

ЖИЗНЕСПОСОБНЫЕ ПРОТИСТЫ В МНОГОЛЕТНЕМЁРЗЛЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СЕВЕРА ЯКУТИИ

Шатилович А.В.¹, Мыльников А.П.², Быкова С.В.³

Вечная мерзлота Арктики является уникальным криобанком генетических ресурсов. Многолетнемёрзлые толщи содержат значительное таксономическое разнообразие организмов, сохранивших жизнеспособность после сотен тысяч и миллионов лет криптобиоза в условиях отрицательных температур, отсутствия кислорода и доступной воды [Gilichinsky&Rivkina, 2011]. В мерзлоте, в числе прочих, обнаружены жизнеспособные гетеротрофные протисты: голые амёбы, жгутиконосцы и инфузории. Способность к образованию криптобиотических стадий, или цист покоя, позволяет почвенным протистам выживать при самых неблагоприятных условиях и расселяться на значительные территории. Описаны случаи сохранения цистами жизнеспособности после длительного (десятки лет) криптобиоза в сухих почвенных образцах. В 30-х годах прошлого века об обнаружении жизнеспособных цист простейших в мерзлых толщах Забайкалья сообщал Каптерев [1936, 1938]. Из образцов гренландского льда были выделены цисты инфузории *Colpoda steinii* и амёбы *Vahlkampfia* sp., сохранившие способность к эксцистированию после нескольких столетий криоконсервации [Marquardt et al., 1966]. Проведенные нами исследования показали, что почвенные простейшие способны сохранять жизнеспособность в многолетнемёрзлых отложениях севера Якутии в течение десятков и сотен тысяч лет.

Материал для палеобиологических исследований был получен в ходе экспедиций «Берингия», проводившихся с 1990 по 2015 г. на приморских низменностях восточного сектора Арктики от дельты Лены до низовьев Колымы в области сплошного распространения вечной мерзлоты. Образцы отложений отбирали из керна основных позднекайнозойских горизонтов в тундровой зоне на побережье моря Лаптевых (мыс Быковский) и Восточно-Сибирского моря (устья рек Хрома, Бол. Куропаточья, Бол. Чукочьа), а также в удаленных от моря районах (верховья р. Бол. Хомус-Юрях и среднее течение р. Бол. Чукочьа). Диапазоны среднегодовой температуры пород

¹ Шатилович А.В. — ИФХиБПП РАН, Пушино.

² Мыльников А.П. — ИБВВ РАН, Борок.

³ Быкова С.В. — ИЭВБ РАН, Тольятти.

от -9°C (в депрессиях) до -12°C (на водоразделах), максимальной глубины сезонного оттаивания суглинистых почв водоразделов — от 40 до 60 см. Образцы погребенных почв и ископаемых нор отбирали в современной зоне северной тайги в восточном борту Колымской низменности из обнажений позднеплейстоценового ледового комплекса Омолано–Ануйской едомы (Станчиковский яр и Дуванный яр). Среднегодовая температура пород составляет здесь $-5\dots-6^{\circ}\text{C}$, а глубина сезонного оттаивания достигает 80 см. Погребенные почвы в отложениях ледового комплекса представлены торфяником и профилями перегнойноторфянистой глеевой почвы [Губин, 1994]. Отбор образцов и их транспортировку осуществляли с соблюдением необходимого температурного режима и требований стерильности согласно методикам, многократно апробированным лабораторией криологии почв ИФХиБПП РАН при микробиологических исследованиях мёрзлых толщ [Shi et al., 1997].

Проанализировано более 300 образцов многолетнемёрзлых отложений разного возраста и генезиса, погребённых почв и нор ископаемых грызунов. Жизнеспособные цисты простейших обнаружены в эпикриогенных осадках голоценовых аласов и в синкриогенных отложениях позднеплейстоценового ледового комплекса. В керне скважин простейшие чаще (в 60% случаев) встречались в голоценовых осадках в первых метрах от дневной поверхности. Наибольшая глубина, с которой выделены жизнеспособные простейшие, равна 30 м. Простейшие обнаружены в 20% исследованных образцов ледового комплекса. В погребенных почвах и материале ископаемых нор встречаемость была значительно выше: 80% и 100%, соответственно. Длительность криптобиоза простейших в кровле вечной мерзлоты не превышает нескольких тысяч лет, а самые древние, единичные находки относятся к среднему плейстоцену — 200–300 тыс. лет. Комплексы жизнеспособной микрофауны, выделенной из мерзлоты, составляют 13 видов инфузорий (Рис.1) и 26 видов жгутиконосцев (Рис. 2). Основу видового разнообразия ископаемых простейших составляют эврибионтные виды, широко представленные в современных разнотипных водных и почвенных экосистемах.

Ряд факторов позволяет нам исключить возможность проникновения цист простейших в многометровые мёрзлые толщи из расположенной выше современной тундровой почвы. Глубина сезонного оттаивания в районах исследования может достигать 80 см, ниже этого уровня, в многолетнемёрзлых, прочно сцементированных льдом отложениях позднеплейстоценового ледового комплекса, влияние внешних факторов резко ограничено, отсутствуют водоносные горизонты и инфиль-

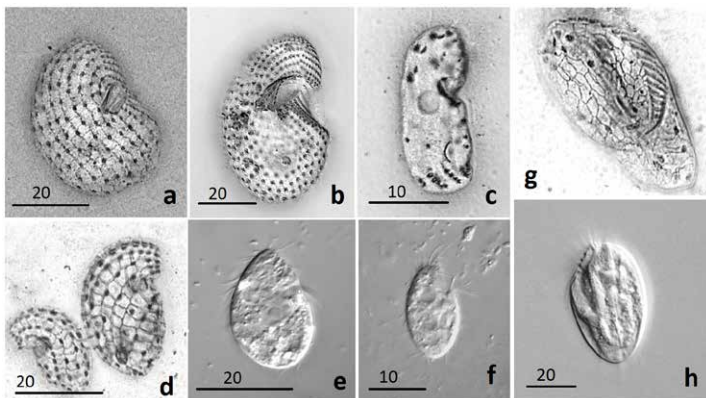


Рис. 1. Жизнеспособные инфузории, выделенные из многолетнемёрзлых отложений северной Якутии: a – *Colpoda inflata*; b – *Colpoda cucullus*; c – *Drepanomonas sphagni*; d,e – *Colpoda steinii*; f – *Cyrtolophosis mucicola*; g,h – *Euplotes moebius*. Scale bars: 10 μm (c,f), 20 μm (a,b,d,e,g,h)

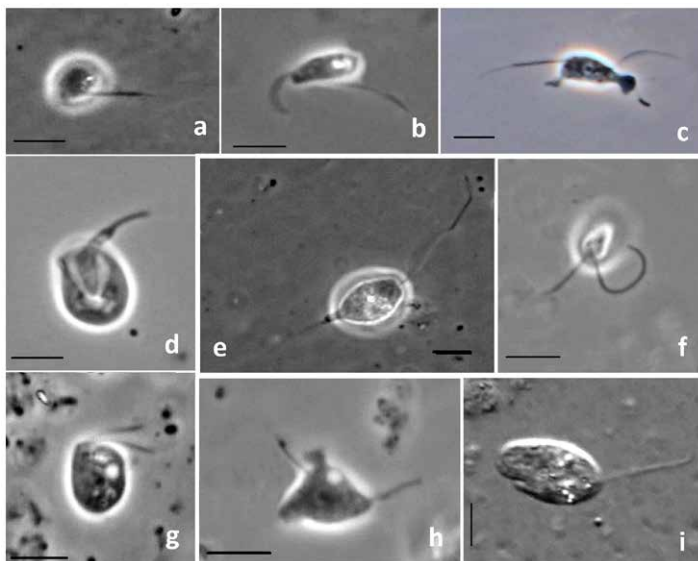


Рис. 2. Жизнеспособные гетеротрофные жгутиконосцы, выделенные из многолетне-мёрзлых отложений северной Якутии: a – *Allapsa* sp.; b – *Neobodo designis*; c – *Paracercomonas krugeri*; d – *Apusomonas aff. australiensis*; e – *Cercomonas directa*; f – *Neoheteromita globosa*; g – *Goniomonas truncata*; h – *Paracercomonas proboscata*; i – *Eocercomonas exploratorii*. Scale bars – 5 μm

трация. Термодиффузия и миграция цист с плёнками незамёрзшей воды, толщина которых не превышает нескольких нанометров, невозможна. Наличие мощных жильных льдов служит доказательством того, что вмещающие их породы являются синкриогенными и никогда не оттаивали. Возраст биоты в синкриогенных толщах соответствует возрасту осадочных пород [Гиличинский и др., 1989].

Подавляющее большинство обнаруженных жизнеспособных протистов получено из материала, обогащенного растительными остатками: погребенных эпигенных почв, древних нор грызунов, растительного детрита.

Криосинлитогенное почвообразование в позднем плейстоцене характеризовалось регулярным поступлением на поверхность небольших доз органо-минерального осадка и последующим воздействием на него комплекса почвенных процессов в резко континентальных климатических условиях развития тундростепных биоценозов [Губин, 2002]. Присутствие профилей погребенных почв в толще криопедолита указывает на наличие на стадии МИС-3 периодов снижения активности поступления минерального осадка на поверхность и усиления гидроморфизма. Стабилизация дневной поверхности в течение, как минимум, сотни лет, формирование органогенных горизонтов и стабильное увлажнение в летний период создавало предпосылки для образования в почвах развитых и устойчивых биоценозов, включающих и более богатую фауну протистов.

К особым палеоэкологическим объектам относятся ископаемые норы сусликов, принадлежащих одному из видов подрода *Urocitellus* [Губин и др., 2003]. Норы приурочены к толщам криопедолита каргинского возраста (стадия МИС-3) и связаны с периодами суровых климатических условий при широком распространении равнинных тундростепных ландшафтов. Занесенные с поверхности вместе с растительным материалом и шерстью крупных животных мамонтовой фауны, цисты простейших сохранялись в сухих, хорошо аэрируемых и защищенных от резких перепадов температур камерах, и относительно быстро переходили в мерзлое состояние. Наши исследования показали, что сообщества жизнеспособных простейших, выделенных из многолетнемерзлых позднеплейстоценовых погребенных почв и нор, отличаются более высоким видовым разнообразием и численностью по сравнению с вмещающими отложениями ледового комплекса. Предполагается, что растительные остатки являлись не только естественным убежищем для цист и спор древних организмов, но и выполняли криопротекторные функции.

Работавыполнена в рамках Госзаданий АААА-А18-118013190181-6 и при поддержке гранта РФФИ №17-04-01397.

Литература

- [1] *Gilichinsky D., Rivkina E.* Encyclopedia of Earth Sciences Series. B.: Springer, 2011. – P. 726–732.
- [2] *Marquardt W.C., Wang G.-T., Fennell D.I.* Preservation of *Colpoda stenii* and *Vahlkampfia* sp. from ice tunnel in Greenland // Trans. Amer. Microscop. Soc., 1966, vol. 85, No. 1, – P. 152–156.
- [3] *Shi T., Reeves R., Gilichinsky D., Friedman E.I.* // Microbiol. Ecol. 1997. №33. – P. 169–179.
- [4] *Гиличинский Д.А., Хлебникова Г.М., Звягинцев Д.Г., Федоров-Давыдов Д.Г., Кудрявцева Н.Н.* // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1989. №6. – С. 114–126.
- [5] *Губин С.В.* Позднеплейстоценовое почвообразование на приморских низменностях севера Якутии // Почвоведение, 1994, №8. – С. 5–14.
- [6] *Губин С.В.* Педогенез – составная часть механизма формирования отложений позднеплейстоценового ледового комплекса // Криосфера Земли, 2002, т. VI, №3. – С. 82–91.
- [7] *Губин С.В., Занина О.Г., Максимович С.В. и др.* Реконструкция условий формирования отложений ледового комплекса по результатам изучения позднеплейстоценовых нор грызунов // Криосфера Земли, 2003, т. VII, №3. – С. 13–22.
- [8] *Каптерев П.Н.* Об анабиозе в условиях вечной мерзлоты // Изв. АН СССР. Сер. биол., 1936, №6. – С. 1073–1088.