альгологическому анализу (Западная Сибирь, Россия)

Late Pleistocene flora of the Kiryas-L site according to palynological and algological analysis (West Siberia, Russia)

Галимов А. Т.^{1,2}, Шахматов А. С.²

Galimov A. T.^{1,2}, Shakhmatov A. S.²

¹ Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: galimov_at@ipae.uran.ru
¹ IPAE UB RAS, Ekaterinburg, Russia

² Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: andrey.shakhmatov@urfu.ru
² Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Реферат. В работе на основе подробного изучения уточнены данные о флоре МИС-5с в местонахождении Кирьяс. Реконструирована динамика региональной растительности и альгофлоры за время формирования торфяного слоя. Отбор и анализ проб проводились из того же горизонта, что был проанализирован другими методами в уже опубликованных работах с датировкой подстилающего слоя в $105,5 \pm 3,6$ тыс. лет назад. Были проведены альгологический анализ и спорово-пыльцевой анализ. Выделены три последовательных смены растительности на прилегающих к изучаемому разрезу территориях. По изменению состава водорослевых сообществ прослежено изменение обводнения и трофического статуса торфяника. Торфообразование началось с потеплением во времени после 105 тыс. лет назад, с лесотундровой растительностью, во второй этап сформировался биом, близкий к современной северной тайге, на третьем этапе произошло похолодание с формированием сообщества лесотундрового типа и окончанием торфообразования. Комплексный сопряженный анализ стратиграфических летописей различными методами повышает достоверность реконструкций природных изменений. Обилие остатков водорослей позволяет сделать вывод об изменении уровня воды и трофического статуса торфяника.

Ключевые слова. Динамика растительности, Западная Сибирь, локальные ландшафты, региональная флора.

Summary. The article provides results of palynological and algological analysis of peat deposits from MIS-5c in the Kiryas site. Sampling and analysis were carried out from the same horizon that was analyzed by other methods in already published works with the dating of the underlying layer at 105.5 ± 3.6 thousand years ago. Algological analysis and spore-pollen analysis were carried out. Three successive changes in vegetation were identified in the territories adjacent to the studied section. Changes in the composition of algal communities were used to trace changes in watering and the trophic status of the peat bog. Peat formation began with warming in time after 105 thousand years ago, with forest-tundra vegetation; in the second stage, a biome close to the modern northern taiga was formed; in the third stage, cooling occurred with the formation of a forest-tundra community and the end of peat formation. Complex conjugate analysis of stratigraphic records by various methods increases the reliability of reconstructions of natural changes. The abundance of algae remains allows us to conclude that the water level and the trophic status of the peat bog have changed.

Key words. Local landscapes, regional flora, vegetation dynamics, Western Siberia.

Введение. Последнее межледниковье (МИС-5) является предметом тщательного изучения палеоэкологов (Архипов и др., 1994; Астахов, Мангеруд, 2005; Volkova et al., 2005; Новенко, 2016; и др.). На фоне ярко выраженной зональности современных флор Западной Сибири возникает вопрос об их преемственности. Для выяснения исторических корней актуальной растительности наиболее интересным является МИС-5. Этот период считается оптимумом для развития таёжной зоны Евразии и, по мнению некоторых исследователей, в этот период климат достигал современных параметров или был теплее (и/или мягче) современного (Архипов, 1997; Волкова и др., 2005). Поскольку современные флоры являются аналогами и, вероятно, преемниками флор того периода, региональные изучения в пределах МИС-5 становятся крайне важными.

Одним из наилучших методов восстановления ботанической составляющей в прошлом является спорово-пыльцевой анализ (Доктуровский, 1923; Гричук, Заклинская, 1948). На основе определения

ископаемых остатков пыльцы и спор в отложениях он даёт возможность установить ботанический состав растительности в четвертичном периоде. Помимо этого, изучение непыльцевых палиноморф и альгологический анализ позволяют улучшить проводимую реконструкцию.

Обнажение Кирьяс в Среднем Приобье ($60^{\circ}57'$ с. ш., $75^{\circ}45'$ в. д.) ранее было признано стратотипом кирьяских слоёв карагинского горизонта (Архипов, 1997; Волкова и др., 2005; Laukhin et al., 2008). В ходе работ по переописанию ключевых разрезов Западной Сибири, начатых в 2015 г., благодаря комплексному подходу получено обилие материалов, позволяющих уточнить уже существующие представления о палеобиоте этой территории. Динамика климатических изменений Западной Сибири в период МИС-5 исследована главным образом на основе палеоботанических данных, кроме того, существует ряд работ по энтомофаунам (Zinovyev et al., 2019).

Настоящая работа посвящена анализу динамики растительности и альгофлоры в отложениях торфяного слоя разреза Кирьяс-Л.

Материал и методы. Отбор проб на разрезе Кирьяс-Л (рис. 1) производили снизу вверх через каждый 1 см из слоя 12, представленного пробой № 3 и с датировкой подстилающего слоя в $105,5 \pm 3,6$ тыс. лет назад (Лаухин, 2009; Zinovyev et al., 2019). Всего было получено и обработано 14 проб. Лабораторную обработку ввиду избыточного содержания минеральных частиц в пробах проводили по стандартным методикам палинологического анализа в два этапа: на первом использовали мацерационный метод Поста, на втором для насыщения пробы пыльцой использовался сепарационный метод Гричука, с заменой кадмиевой жидкости на ГПС-В, имеющей те же характеристики, но не обладающей токсическими свойствами (Гричук, Заклинская, 1948). Микроскопический анализ подготовленных образцов проводили на микроскопе Zeiss Axio n.1.

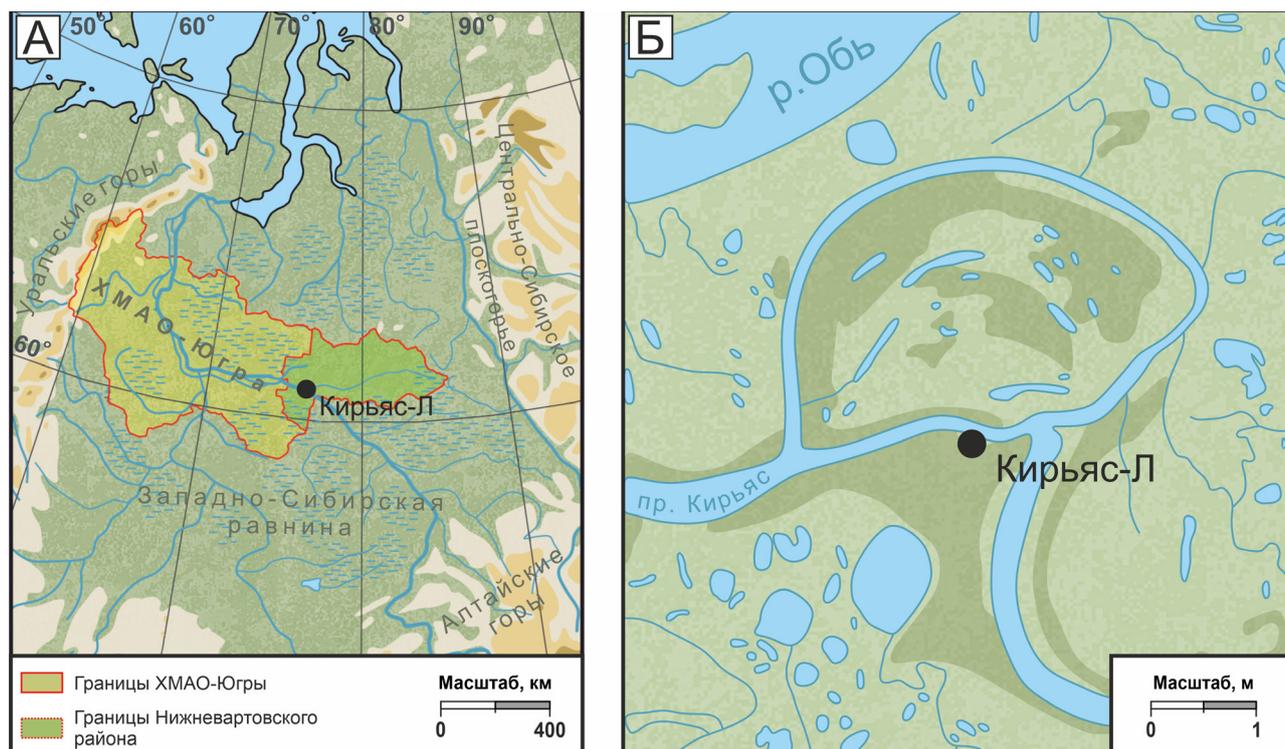


Рис. 1. Расположение местонахождения Кирьяс-Л на территории Западно-Сибирской равнины (А) и в бассейне р. Обь у протоки Кирьяс (Б).

Определение обнаруженных остатков водорослей производили с использованием работ ведущих специалистов (Косинская, 1960; Дедусенко-Щеголева и др., 1962; Komárek, Jankovská, 2001; Coesel, Meesters, 2007; Генкал, Ярушина 2022). Названия таксонов приведены в соответствии с материалами сайта Algaebase (Guiry M. D., Guiry G. M., 2023).

Статистическую обработку материала производили с использованием программных пакетов R и PAST 4.1.

Результаты. В результате проведённого кластерного анализа (UPGMA, индекс сходства Хорда, $R = 0,83$) изученного материала было достоверно выделено три палинозоны (рис. 2).

Палинозона KL-1 (14,87–14,91 м) выделяется в отложениях сухого, средней разложенности торфа. В спектре высока доля пыльцы травянистых видов, в группе древесной пыльцы преобладает берёза (*Betula pubescens* Ehrh. и *B. pendula* Roth). В доминирующей травянистой секции наблюдается обилие видов со значимым вкладом пыльцы Caryophyllaceae, а также высокое содержание пыльцы Cyperaceae. В альгофлоре наиболее обильны водоросли рода *Pediastrum* (рис. 3), встречается несколько видов десмидиевых (рис. 4). Планктонная и эвтрофная природа альгофлоры очевидно свидетельствует о высоком уровне воды. Возможно, в этот период своего существования торфяник напрямую обменивался водой с рекой.

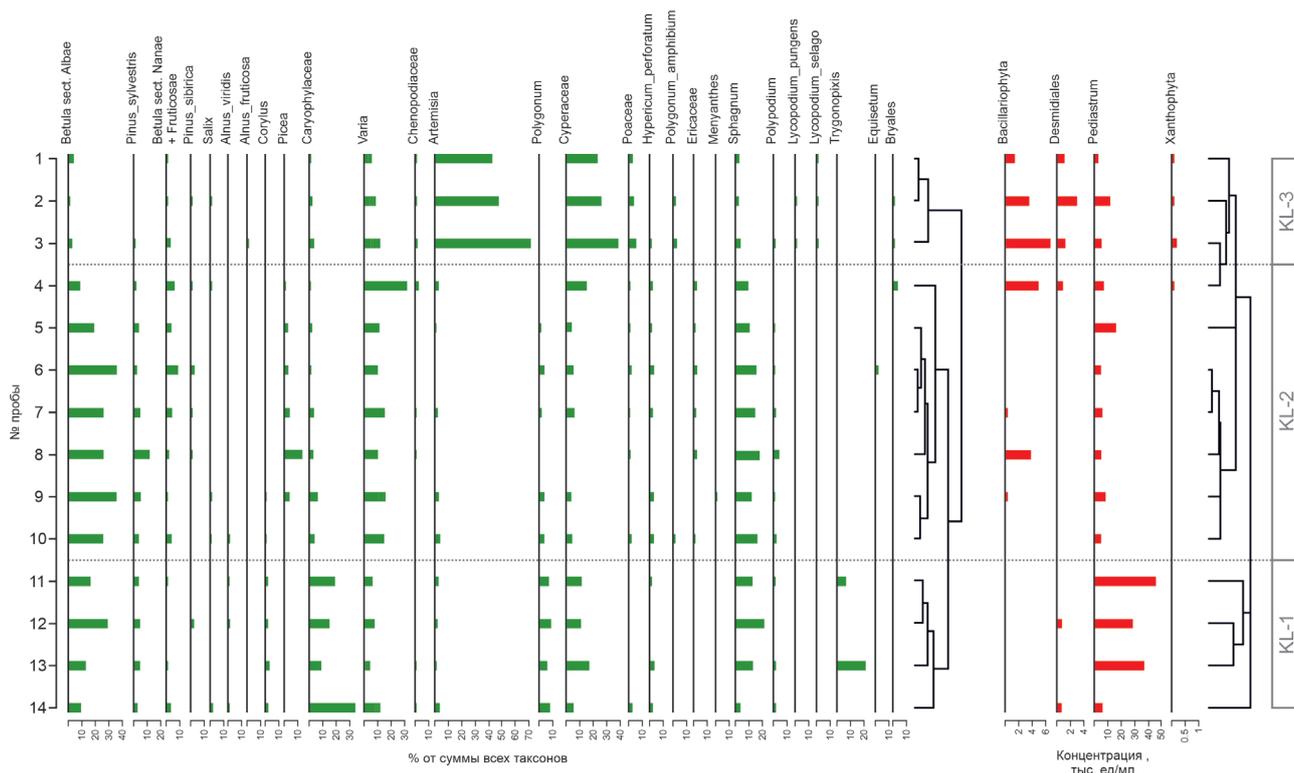


Рис. 2. Спорово-пыльцевая диаграмма разреза Кирьяс-Ли, концентрация остатков водорослей и результаты кластерного анализа.

Палинозона KL-2 (13,98–14,91 м) выделяется в отложениях тёмно-коричневого плохо разложившегося рыхлого торфа по увеличению содержания пыльцы древесных берёз, наличию в спектре пыльцы ели и сосны в равном содержании. Секция травянистых растений больше не занимает доминирующую позицию. Палинокомплекс характеризует резкое потепление климата и произрастание елово-берёзовых лесов паркового типа. Малое число остатков водорослей, среди которых были обнаружены субаэрофитные олиготрофные виды (*Pinnularia lata* (Brébisson) W.Smith), свидетельствует о снижении уровня воды до минимума.

Палинозона KL-3 (13,98–14,00 м) выделяется в отложениях коричневого хорошо разложившегося плотного торфа, переходящего в суглинки. Характеризуется уменьшением содержания пыльцы кустарниковых берёз (*Betula sect. Nanae + Fruticosae*), отсутствием пыльцы ели (*Picea*) и невысоким содержанием пыльцы древесных берёз (*Betula sect. Albae*). Секция травянистой растительности преобладает: доминирует пыльца польни и осок. Количество спор *Sphagnum* невысоко. Редкие находки холодолюбивых плаунов говорят о неблагоприятных условиях. Пыльцевой комплекс диагностирует похолодание и развитие растительности елово-берёзово-ерниковой лесотундры. Обильны находки остатков мезотрофных и олиго-мезотрофных десмидиевых и диатомовых водорослей (рис. 4), число ценобиев *Pediastrum* невелико.

Обсуждение. Тот же торфяной горизонт был проанализирован ранее (Zinovyev et al., 2019), и проба, не подразделенная на отдельные образцы, была отнесена к концу казанцовского периода (МИС-5с). Проведённый анализ фауны насекомых и ракообразных позволил авторам заключить, что период характеризовался холодным климатом и ландшафтом, близким к современной лесотундре или северной тайге с некоторыми видами, не совсем вписывающимся в данные биомы. Поскольку по результатам более дробного спорово-пыльцевого анализа этого же слоя торфа в разрезе Кирьяс–Л мы выделяем три периода, то, вероятно, наличие более теплолюбивых видов в энтомофауне можно объяснить именно этими кратковременными (в геологическом масштабе) изменениями климата и/или локальными особенностями ландшафта. И, несмотря на то, что результаты реконструкции предполагают относительно мягкие условия, они не являются более тёплыми, чем условия современной средней тайги, существующей на описываемой территории.

Так как изученный торфяной горизонт был впервые, с использованием методов абсолютного датирования, проанализирован в работе Лаухина (2009), то стоит сопоставить полученные результаты с описанием, выполненным там. В синхронном по времени участке отложений также описывается растительность более холодолюбивая, чем современная, с небольшими отличиями. Поскольку анализ проводился менее дробно, кратковременное потепление могло остаться незамеченным. В местонахождении Белая Гора (61°27' с. ш., 82°28' в. д.), также были выделены фауно-флористические комплексы подстадии МИС-5с, которые характеризуют постепенное похолодание. Возможно, описанное линейное похолодание скрывает за собой кратковременное потепление, как в Кирьяс–Л, но не было выделено ввиду недостаточной дробности взятия проб.

Следует отметить, что фактором, приводящим к описанным изменениям, может быть не только общее изменение климата, но и локальные изменения русла протоки Кирьяс. Нестабильное русло с регулярным меандрированием фиксируется для всего плейстоцена (Zinovyev et al., 2019). Выявленная в ходе исследований динамика растительности и альгофлоры позволяет проследить изменения ландшафта изученной территории.

На первой стадии существующая открытая водная гладь маркируется обилием осоковых, невысоким содержанием пыльцы древесного яруса, а также наибольшим количеством и разнообразием останков ценобиев *Pediastrum* (всего обнаружено 2 вида и 1 разновидность – *P. boryanum* (Turpin) Meneghini 1840, *P. boryanum* var. *brevicornis* A. Braun, *P. orientale* (Skuja) V.Jankovská et J.Komárek) с небольшой примесью десмидиевых водорослей (*Cosmarium botrytis* Meneghini ex Ralfs, *C. subprotumidum* Nordstedt, *C. turpinii* Brébisson) в альгофлоре.

После отступления реки освободившаяся территория была занята рудеральными видами с повышением роли травянистого яруса (рост обилия пыльцы Poaceae, Cyperaceae, Polygonaceae) и увеличением количества и разнообразия древесной растительности. В это время флора водорослей приобретает мезо-олиготрофные черты, диатомовые водоросли (*Pinnularia lata*, *Cyclotella* sp.) заселяют субаэрофитные ниши на поверхности сфагнового покрова.

На последней стадии в условиях вновь подступившего русла резко уменьшается разнообразие травянистых видов, а древесный ярус практически полностью исчезает. Снова появляются осоки, освободившееся пространство занимает полынь. Сообщества водорослей становятся более мезотрофными: возрастает численность и разнообразие десмидиевых водорослей (*Cosmarium crenulatum* Brébisson, *C. hornavanense* Gutwinski, *C. speciosum* P.Lundell, *Desmidium swartzii* C.Agardh ex Ralfs, *Euastrum bidentatum* Nägeli, *E. dubium* Nägeli, *Staurastrum* cf. *inflexum* Brébisson, *Pleurotaenium trabecula* Nägeli, *P. truncatum* (Brébisson ex Ralfs) Nägeli). Флора диатомовых также проявляет черты олиго-мезотрофности: растёт численность *Cyclotella* sp., появляется *Pinnularia* cf. *gentilis* (Donkin) Cleve, *Placoneis navicularis* (Ehrenberg) E.J.Cox, *P.* cf. *symmetrica* (Hustedt) Lange-Bertalot. Впервые появляются жёлто-зелёные водоросли (*Goniochloris pulchra* Pascher, *G.* cf. *pulcherrima* Pascher, *G. sculpta* Geitler).

Заключение. Таким образом, на основе дробного изучения были уточнены данные о флоре МИС-5с интерстадиала в местонахождении Кирьяс–Л, реконструирована динамика региональной растительности и альгофлоры за время формирования торфяного горизонта.

Выделены три смены растительности. Торфообразование началось с потеплением во времени после 105 тыс. лет назад, с лесотундровой растительностью, во второй этап сформировался биом, близкий к северной тайге, на третьем этапе произошло похолодание с формированием сообщества лесотундрового типа и окончанием торфообразования.

Комплексный сопряженный анализ стратиграфических летописей различными методами повышает достоверность реконструкций природных изменений. Обилие остатков водорослей позволяет сделать вывод об изменении уровня воды и трофического статуса торфяника.

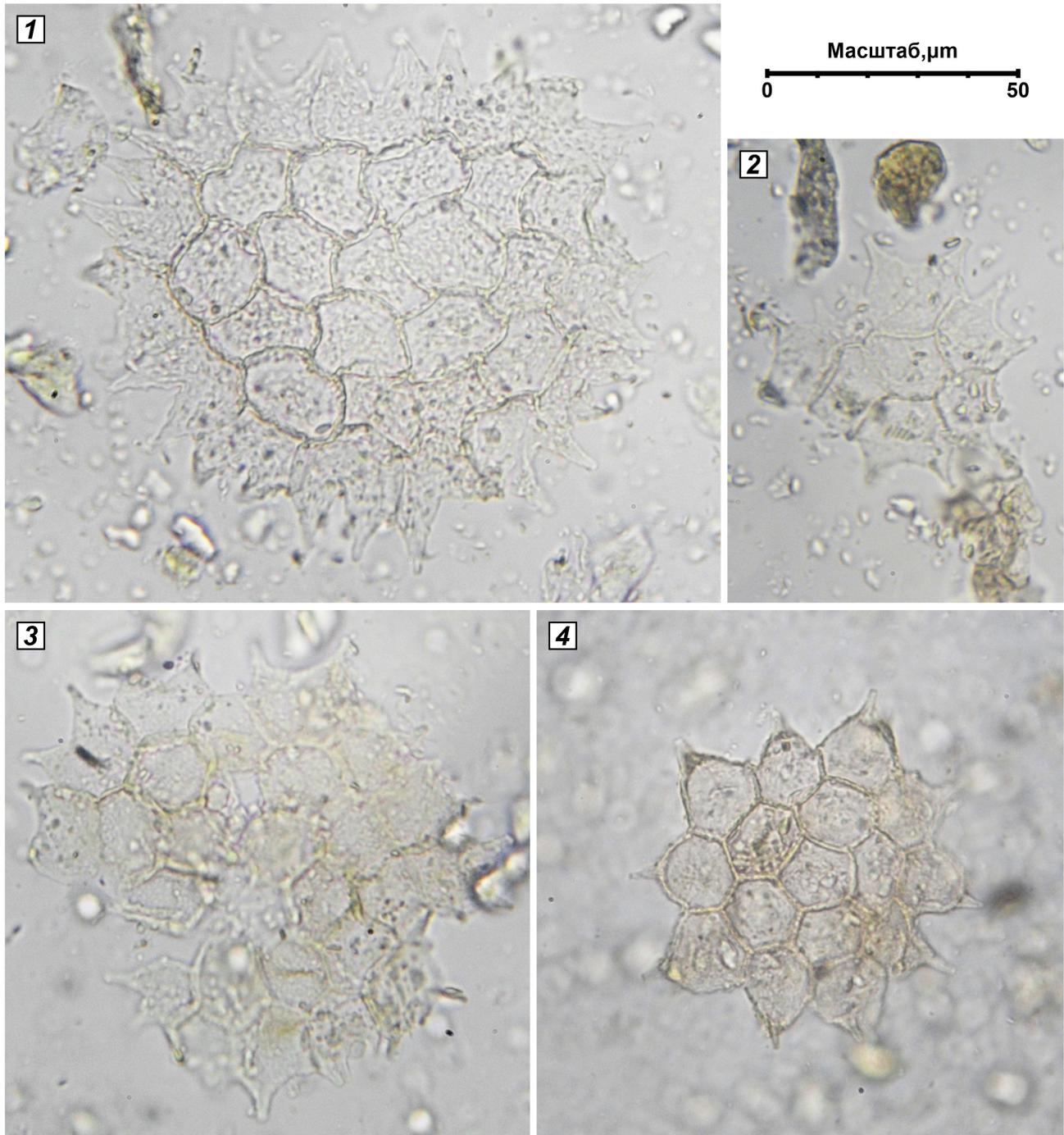


Рис. 3. Остатки ценобиев *Pediastrum* из разреза Кирьяс-Л: 1 – *P. boryanum*; 2–3 – *P. boryanum* var. *brevicorne*; 4 – *P. orientale*.

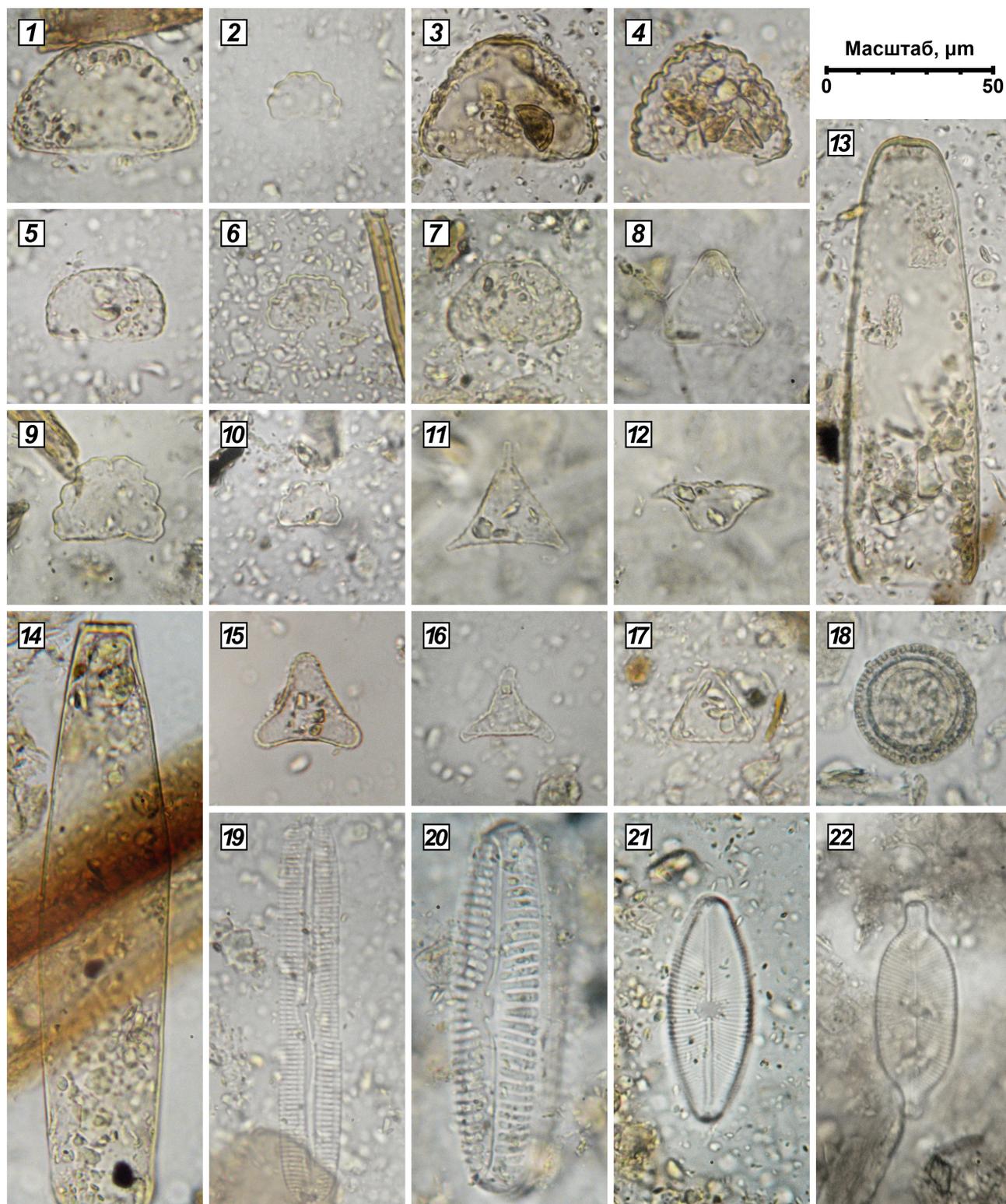


Рис. 4. Остатки водорослей из разреза Кирьяс-Л: десмидиевых: 1 – *Cosmarium botrytis*; 2 – *C. crenulatum*; 3 – *C. hornavanense*; 4 – *C. speciosum*; 5 – *C. cf. subbroomei*; 6 – *C. subprotumidum*; 7 – *C. turpinii*; 8 – *Desmidium swartzii*; 9 – *Euastrum bidentatum*; 10 – *E. dubium*; 11–12 – *Staurastrum cf. inflexum*; 13 – *Pleurotaenium trabecula*; 14 – *P. truncatum*; желто-зелёных: 15 – *Goniochloris pulchra*; 16 – *G. cf. pulcherrima*; 17 – *G. sculpta*; и диатомовых: 18 – *Cyclotella* sp.; 19 – *Pinnularia cf. gentilis*; 20 – *P. lata*; 21 – *Placoneis navicularis*; 22 – *P. cf. symmetrica*.

Благодарности. Выражаем благодарность д. б. н. Александру Васильевичу Бородину за ценные комментарии по тексту работы, а также сотрудникам лаборатории филогенетики и биохронологии за помощь в подготовке материалов.

ЛИТЕРАТУРА

- Архипов С. А., Волкова В. С., Бахарева В. А., Вотих М. Р., Левина Т. П., Кривоногов С. К., Орлова Л. А.** Природно-климатические изменения в Западной Сибири к 2000 г. // Геология и геофизика, 1994. – Т. 35, № 1. – С. 3–21.
- Архипов С. А.** Хронология геологических событий позднего плейстоцена Западной Сибири // Геология и геофизика, 1997. – Т. 38, № 12. – С. 1863–1884.
- Астахов В. И., Мангеруд Я.** Возраст каргинских слоев и климат океанической изотопной стадии 3 (ОИС 3) Квартер-2005. – Сыктывкар: Геопринт, 2005. – С. 24–25.
- Волкова В. С., Хазина А. Е., Бабушкин А. Е.** Стратиграфия плейстоцена Западной Сибири и палеоклиматическая шкала // Квартер, 2005. – Сыктывкар: Геопринт. – С. 77–78.
- Генкал С. И., Ярушина М. И.** Виды рода *Placoneis* (Bacillariophyta) в России: морфология, таксономия, распространение // Бот. журн., 2022. – Т. 107, № 2. – С. 159–172.
- Гричук В. П., Заклинская Е. Д.** Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. – М.: ОГИЗ, 1948. – 223 с.
- Дедусенко-Щеголева Н. Т., Голлербах М. М.** Желтозеленые водоросли Xanthophyta. / Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 5. – М.-Л.: АН СССР, 1962. – 271 с.
- Доктуровский В. С.** Метод анализа пыльцы в торфе // Известия научно-экспериментального торфяного института, 1923. – № 5. – С. 5–24.
- Забелина М. М., Киселёв И. А., Прошкина-Лавренко А. И., Шешукова В. С.** Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. – Л.: АН СССР, 1951. – 619 с.
- Косинская Е. К.** Флора споровых растений СССР. Конъюгаты или сцеплянки. Десмидиевые водоросли 5(2). – М.-Л.: АН СССР, 1960. – 706 с.
- Лаухин С. А.** Первые U/Th-даты континентальных отложений верхнего плейстоцена Сибири и их значение для стратиграфии и геохронологии // Вестник археологии, антропологии и этнографии, 2009. – № 9. – С. 167–182.
- Новенко Е. Ю.** Изменения растительности и климата Центральной и Восточной Европы в позднем плейстоцене и голоцене в межледниковые и переходные этапы климатических макроциклов. – М: ГЕОС, 2016. – 228 с.
- Coesel P. F. M., Meesters K. J.** Desmids of the lowlands. – Zeist: KNNW Publishing, 2007. – 351 p.
- Guiry M. D., Guiry G. M.** [1996–2023]. AlgaeBase. World-wide electronic publication. – National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org> (Accessed 21 April 2023).
- Kotárek J., Jankovská V.** Review of the green algal genus *Pediastrum*; implication for pollen analytical research. Bibliotheca Phycologica 108. – Berlin-Stuttgart: J. Cramer, 2001. – 127 p.
- Laukhin S. A., Maksimov F. E., Arslanov K. A., Kuznetsov V. Y., Chernov S. B., Shilova G. N., Velichkevich F. Y.** Geochronology and landscape-climatic environments of the Early Zyryanian Interstadial in West Siberia // Doklady Earth Sciences. – Springer Nature BV, 2008. – Vol. 421, № 1. – P. 796.
- Zinovyev E. V., Borodin A. V., Kotov A. A., Korkin S. E.** Palaeoenvironment of MIS5 in the North of Western Siberia, reconstructed on the sub-fossil insect, crustacean and plant macrofossil data // Quaternary International, 2019. – Vol. 534. – P. 171–182.