

## ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 551.89

### ОСОБЕННОСТИ СОХРАННОСТИ СПОР И ПЫЛЬЦЫ В ПОЧВАХ В ЗОНЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЯКУТИИ<sup>1</sup>

© 2022 г. Д. А. Лопатина<sup>а</sup>, О. Г. Занина<sup>б, \*</sup>, Д. Г. Фёдоров-Давыдов<sup>б</sup>

<sup>а</sup>Геологический институт РАН, Пыжевский пер., 7, Москва, 119017 Россия

<sup>б</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,  
ул. Институтская, 2, Пушино, 142290 Россия

\*e-mail: oksanochka\_zet@mail.ru

Поступила в редакцию 08.12.2021 г.

После доработки 22.01.2022 г.

Принята к публикации 24.02.2022 г.

Представлены результаты изучения качественного и количественного состава спор и пыльцы из почв в зоне распространения многолетнемерзлых отложений Якутии (Колымская низменность, п-ов Быковский, г. Якутск и его окрестности) с целью выявления основных криогенных нарушений палиноморф и анализа механизмов их криогенной деструкции. Исследованы качественный и количественный составы палиноморф, проанализированы закономерности формирования на них повреждений и механизм криогенной деструкции. Палинологические остатки с разрушениями химико-биотического типа (истончение оболочек, образование каверн в результате воздействия на них микробов) присутствуют единично или отсутствуют, вероятно, это обусловлено спецификой криолитозоны с преобладанием низких температур в течение года и в целом подавленной микробиологической активностью. Обычно на спорах и пыльце преобладают разрушения физического типа (разрывы и трещины). В пробах из минеральных горизонтов суглинистых почв содержание поврежденных палинологических остатков составляет 5–10%, в минеральных горизонтах песчаной почвы оно достигает 20%. В последних содержание пленок незамерзшей воды, выполняющих криопротекторную роль, низкое, соответственно палиноморфы больше подвержены разрушению растущими кристаллами льда при промерзании. Наиболее подвержена разрушению пыльца голосеменных относительно крупных размеров *Pinus* и *Larix*, стабильно фиксируются повреждения на преобладающей в спектрах пыльце *Poaceae* и *Betula* sect. *Nanae*, а также *Syringaceae* и *Ericaceae*; единично и спорадически — на пыльце второстепенных и единичных таксонов: *Salix*, *Duschekia*, *Asteraceae*, *Onagraceae*, *Ranunculaceae*, *Saryophyllaceae* и спорах *Sphagnum* и *Bryales*. Отсутствуют нарушения на пыльце трав *Valeriana*, *Polemonium*, *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Polygonaceae* и спорах *Lycopodium*, *Diphasiastrum*, *Selaginella* и *Polypodiaceae*. Полученные результаты могут быть использованы при реконструкции палеогеографических условий времени формирования погребенных почв, а также при изучении криоконсервации биологических объектов в районах многолетней мерзлоты.

**Ключевые слова:** тафономия, криосфера, повреждения палиноморф

**DOI:** 10.31857/S0032180X22080093

#### ВВЕДЕНИЕ

Для реконструкции истории ландшафтов, растительности и климата Якутии актуальным является изучение погребенных почв, в профилях которых отражаются следы различных природных воздействий [7–9, 24, 31]. Среди палеоэкологических методов исследований погребенных почв используется палинологический метод, что связано в первую очередь с массовой встречаемостью спор и пыльцы [9, 12]. Методологической основой реконструкций растительности и климата по

палинологическим данным является принцип актуализма, интерпретация ископаемых спектров базируется на сравнительной оценке их сходства с субфоссильными спорово-пыльцевыми спектрами. При анализе спектров арктических регионов необходимо принимать во внимание такие факторы, как ветровой занос палиноморф из южных районов, их сохранность, которая зависит как от биологических особенностей (пыльцевой продуктивности, морфологии), так и от локальных факторов (геоморфологического положения, гранулометрического состава, степени увлажнения почв, сплошного растительного покрова или открытости субстрата точки отбора пробы и др.), а также особенностей консервации палиноморф

<sup>1</sup> Дополнительная информация для этой статьи доступна по doi 10.31857/S0032180X22080093 для авторизованных пользователей.

при многократных циклах промерзания–оттаивания [3–6, 10, 11, 18, 20, 26, 27]. С одной стороны, слабая трансформация органической массы определяется спецификой криолитозоны с преобладанием низких температур в течение года и подавленностью микробиологической активности. При быстром захоронении и переходе в мерзлое состояние органические остатки хорошо сохраняются, что дает возможность использовать их при палеоэкологических исследованиях погребенных почв. С другой стороны, криогенные процессы, вероятно, в определенной мере “стирают” информацию о существовавших биоценозах, приводя к разрушению растительных остатков в почвах. Характер сохранности палиноморф является одним из ключей к обоснованной интерпретации спорово-пыльцевых спектров и реконструкции ландшафтов рассматриваемого региона. Вопросы сохранности спор и пыльцы в криолитозоне России освещены в монографии Васильчук [4]. Ей проанализированы виды разрушений и систематический состав поврежденных палинологических остатков из субфоссильных проб различных элементов рельефа.

Цель работы – изучение в качестве методической основы состава спор и пыльцы из современных почвенных профилей районов распространения многолетнемерзлых отложений Якутии, выявление основных криогенных нарушений палиноморф и анализ механизмов их криогенной деструкции. Полученные данные послужат дополнительным критерием при интерпретации результатов палинологического анализа и могут быть использованы при уточнении генезиса погребенных почв и реконструкции палеогеографических условий формирования четвертичных отложений криолитозоны.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Материалом для настоящей статьи послужили пробы из трех почв катены в районе обнажения Мамонтова Хайата п-ова Быковского, на берегу моря Лаптевых: разрезы 412-17 (71°46′59.4″ N, 129°24′39.1″ E), 131-19 (71°46′57.1″ N, 129°24′46.4″ E) и 132-19 (71°46′56.3″ N, 129°24′47.5″ E); пробы из двух почвенных профилей, соответствующих элементам нанорельефа в слабозаболоченном листовничном редколесье на правом берегу р. Колымы на 10 км ниже по течению от устья р. Омолон, разрез 103-16 (68°43′34.8″ N, 158°54′41.3″ E). На изучаемой территории Северной Якутии водоразделы сложены высокольдистыми отложениями позднеплейстоценовой едомной свиты. В качестве почвообразующих пород выступают сами отложения едомной свиты или продукты их голоценовой трансформации. Для сравнения взят материал из почвенных профилей Центральной Якутии, отобранный в 2005 г. С.В. Максимовичем:

в сосновом лесу в черте г. Якутска, разрез 253, (2°02′13″ N, 129°40′05″ E) и листовничнике в 1.5 км от г. Якутска, разрез 251 (62°02′34.6″ N 129°37′04.4″ E) (рис. 1, 2).

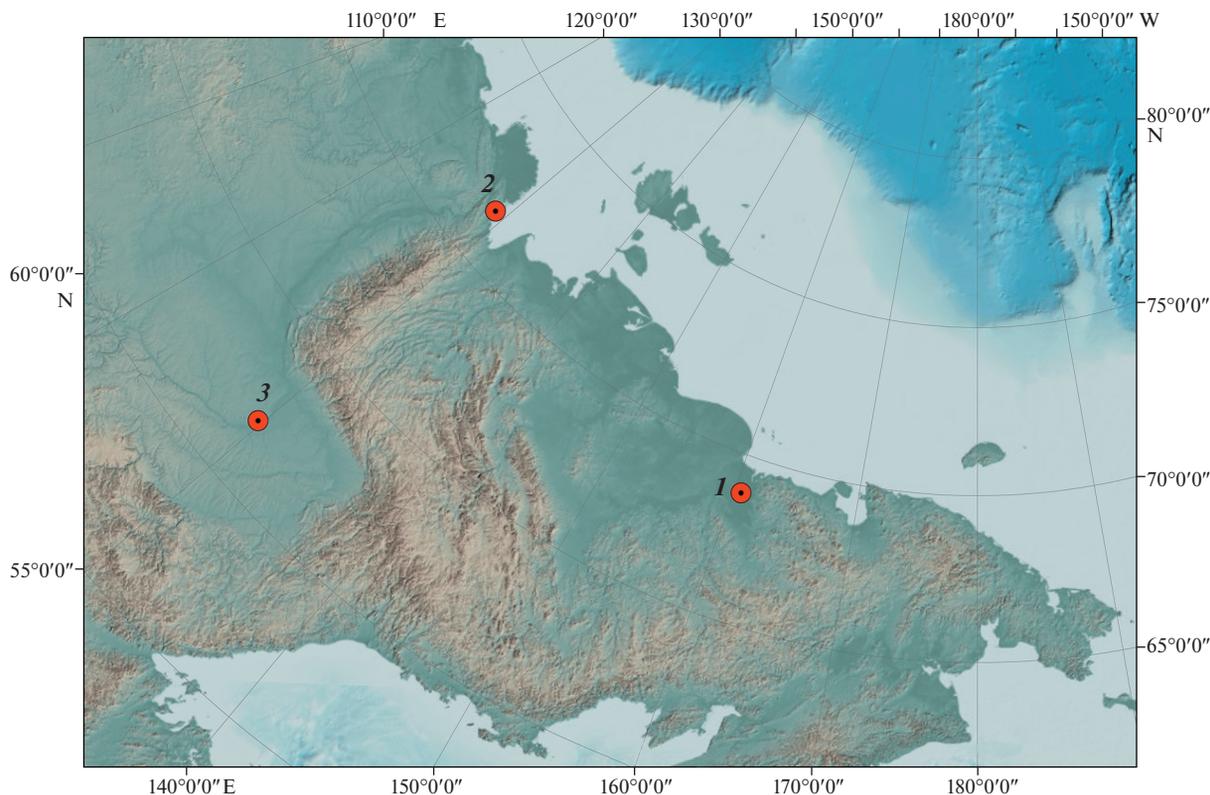
Разрез 412-17 заложен на вершине северного останца обнажения Мамонтова Хайата (абсолютная высота около 40 м), в кустарничково-травянистой лишайниково-зеленомошной тундре с участием сфагновых мхов. Нанорельеф бугорковатый, диаметр бугорков – 60–110 см, превышение бугорков – 15–35 см. Профиль почвы под бугорком организован по типу AYot–Bghi–Gox@–G<sub>1</sub>–G<sub>2</sub> (рис. 2). Подробное описание профилей представлено в табл. S1. Название почвы: глеезем потечно-гумусовый тяжелосуглинистый; Reductaquic Turbic Glacis Cryosol (Loamic).

Второй профиль по катене (разрез 131-19) заложен в средней части юго-юго-восточного пологого (7°–9°) склона вышеупомянутого останца. Нанорельеф бугорковатый, превышение вскрытого разрезом бугорка над западинками 17–20 см. Кустарничково-пушицево-осоковая зеленомошно-лишайниковая тундра с участием сфагнума. Профиль организован по типу AYot–Bcrn–Bg–G–Gox–G@. Название почвы: глеезем криотурбированный тяжелосуглинистый; Reductaquic Turbic Glacis Cryosol (Loamic).

Разрез 132-19 заложен в нижней трети того же склона. Кочкарный нанорельеф. Осоково-пушицевая зеленомошно-сфагновая заболоченная тундра с участием кустистых лишайников. Профиль организован по типу T–Tmr–Bcrn–Bg–Gox–G. Название почвы: торфяно-глеезем окисленно-глеевый тяжелосуглинистый; Histic Turbic Glacis Cryosol (Loamic).

Разрез 103-16 заложен в слабозаболоченном листовничнике на вершине едомного останца высотой около 20 м над урезом воды в р. Колыме. Среди кустарников отмечается береза растопыренная *Betula divaricata* Ledeb., среди кустарничков – багульник *Ledum palustre* L. и брусника *Vaccinium vitis-idaea* L., в нижнем ярусе преобладают кустистые лишайники и зеленые мхи. Диаметр бугорков от 0.5–2.5 м, их превышение над западинками составляет 10–25 см. Профиль на бугорке организован по типу O–TJ1–TJ2–Bhi–CR1–CR2. Название почвы: торфяно-криозем потечно-гумусовый легкосуглинистый; Folis Oxyaquic Turbic Glacis Cryosol (Siltic, Thixotropic). Профиль в западинке организован по типу T1\_T2–Bg1–Bg2. Название – торфяно-глеезем криотурбированный легкосуглинистый; Histic Reductaquic Turbic Glacis Cryosol (Siltic, Thixotropic).

Почвенный разрез 251 заложен в 1.5 км на запад от города по Вилюйскому шоссе, в разновозрастном листовничнике с *Larix cajanderi* Mayr с большой примесью березы *Betula platyphylla* Sukacz. Почвенный профиль имеет строение: O–Ah–



**Рис. 1.** Расположение изученных разрезов на территории Якутии: 1 – устье р. Омолон, Колымская низменность, 2 – разрез Мамонтова Хайата, п-ов Быковский, 3 – г. Якутск.

CRM1–CRM2–CRM1g–CRM2g. Почва криометаморфическая глееватая среднесуглинистая почва; Oxyaquic Turbic Cryosol (Loamic, Fluvic, Ochric, Raptic).

Почвенный разрез 253 заложен в одновозрастном сосновом бору, состоящим преимущественно из *Pinus sylvestris* L. Бор расположен в г. Якутск, в 3 км на северо-запад от Института мерзлотоведения. Почвенный профиль имеет строение: O–AU–BHF1–BHF2–BC. Название почвы: подбур иллювиально-железистый песчаный; Brunic Arenosol (Humic, Protosodic).

При обработке образцов для палинологического анализа использовали сепарационный метод Гричука [14, 16]. Количественную оценку палиноморф проводили путем их подсчета до 200 экземпляров на одну пробу, после чего препарат просматривали с целью обнаружения новых таксонов. При анализе сохранности палиноморф выделяли разрушения физического типа (разрывы и трещины оболочек спор и пыльцы) и химико-биотического типа (истончение экзины и каверны, образующиеся в результате воздействия на споры и пыльцу микробов). Электронные микрофотографии спор и пыльцы выполняли в Центре коллективного пользования ИФХиБПП РАН (Пушино) с использованием электронного микроскопа Vega Teskan 3 LSU и режима BSE. Анализы почвенных

образцов выполняли в ЦКП ИФХиБПП РАН (Пушино) по общепринятым методикам [2, 25]. Потери при прокаливании (ППП) определяли выдерживанием навески почвы при температуре 900°C в муфельной печи в течение 1 ч.  $pH_{H_2O}$  и  $pH_{KCl}$  определяли потенциометрически (рН метр Sartorius Basic Meter PB-11). Гидролитическую кислотность (Нг) определяли по Каппену – потенциометрически. Обменные основания вытесняли 1.0 н.  $CH_3COONH_4$  (метод Шеленберга). Обменные  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  определяли комплексонометрически,  $K^+$  и  $Na^+$  – методом пламенной фотометрии (пламенный фотометр BWB-XP Performance Plus, BWB-Technologies). Гранулометрический состав определяли пипеточным методом с обработкой образцов пирофосфатом натрия.

Термометрические исследования и определения глубины максимального сезонного протаивания почв выполняли в рамках международной программы “Циркумполярный мониторинг деятельного слоя” (Circumpolar Active Layer Monitoring – CALM).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Почвы п-ова Быковского имеют тяжелосуглинистый (на грани с глинистым) состав со значительным содержанием илистой фракции (табл. 1).



**Рис. 2.** Фото почв: а – глеезем потечно-гумусовый тяжелосуглинистый (разрез 412-17, вершина водораздела), б – глеезем криогурбированный тяжелосуглинистый (разрез 131-19, средняя часть склона), с – торфяно-глеезем окисленно-глеевый тяжелосуглинистый (разрез 132-19, нижняя часть склона), д – торфяно-криозем потечногумусовый легкосуглинистый (разрез 103-16 бугорок).

Величины потери при прокаливании говорят о повышенной гумусированности минеральных горизонтов (табл. 2). Этим почвам свойственны кислая реакция и высокая потенциальная кислотность. Степень насыщенности ППК основаниями в оторфованных серогумусовых горизонтах глееземов составляет всего 16–29%, а в нижележащем профиле – 25–36%. В торфяно-глееземе нижней части склона величины рН и степени насыщенности несколько больше. В составе оснований преобладают кальций и магний, в торфяно-глееземе доля магния уменьшается.

В подзоне арктической тундры (Мамонтова Хайата) среднеголетняя мощность сезонного слоя (СТС) на вершине водораздела составляет под бугорками 43.5 см, а под западинками – 25 см. Среднегодовая температура водораздельной почвы на глубине 20 см по среднеголетним данным равна  $-9.3^{\circ}\text{C}$ , средняя температура за летний период (июль–август)  $+0.4^{\circ}\text{C}$  (данный показатель в отдельные годы наблюдений был отрицательным за счет низких температур июня), температура в самом теплом месяце  $+1.8^{\circ}\text{C}$  (август), а в самом холодном  $-22.3^{\circ}\text{C}$  (февраль). На заболоченном едомном останце в подзоне северной тай-

ги (район устья р. Омолон) среднеголетняя мощность СТС под бугорками составляет 46 см, а под западинками – 31 см. Среднегодовая температура почвы на глубине 20 см по среднеголетним данным равна  $-3.4^{\circ}\text{C}$ , средняя температура за летний период  $+2.8^{\circ}\text{C}$ , температура в самом теплом месяце  $+4.1^{\circ}\text{C}$  (июль), а в самом холодном  $-11.5^{\circ}\text{C}$  (февраль).

**Палинологическая характеристика почвенных профилей в подзоне арктической тундры (п-ов Быковский).** Пробы из минеральных горизонтов почв катены, изученной на побережье моря Лаптевых, в районе обнажения Мамонтова Хайата, насыщены палиноморфами, в пробах из органо-генно-аккумулятивных горизонтов их количество единично. Все спектры из минеральных горизонтов описанных суглинистых почв имеют сходный состав, изменения качественного и количественного составов палиноморф по изученным профилям катены не установлены. Пыльца деревьев и кустарников, являющаяся, за исключением *Salix*, заносной, составляет более половины от всех подсчитанных палиноморф. Преобладает *Betula sect. Nanae* (19.5–32.5%) и *Alnus* (12–24.5%). Среди трав и кустарничков доминируют

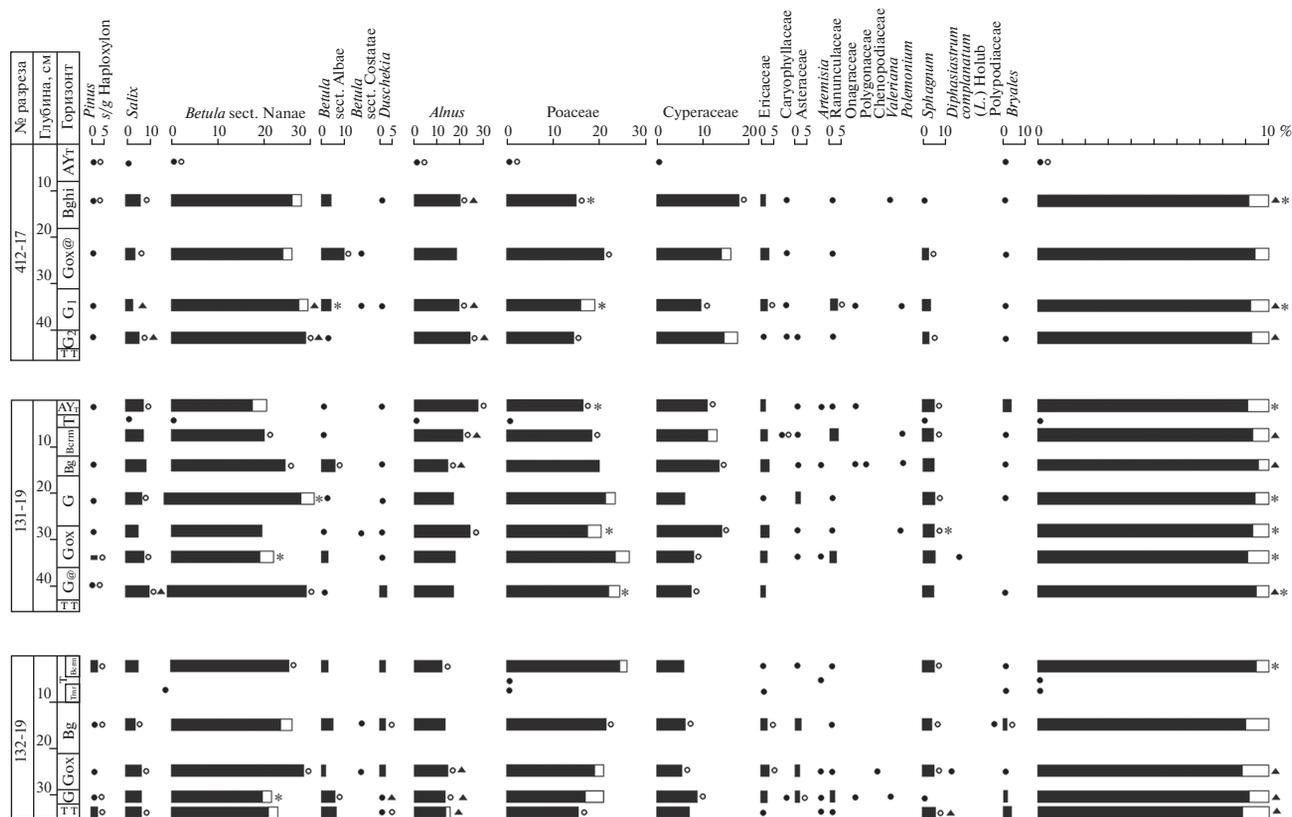
**Таблица 1.** Гранулометрический состав мелкозема тундровых почв п-ова Быковского, %

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, %; размер фракции, мм						Физический песок (>0.01 мм)	Физическая глина (<0.01 мм)
		1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001		
Разрез 412-17, вершина водораздела									
AYot	0–4	17.49	16.35	28.70	6.58	13.78	17.09	62.55	37.45
Bg,hi	4–12	2.81	16.44	29.05	10.88	19.64	21.18	48.30	51.70
Gox,@	18–30	3.63	19.73	30.03	6.80	19.19	20.62	53.39	46.61
G1	30–36	3.48	14.61	30.76	11.62	17.76	21.78	48.85	51.15
G2	40–44	3.82	19.19	30.55	8.58	16.79	21.08	53.55	46.45
Разрез 131-19, средняя часть склона									
Vcrm	3–10	5.95	18.01	31.12	8.25	16.38	20.30	55.08	44.92
Bg	10–15	5.53	14.87	32.00	10.53	18.61	18.45	52.40	47.60
Gox	15–25	4.24	19.06	29.26	9.44	16.63	21.37	52.56	47.44
G@	30–43	3.44	19.49	28.26	10.14	15.93	22.75	51.18	48.82
Разрез 132-19, нижняя часть склона									
Bg	12–18	5.88	19.37	29.37	10.66	19.12	15.60	54.62	45.38
Gox	18–25	8.75	14.63	30.05	10.52	17.41	18.63	53.44	46.56
G	25–32	5.07	20.09	30.20	8.49	19.18	16.98	55.35	44.65

**Таблица 2.** Показатели химического состояния тундровых почв п-ва Быковского

Горизонт	Глубина, см	ППП, %	рН		Нг, смоль <sup>+</sup> /кг	Обменные основания, смоль <sup>+</sup> /кг			
			H <sub>2</sub> O	KCl		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Разрез 412-17, вершина водораздела									
AYot	0–4	13.06	4.07	3.25	16.98	1.49	1.23	0.09	0.46
Bg,hi	4–12	7.14	4.66	3.51	8.61	1.95	1.49	0.09	0.15
Gox,@	18–30	7.29	4.57	3.48	9.00	1.56	1.16	0.08	0.14
G1	30–36	6.60	4.49	3.38	8.59	2.13	1.08	0.12	0.28
G2	40–44	7.33	4.46	3.42	8.20	2.31	1.14	0.12	0.41
Разрез 131-19, средняя часть склона									
AYot	0–3	Не опр.	4.76	Не опр.	13.18	2.59	2.04	0.14	0.58
Vcrm	3–10	»	4.85	3.61	9.43	2.44	1.70	0.07	0.21
Bg	10–15	»	4.88	Не опр.	9.23	2.76	1.88	0.11	0.17
G	15–25	»	4.98	3.66	8.27	3.69	2.34	0.15	0.15
Gox	15–25	»	Не опр.	Не опр.	8.64	2.92	2.03	0.11	0.12
	25–36	»	4.95	3.67	9.02	2.93	1.88	0.10	0.18
G@	30–43	»	4.69	3.60	9.55	2.87	1.14	0.13	0.32
Разрез 132-19, нижняя часть склона									
T	0–6	Не опр.	Не опр.	Не опр.	46.50	Не опр.			
Tmr	8–11	»	4.75	»	31.48	18.25	11.46	0.33	0.94
Vcrm	6–11	»	5.04	»	8.30	5.47	3.59	0.13	0.25
Bg	12–18	»	5.08	»	6.83	4.31	2.75	0.11	0.21
Gox	18–25	»	4.98	»	8.62	3.39	2.14	0.1	0.18
G	25–32	»	4.97	»	8.83	3.59	1.99	0.19	0.18

Примечание. ППП – потери при прокаливании, Нг – гидролитическая кислотность.



Условные обозначения: ● – единичное содержание таксонов ■ – % содержание неповрежденных палиноморф □ – % содержание палиноморф с повреждениями физического типа  
 ○ – единичное содержание палиноморф: ○ – с повреждениями физического типа ▲ – с истончением экзины \* – с кавернами  
 т – сезонно-талый слой

Рис. 3. Содержание спор и пыльцы в почвенных профилях катены на п-ове Быковский.

Роосеае и Сурегасеае, пыльца разнотравья единична. Содержание спор (*Sphagnum*, Bryales) составляет в среднем 5–6%. В целом пыльца во всех спектрах хорошей сохранности, среди поврежденных палиноморф преобладают разрушения физического типа (разрывы и трещины) (4.5–10% (в среднем 7%) от общего числа подсчитанных зерен). Практически во всех спектрах с повреждениями этого типа определена пыльца *Betula sect. Nanae*, Роосеае и Сурегасеае (до 4%), единично зафиксирована пыльца *Alnus*, *Salix*, *Pinus* и споры *Sphagnum*. Содержание палиноморф с истончением экзины составляет 0.5–3%. Обычно это единичные экземпляры *Sphagnum*, *Salix* и заносной пыльцы сем. Betulaceae – *Alnus*, *Duschekia* и *Betula sect. Nanae*. Палиноморфы с кавернами зафиксированы в количестве 0.5–2%: как правило, это единичные пыльцевые зерна *Betula sect. Nanae*, *B. sect. Albae*, Роосеае, споры *Sphagnum* (рис. 3).

**Палинологическая характеристика почвенных профилей в подзоне северной тайги.** Споры и пыльца изучены из двух почвенных профилей, соответствующих элементам нанорельефа (бугорку и западинке) в слабозаболоченном лиственничном редколесье на правом берегу р. Колымы на 10 км

ниже по течению от устья р. Омолон. В профиле под бугорком установлено, что только два верхних торфяных горизонта насыщены палиноморфами. В спектре из горизонта Т<sub>1</sub> доминирует пыльца семейств Роосеае (26%) и Егисасеае (26.5%); в заметном количестве содержится пыльца деревьев и кустарников: *Betula sect. Nanae* (13%), *Larix* (10%) и *Alnus* (7.5%). Спектр из горизонта Т<sub>2</sub> резко отличается от такового горизонта Т<sub>1</sub>; в нем доминирует пыльца *Betula sect. Nanae* (65%). В горизонте растительного опада (О) и в суглинистых горизонтах B<sub>hi</sub>, CR<sub>1</sub> и CR<sub>2</sub> палиноморфы единичны (рис. 4).

В верхнем торфяном горизонте Т<sub>1</sub> установлено много пыльцы с разрывами (13.5%) и кавернами (12.5%). Наибольшее число зерен с разрывами определено для *Larix* (4%) и Роосеае (5%). Пыльца с кавернами встречена в приблизительно одинаковом количестве (2.5–3.5%) у *Pinus s/g* Наploxylon, Роосеае, Егисасеае и *Larix*. В горизонте Т<sub>2</sub> содержание палиноморф с повреждениями физического типа сокращается до 3.5%, повреждения химико-биотического типа на спорах и пыльце здесь не зафиксированы. Единичные экземпляры палиноморф с разрывами и трещинами (*Larix*,

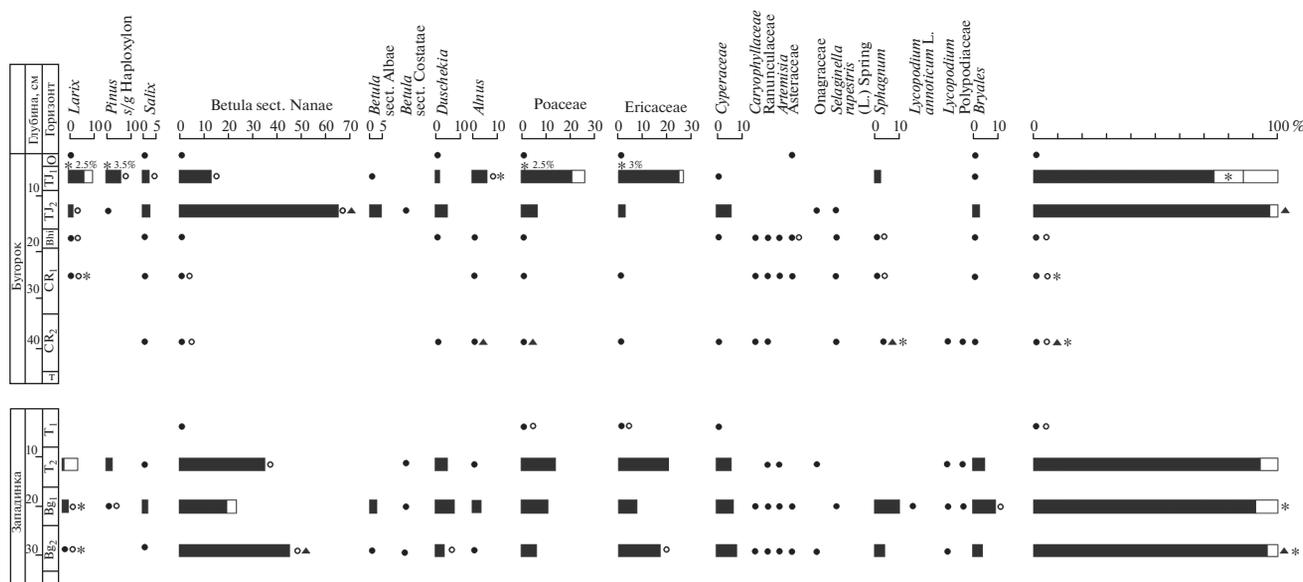


Рис. 4. Содержание спор и пыльцы в почвенных профилях в районе устья р. Омолон, Колымская низменность.

*Betula* sect. *Nanae*, *Ericaceae*, *Asteraceae*, *Sphagnum*), истончением экзины (*Betula* sect. *Nanae*, *Alnus*, *Poaceae*, *Sphagnum*) и кавернами (*Larix*, *Ericaceae*, *Sphagnum*) зафиксированы в горизонтах Bhi, CR<sub>1</sub> и CR<sub>2</sub>, не насыщенных палинологическими остатками.

В профиле в западинке в отличие от такового под бугорком верхний горизонт T<sub>1</sub> практически не содержит палинологических остатков, пробы из горизонтов T<sub>2</sub>, Bg<sub>1</sub> и Bg<sub>2</sub> ими насыщены. Доминантом во всех спектрах является пыльца *Betula* sect. *Nanae*, в группе трав и кустарничков значительно содержание *Poaceae* и *Ericaceae*. Количество пыльцы с разрывами составляет 4–9%, наблюдается незначительное уменьшение ее содержания с глубиной. Единично определены пыльцевые зерна *Larix* с кавернозными повреждениями.

**Палинологическая характеристика почвенных профилей Центральной Якутии.** Мацераты проб из профиля, изученном в лиственничнике под Якутском, неравномерно насыщены палинологическими остатками. Спорово-пыльцевые спектры из двух проб, отобранных из верхних горизонтов O и A<sub>n</sub> близки по составу и характеризуются преобладанием пыльцы деревьев: *Betula platyphylla* Sukaczew, произрастающей в лиственничнике, и заносной пыльцы *Pinus sylvestris* L. Содержание пыльцы *Larix* менее 10%. Доля пыльцы с разрывными нарушениями в рассматриваемых спектрах составляет соответственно 13 и 14%, доминирует *Pinus sylvestris*. От этих спектров резко отличается спектр из горизонта CRM<sub>1</sub>, в котором более половины от суммы всех палиноморф составляет переотложенная пыльца, среди которой преобладают различные представители сем. Pinaceae: *Pi-*

*cea*, *Pinus s/g* *Haploxyylon*, *Pinus s/g* *Diploxyylon*, с экзиной относительно темного цвета, имеющей “вытертый” облик и значительными повреждениями, преимущественно с трещинами. Доля пыльцы с разрушениями физического типа среди переотложенной пыльцы составляет 60%. Вероятно, присутствие переотложенной пыльцы обусловлено высокой мощностью СТС, включающего дочетвертичные отложения, являющиеся источником аллохтонного материала, привносимого в почвенные горизонты в результате криотурбации из нижних горизонтов. На значительный уровень сезонного переувлажнения горизонта указывает высокое содержание в спектрах обрывков колоний зеленых водорослей р. *Botryococcus*. В горизонтах CRM<sub>2</sub> и CRMg<sub>2</sub> палиноморфы единичны. В горизонте CRMg<sub>1</sub> преобладает пыльца *Pinus sylvestris*, *Larix* представлен в количестве 6%, доля пыльцы с разрывными нарушениями составляет 18.5%, преимущественно за счет *Pinus sylvestris* (рис. 5).

В профиле, исследованном в сосновом лесу в черте г. Якутска, споры и пыльца обнаружены лишь в пробах из двух органо-аккумулятивных горизонтов O и AU. Спектры характеризуются преобладанием пыльцы *Pinus sylvestris*, доминирующей в древостое. В нижележащих минеральных горизонтах палиноморфы отсутствуют.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В изученных спектрах палиноморфы с разрушениями химико-биотического типа (истончение оболочек спор и пыльцы, образование каверн в результате химического воздействия на



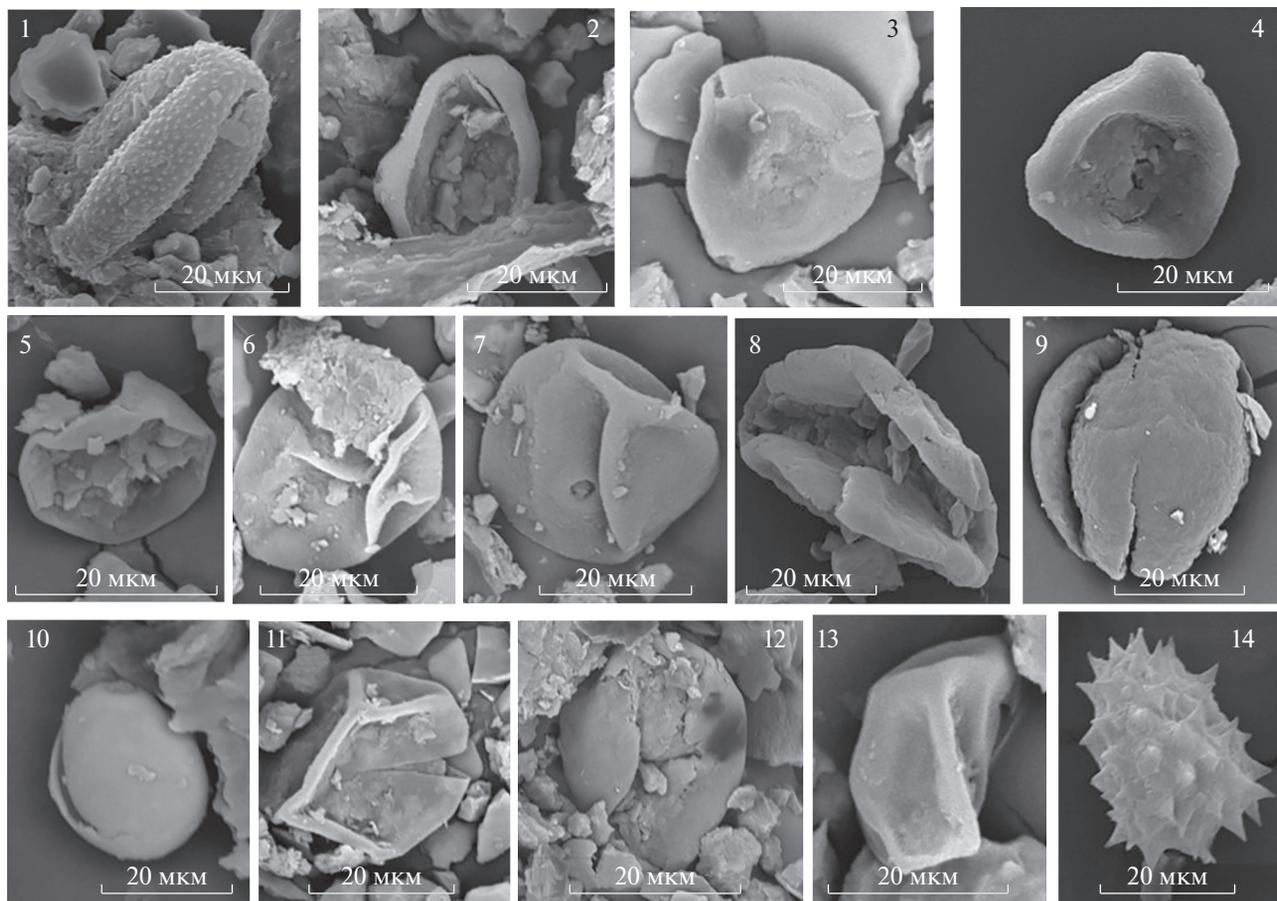
нии Мамонтова Хайята п-ова Быковского. Вероятно, этому способствовал термический режим рассматриваемых почв, стабильно низкие температуры в летнее ( $0.4^{\circ}\text{C}$ ) и зимнее время ( $-22.3^{\circ}\text{C}$ ), благоприятные для криоконсервации палиноморф. Попадавшие на поверхность почвы споры и пыльца оказывались в условиях низких температур, замерзали и соответственно лучше сохранялись. Кроме того, относительно высокое содержание в суглинках пленочной влаги играло криопротекторную роль. Для ряда проб этой катены выполнен анализ гранулометрического состава почв. Установлено, что при суммарном содержании мелкопесчаной ( $0.25-0.05$  мм) и крупнопылевой ( $0.05-0.01$  мм) фракций от 45 до 50% количество палиноморф с повреждениями физического типа колеблется в интервале 4.5–10%. Обращает на себя внимание практически полное отсутствие палиноморф в обогащенных органическим материалом горизонтах исследованных профилей. Анализ гранулометрического состава пробы из горизонта АУот разреза 412-17 показывает суммарное содержание фракций крупного и среднего песка (17.5%); можно предположить, что эта величина является критической для сохранности палинологических остатков. Кроме того, для указанных органо-аккумулятивных горизонтов характерна повышенная гидролитическая активность микрофлоры, уничтожающей растительные остатки, в том числе споры и пыльцу.

В пробах из почвенных профилей лиственничника в правобережье р. Колымы зафиксирована неравномерная насыщенность палинологическими остатками и разная сохранность этих остатков. Здесь детально изучено распределение спор и пыльцы в почвах под элементами криогенного бугорковатого нанорельефа: бугорками и западинками. Большое количество палиноморф с повреждениями установлено для горизонта Т<sub>1</sub> профиля под бугорком. Здесь зафиксировано максимальное для исследованных проб содержание палиноморф с кавернами (12.5%), обусловленными действием на них микрофагов, а также с разрывами и трещинами (13.5%). Возможно, что попадающая в осадок пыльца разбухала в условиях переувлажненного деятельного слоя заболоченного лиственничника. Затем, в течение холодного периода происходило ее подсушивание и вымораживание. При повторении этих циклов на оболочках спор и пыльцы происходило образование разрывов и трещин. В горизонте Т<sub>2</sub> отмечено резкое сокращение поврежденной пыльцы (3.5% с разрывами). В минеральных горизонтах профиля под бугорком палинологические остатки единичны, возможно, это происходит из-за сноса органического материала в понижения рельефа — западинки. Здесь происходит его глубокое проникновение в минеральную толщу по криогенным трещинам. Образцы из профиля под западинкой насыщены спорами и

пыльцой за исключением самого верхнего горизонта Т<sub>1</sub>, содержание поврежденных форм преимущественно с разрывными нарушениями составляет 4–9%. Мощность СТС в западинках меньше, чем под бугорками. Большая инерционность СТС отрицательных форм нанорельефа к изменению климатических условий обычно определяется его большей влажностью и развитым моховым покровом [21]. Для почв межбугорковых западинок характерны температуры ниже  $5^{\circ}\text{C}$  на глубине 20 см и значительно меньшая годовая температурная амплитуда [22, 23]. Возможно, именно стабильный низкотемпературный режим, несмотря на переувлажнение, способствовал лучшей сохранности палинологических остатков в профиле под западинкой по сравнению с профилем под бугорком. Единичное содержание спор и пыльцы в самом верхнем горизонте почвы западинки, вероятно, обусловлено либо гидролитической активностью микрофлоры, либо переносом их водой в нижележащие горизонты почвенного профиля.

Переходя к анализу качественного состава поврежденных палинологических остатков, отметим, что почти во всех спектрах проб из минеральных горизонтов суглинистых почв катены на п-ове Быковском в количестве 0.5–4% отмечена пыльца *Betula sect. Nanae*, *Рoaceae* и *Cyperaceae* с разрывами и трещинами (рис. 6). Споры *Sphagnum*, а также пыльца *Pinus s/g Haploxyton*, *Salix* и разнотравья с повреждениями этого типа отмечены единично и спорадически. Содержание палиноморф с истончением экзины (*Sphagnum*, *Salix* и заносных таксонов березовых) составляет 0.5–3%. С кавернами зафиксированы единичные экземпляры пыльцы *Betula sect. Nanae*, *B. sect. Albae*, *Рoaceae* и *Sphagnum*. В почвенных профилях из лиственничника в районе устья р. Омолон с разрывными нарушениями (3–9%) обычны пыльцевые зерна *Larix*, *Ericaceae* относительно крупных для данного семейства размеров (<50 мкм) и *Рoaceae*. Каверны зафиксированы преимущественно на пыльце *Larix*, лишь в пробе из горизонта Т<sub>1</sub> под бугорком определена с кавернами пыльца *Pinus s/g Haploxyton*, *Alnus*, *Рoaceae* и *Ericaceae*. Наибольшее число разрывов и трещин зафиксировано для пыльцы *Pinus sylvestris* из почвенных профилей, изученных в лиственничнике (разрез 251) и сосновом бору (разрез 253) окрестностей г. Якутска. Она присутствует практически во всех пробах в количестве до 16.5%.

По количеству поврежденных пыльцевых зерен доминантами являются *Larix* и *Pinus*. В пробах из материала почвенных профилей лиственничников пыльца *Larix* содержится в спектрах в незначительном количестве (до 10%), что отмечалось в литературе для районов распространения лиственничных лесов [1, 17, 29, 30]. Пыльца *Larix*



**Рис. 6.** Пыльца из почвенного профиля разрез 131-19: 1, 14 – Asteraceae; 2–4 – *Betula* sect. *Nanae*; 5 – Роасеае с разрывами; 6, 7, 13 – Роасеае без повреждений; 8 – Сурерасаеае; 9 – *Pinus* с трещинами; 10–12 – Роасеае с трещинами.

в изученных пробах обычно разорвана и часто с кавернами.

Пыльца *Pinus s/g* *Harpoloxylon*, вероятно, относящаяся к кедровому стланнику, не произрастающему в районе устья р. Омолон и на п-ове Быковском, единично встречается в почвенных профилях из этих районов, как правило, она с разрывами и трещинами. Пыльца сосны *Pinus sylvestris*, обычной в районе Якутска, но также не произрастающей непосредственно в лиственничнике, составляет около трети от общей суммы пыльцы в спектрах из двух верхних горизонтов почвенного профиля разрез 251, причем значительная ее часть разорвана и с трещинами (32 и 18% от всей пыльцы данного таксона). Обращает на себя внимание, что количество пыльцы березы, присутствующей в подросте лиственничника под Якутском, в пробах из двух верхних горизонтов профиля разрез 251 сопоставимо с содержанием пыльцы сосны, при этом все зерна хорошей сохранности, разрывы отмечены лишь единично. В спектре из горизонта CRM1 содержание пыльцы сосны обыкновенной уменьшается за счет появления в расчетной сумме таксонов переотложенной пыльцы, но при этом 10%

от всех подсчитанных экземпляров повреждено. Среди переотложенных палиноморф преобладают сосновые, преимущественно разорванные (более половины пыльцы ели и более трети пыльцы сосны). В спектре из горизонта CRMg1 рассматриваемого профиля пыльца *Pinus sylvestris* доминирует, при этом доля экземпляров с разрушениями физического типа составляет приблизительно 20%. В спектрах из почвы соснового леса около г. Якутска количество пыльцы сосны составляет более 80%, но при этом повреждено 6–8% зерен. На основании проанализированного материала можно заключить, что пыльца сосны сильно подвержена разрушению, причем часть ее подвергается деструкции уже на стадии транспортировки.

Степень устойчивости палиноморф зависит от их размера, больше подвержены разрушению крупные споры и пыльца [15]. В исследованном материале из почвенных профилей это преимущественно пыльца *Larix* и *Pinus* сравнительно крупных размеров, а также относительно крупные (более 50 мкм) пыльцевые зерна *Ericaceae* и *Onagraceae*. Мусина и Сахибгареев [13] отмечают, что устойчивость к физическому типу разрушений

возрастает в ряду пыльца хвойных → пыльца покрытосеменных → споры. Результаты исследований почвенных профилей подтверждают этот вывод: пыльца представителей хвойных: лиственницы и сосны — является наиболее уязвимой к повреждениям подобного рода.

По частоте встречаемости пыльцы с повреждениями доминирует пыльца березы, которая зафиксирована в относительно небольшом количестве (до 4%), но практически во всех тундровых спектрах. В данных спектрах пыльца *Betula sect. Nanae* встречается в массовом количестве, соответственно располагаем большим числом зерен для статистического анализа по сравнению с второстепенными и единично встречающимися таксонами. Следует подчеркнуть, что преобладающая в спектрах из почв катены п-ова Быковского пыльца *Betula sect. Nanae* так же, как пыльца *Alnus*, вероятно, имеет заносное происхождение. При этом пыльцевые зерна карликовой березы с разрушениями физического типа определены во всех пробах в количестве до 4%, а пыльца ольхи с повреждениями этого типа зафиксирована в пробах спорадически в виде единичных зерен, что свидетельствует о ее лучшей сохранности в почвах данного региона. Как отмечалось выше, палиноморфы с истончением экзины в спектрах из изученных проб единичны, но при этом фиксируются именно на пыльце *Betula sect. Nanae* и *Alnus*.

Постоянное присутствие (до 5%) пыльцевых зерен с разрывами и трещинами зафиксировано для пыльцы Роасеае, обычно доминирующей в тундровых спектрах, а также для преобладающих в спектрах из почв катены на п-ове Быковском Сурегасеае и Егисеае в спектрах из профилей в районе р. Омолон. Спорадически зафиксированы разрывы и трещины на пыльце второстепенных и единичных таксонов: *Salix*, *Duschekia*, *Asteraceae*, *Onagraceae*, *Ranunculaceae*, *Caryophyllaceae*, *Bryales* и *Sphagnum*. Для единичных экземпляров *Sphagnum* отмечено истончение экзины. Единично встречающаяся в спектрах пыльца трав *Valeriana*, *Polemonium*, *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Polygonaceae* и споры *Lycopodium*, *Diphasiastrum*, *Selaginella* и *Polypodiaceae* имеют хорошую сохранность, без каких-либо повреждений.

Таким образом, ряд увеличения устойчивости спор и пыльцы к повреждениям физического типа (разрывам и трещинам) в спектрах проб из почв в зоне распространения многолетнемерзлых отложений может быть выстроен следующим образом. Среди доминантов обычно зафиксирована пыльца *Pinus*, *Larix*, *Betula sect. Nanae*. Далее по степени устойчивости расположена пыльца Роасеае, Сурегасеае и Егисеае. Единично определены поврежденная пыльца *Salix*, *Alnus*, *Duschekia*, *Asteraceae*, *Onagraceae*, *Ranunculaceae*, *Caryophyllaceae*, *Bryales* и споры *Sphagnum*. Не зафиксиро-

ваны повреждения на пыльце трав *Valeriana*, *Polemonium*, *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Polygonaceae* и спорах *Lycopodium*, *Diphasiastrum*, *Selaginella* и *Polyodiaceae*.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований расширены представления о тафономии палиноморф и возможности их криоконсервации в почвах криолитозоны Якутии, установлены закономерности формирования поврежденных палиноморф, проанализирован механизм их криогенной деструкции. Установлено, что, с одной стороны, преобладающие разрушения палинологических остатков физического типа (разрывы и трещины), вероятно, связаны с многократными циклами промерзания—оттаивания в верхних горизонтах почвы в весенне-осенний период. При переходе нижних горизонтов почв в стабильное многолетнемерзлое состояние отрицательные температуры не являются экстремальным фактором, а напротив, способствуют длительной сохранности спор и пыльцы.

Палинологические остатки с разрушениями химико-биотического типа (истончение оболочек, образование каверн в результате химического воздействия на них микробов) присутствуют единично или отсутствуют, что, вероятно, обусловлено спецификой криолитозоны с преобладанием низких температур в течение года и в целом подавленной микробиологической активностью.

В большинстве изученных проб на спорах и пыльце преобладают разрушения физического типа (разрывы и трещины). Единичное содержание или даже отсутствие спор и пыльцы, значительное (около 20%) количество форм с повреждениями физического типа зафиксировано в песчаном подбуре и среднесуглинистой криометаморфической почве около Якутска. Обычно они в большей степени подвержены колебаниям температур и лучше прогреваются. Содержание пленок незамерзшей воды в почвах данного состава низкое, соответственно палиноморфы также подвергаются разрушению растущими кристаллами льда при промерзании. В минеральных горизонтах суглинистых почв палиноморфы обычно удовлетворительной сохранности, количество палиноморф с повреждениями физического типа не превышает 10%.

По количеству повреждений пыльцевых зерен в спектрах почв из районов распространения многолетней мерзлоты доминирует пыльца относительно крупных размеров голосеменных: *Pinus* и *Larix*, по частоте встречаемости *Betula*, которая обычно преобладает в спектрах. Далее по степени устойчивости следует пыльца трав сем. Роасеае, также доминирующая в спектрах и сем. Сурегасе-

ае и Ericaceae, представленные в массовом количестве соответственно в спектрах почв с п-ова Быковский и лиственничника близ устья р. Омолон. Единично определены поврежденная пыльца *Salix*, *Alnus*, *Duschekia*, Asteraceae, Onagraceae, Ranunculaceae, Caryophyllaceae, Bryales и споры *Sphagnum*. Отсутствуют нарушения на пыльце трав *Valeriana*, *Polemonium*, *Artemisia*, Chenopodiaceae, Polygonaceae и спорах *Lycopodium*, *Diphasiastrum*, *Selaginella* и Polyodiaceae.

Полученные данные могут быть использованы в качестве индикаторов палеоландшафтных и палеоклиматических условий формирования погребенных почв и вмещающих их отложений, а также при исследовании механизмов криоконсервации биологических объектов в районах многолетней мерзлоты.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Сбор фактического материала, исследования сохранности палиноморф выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00559-А. Анализы почвенных образцов выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-05003 МК. Изучение современных почв Якутии проведено в рамках госзадания ИФХиБПП РАН, статистический анализ палинологических данных и синтез материалов – в рамках госзадания ГИН РАН.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Таблица S1. Описание почв.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андерсон П.М., Ложкин А.В., Белая Б.В., Стеценко Т.В. Современные спорово-пыльцевые спектры горных районов рек Колыма и Индигирка по данным озерных осадков // Четвертичная палеогеография Берингии. Магадан, 2002. С. 28–39.
- Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1962. 491 с.
- Васильчук А.К. Особенности тафономии спор и пыльцы в Арктике // Известия РАН. Сер. биологическая. 2005. № 2. С. 240–252.
- Васильчук А.К. Особенности формирования палиноспектров в криолитозоне России. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 245 с.
- Васильчук А.К. Региональная и дальнезонасная пыльца в тундровых палиносpectрах // Известия РАН. Сер. биологическая. 2005. № 1. С. 1–12.
- Васильчук А.К., Васильчук Ю.К. Палиноспектры ледников Полярного Урала // Арктика и Антарктика. 2020. № 4. С. 1–14.
- Губин С.В. Педогенез – составная часть механизма формирования отложений позднеплейстоценового ледового комплекса // Криосфера Земли. 2002. Т. VI. № 3. С. 82–91.
- Губин С.В., Занина О.Г. Изменение почвенного покрова в ходе формирования отложений ледового комплекса на Колымской низменности (часть 1) // Криосфера Земли. 2013. Т. XVII. № 4. С. 48–56.
- Губин С.В., Луначев А.В. Подходы к выделению и изучению погребенных почв в мерзлых отложениях ледового комплекса // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI. № 2. С. 79–84.
- Кац В.Я., Федорова Р.В. О возможности использования спорово-пыльцевого анализа при проведении исследований в высокоширотных районах Арктики // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1983. Т. 88. № 2. С. 63–70.
- Лопатина Д.А., Занина О.Г. Субрецентные спорово-пыльцевые спектры низовьев р. Колыма и их значение для реконструкции четвертичной палеогеографии региона // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2016. № 2. С. 103–112.
- Лопатина Д.А., Занина О.Г. Условия формирования палеопочв времени МИС 3 Колымской низменности по данным палинологического и фитолитного методов // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2020. Т. 28. № 3. С. 1–14.
- Мусина Г.В., Сахибгареев Р.С. Разрушение оболочек пыльцы и спор в процессе литогенеза // Стратиграфия и корреляция осадков методами палинологии. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. С. 154–160.
- Палеопалинология / Под ред И.М. Покровской. Л.: Недра, 1966. Т. I. 352 с.
- Петросьянц М.А., Овнатова Н.С., Мухина Г.В. Микрофоссилии в геологической практике: их роль в определении обстановок древнего осадконакопления // Итоги науки и техники. Сер. Общая геология. Т. 27. М., 1990. 160 с.
- Пыльцевой анализ / Под ред. А.Н. Криштофович М.: Госгеолитиздат, 1950. 571 с.
- Рашке Е.А., Савельева Л.А. Субрецентные спорово-пыльцевые спектры и современная растительность дельты реки Лена, Российская Арктика // Сибирский экологический журнал. 2017. № 4. С. 456–472.
- Руденко О.В., Васильчук А.К., Енина В.В. Сравнительная характеристика состава субрецентных палиноспектров в донных осадках моря Лаптевых и ледовых комплексах Сибирской Арктики // Арктика и Антарктика. 2017. № 3. С. 1–16.
- Тюремнов С.Н., Березина Н.А. Сохранность и разрушение пыльцы – важный фактор формирования спорово-пыльцевого спектра // Методические вопросы палинологии. Тр. III Палинологической конф. М. 1973. С. 5–8.
- Украинцева В.В., Поспелов И.Н. О связях состава растительности и состава спорово-пыльцевых спектров поверхностных проб (устье р. Оленья, полуостров Таймыр) // Известия РАН. Сер. Географическая. 2006. № 3. С. 97–109.

21. Федоров-Давыдов Д.Г., Давыдов С.П., Давыдова А.И., Зимов С.А., Мергелов Н.С., Остроумов В.Е., Сороко-виков В.А., Холодов А.Л., Митрошин И.А. Простран-ственно-временные закономерности сезонного протаивания почв на севере Колымской низмен-ности // Криосфера Земли. 2004. Т. VIII. № 4. С. 15–26.
22. Федоров-Давыдов Д.Г., Давыдов С.П., Давыдова А.И., Шмелев Д.Г., Остроумов В.Е., Холодов А.Л., Сороко-виков В.А. Термическое состояние почв северной Якутии // Криосфера Земли. 2018. Т. XXII. № 3. С. 52–66.
23. Федоров-Давыдов Д.Г., Давыдов С.П., Давыдова А.И., Остроумов В.Е., Холодов А.Л., Сороко-виков В.А., Шмелев Д.Г. Температурный режим почв северной Якутии // Криосфера Земли. 2018. Т. XXII. № 4. С. 15–24.
24. Шатилович А.В., Шмакова Л.А., Губин С.В., Гили-чинский Д.А. Жизнеспособные простейшие в веч-ной мерзлоте Арктики // Криосфера Земли. 2010. Т. XIV. № 2. С. 69–78.
25. Шейн Е.В., Карпачевский Л.О. (ред.). Теории и ме-тоды физики почв. М.: Гриф и Ко, 2007. 616 с.
26. De Klerk P., Teltewskoi A., Theuerkauf M., Joosten H. Vegetation patterns, pollen deposition and distribution of non-pollen palynomorphs in an ice-wedge polygon near Kytalyk (NE Siberia), with some remarks on Arctic pollen morphology // Polar Biology. 2014. V. 37. P. 1393–1412.
27. De Klerk P., Theuerkauf M., Joosten H. Vegetation, re- cent pollen deposition, and distribution of some non-pol- len palynomorphs in a degrading ice-wedge polygon mire complex near Pokhodsk (NE Siberia), including size-fre- quency analyses of pollen attributable to *Betula* // Review of Palaeobotany and Palynology. 2017. V. 238. P. 122–143.
28. Gilichinsky D., Soina V.S., Petrova M.A. Cryoprotective Properties of Water in the Earth Cryolithosphere and its Role in Exobiology // Origins of Life and Evolution of the Biosphere. 1993. V. 23. P. 65–75.
29. Gluckler R., Herzs Schuh U., Kruse S., Andreev A., Vyse S.A., Winkler B., Biskaborn B., Pestryakova L., Dietze E. Wildfire history of the boreal forest of south-western Yakutia (Siberia) over the last two millennia document- ed by a lake-sediment charcoal record // Biogeosciences. 2021. V. 18. P. 4185–4209.
30. Klemm J., Herzs Schuh U., Pisaric M., Telford R., Heim B., Pestryakova L.A. A pollen-climate transfer function from the tundra and taiga vegetation in Arctic Siberia and its applicability to a Holocene record // Palaeoge- ography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2013. V. 386. P. 702–713.
31. Murton J., Goslar T., Edwards M., Bateman M., Danilov P., Savvinov G., Gubin S. et al. Palaeoenvironmental Inter- pretation of Yedoma Silt (Ice Complex) Deposition as Cold-Climatic Loess, Duvanny Yar, Northeast Siberia // Permafrost and Periglac. Process. 2015. V. 26. P. 208–288.

## Features of Spore and Pollen Preservation in Soils in the Permafrost Deposits of Yakutia

D. A. Lopatina<sup>1</sup>, O. G. Zanina<sup>2</sup>, \*, and D. G. Fedorov-Davydov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia

<sup>2</sup> Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Science, Pushchino, 142290 Russia

\*e-mail: oksanochka\_zet@mail.ru

The article presents the results of studying the spores and pollen preservation in soils of the permafrost distribution zone in Yakutia (Kolyma Lowland, Bykovsky Peninsula, Yakutsk and its neighborhood). In the re- search the qualitative and quantitative composition of palynomorphs was revealed, the patterns of damage formation on them and the mechanism of cryogenic destruction were analyzed. Palynological residues with destruction of the chemical-biological type (thinning of the walls, the formation of cavities as a result of the chemical action of microbes on them) are present singly or absent, which is probably due to the specifics of the cryolithozone with a predominance of low temperatures throughout the year and generally suppressed microbiological activity. On palynomorphs damages of the physical type (ruptures and cracks) predominates. In samples from mineral horizons of loamy soils, the content of damaged palynological remains is 5–10%, in mineral horizons of sandy soil it reaches 20%. In sandy soil the content of unfrozen water and its cryopro- tective role is low, thus the palynomorphs are more susceptible to destruction by growing ice crystals during freezing. The large size Gymnospermae pollen of *Pinus* and *Larix* is most susceptible to destruction. Lesions on the dominant pollen of Poaceae and *Betula* sect. *Nanae* as well as Cyperaceae and Ericaceae is deter- mined. Single destruction of pollen grains is characteristically for the pollen of minor taxa—*Salix*, *Duschekia*, Asteraceae, Onagraceae, Ranunculaceae, Caryophyllaceae and spores *Sphagnum* and Bryales. There is no destroyed on pollen of herbs *Valeriana*, *Polemonium*, *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Polygonaceae* and spores of *Lycopodium*, *Diphasiastrum*, *Selaginella* and *Polypodiaceae*. The results can be used in the reconstruction of paleogeographic conditions for buried soils, as well as in the study of cryopreservation of biological objects in permafrost distribution areas.

*Keywords:* soils, taphonomy, cryosphere, palynomorph destruction