

УДК 581.33+551.89

СУБФОССИЛЬНЫЕ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВЫЕ СПЕКТРЫ СЕВЕРА ЯКУТИИ КАК КЛЮЧ К ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

© 2024 г. Д. А. Лопатина¹ *, О. Г. Занина²

¹Геологический институт РАН, Москва, Россия

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения — обособленное подразделение
Федерального исследовательского центра “Пушкинский научный центр биологических исследований РАН”,
Пушино, Московская область, Россия

*e-mail: dalopat@mail.ru

Поступила в редакцию 16.03.2023 г.

После доработки 17.06.2023 г.

Принята к публикации 26.06.2023 г.

Представлены результаты изучения спор и пыльцы из субфоссильных спектров проб полуострова Быковский (север Якутии) с целью их сопоставления с составом современной растительности, установления основных криогенных нарушений палинологических остатков и анализа механизмов их криогенной деструкции. Заметное содержание в спектрах заносной пыльцы *Betula sect. Nanae* и *Alnus* обусловлено открытостью изучаемых ландшафтов, относительно низкой пыльцевой продуктивностью и переходом на вегетативное размножение в суровых климатических условиях трав и кустарничков, преобладающих в составе местных фитоценозов. Селектирующая роль криогенеза при формировании спорово-пыльцевых спектров осуществляется через неоднократное повторение циклов оттаивания и промерзания отложений, в результате чего на палинологических остатках образуются повреждения физического типа (разрывы и трещины). Результаты исследований являются вкладом в разработку методических аспектов палинотаксономии в отложениях криолитозоны и могут быть использованы при реконструкции ландшафтов и растительности неоплейстоцена, изучения криоконсервации остатков живых организмов и их разнообразия в районах многолетней мерзлоты.

Ключевые слова: полуостров Быковский, субфоссильные палиноморфы, повреждения спор и пыльцы

DOI: 10.31857/S0869592X24020058, **EDN:** DDYTOP

ВВЕДЕНИЕ

Изучение субфоссильных спорово-пыльцевых спектров и их сопоставление с составом современной растительности формирует методическую основу для интерпретации ископаемых палиноспектров и реконструкции ландшафтов прошлых геологических эпох. Данные работы актуальны для тундр, где из-за низкой пыльцевой продуктивности и перехода на вегетативное размножение в суровых климатических условиях ряда травянистых и кустарничковых растений в спорово-пыльцевых спектрах не отображается их таксономическое разнообразие и количественное содержание. Доля заносной пыльцы деревьев и кустарников зачастую затеняет содержание пыльцы растений, произрастающих в точках отбора проб. Результаты исследования спорово-пыльцевых спектров из поверхностных проб тундры приведены в публикациях Г.Г. Карташовой (1973), А. В. Ложкина (2002), А.К. Васильчук (2005), С. Н. Эктовой и др. (2013),

Д.А. Лопатиной и О.Г. Заниной (2016), Е.А. Рашке и Л.А. Савельевой (2017), П.Де Клерка с соавторами (De Klerk et al., 2009, 2014, 2017) и др. Получение новых данных по составу субфоссильных спорово-пыльцевых спектров тундровой зоны и степени адекватности их окружающей растительности имеет важное значение для интерпретации результатов спорово-пыльцевого анализа и реконструкции растительности тундровых ландшафтов, широко распространенных в плейстоцене.

До настоящего времени вопросы преобразования органического материала (в частности спор и пыльцы) при криогенном выветривании остаются малоисследованными. Преобладание в криолитозоне отрицательных температур в течение года и, соответственно, низкая микробиологическая активность обеспечивают слабую трансформацию органической массы. Благодаря достаточно быстрому переходу в мерзлое состояние палиноморфы хорошо сохраняются, что делает спорово-пыльцевой анализ важным инструментом при палеоэкологическом

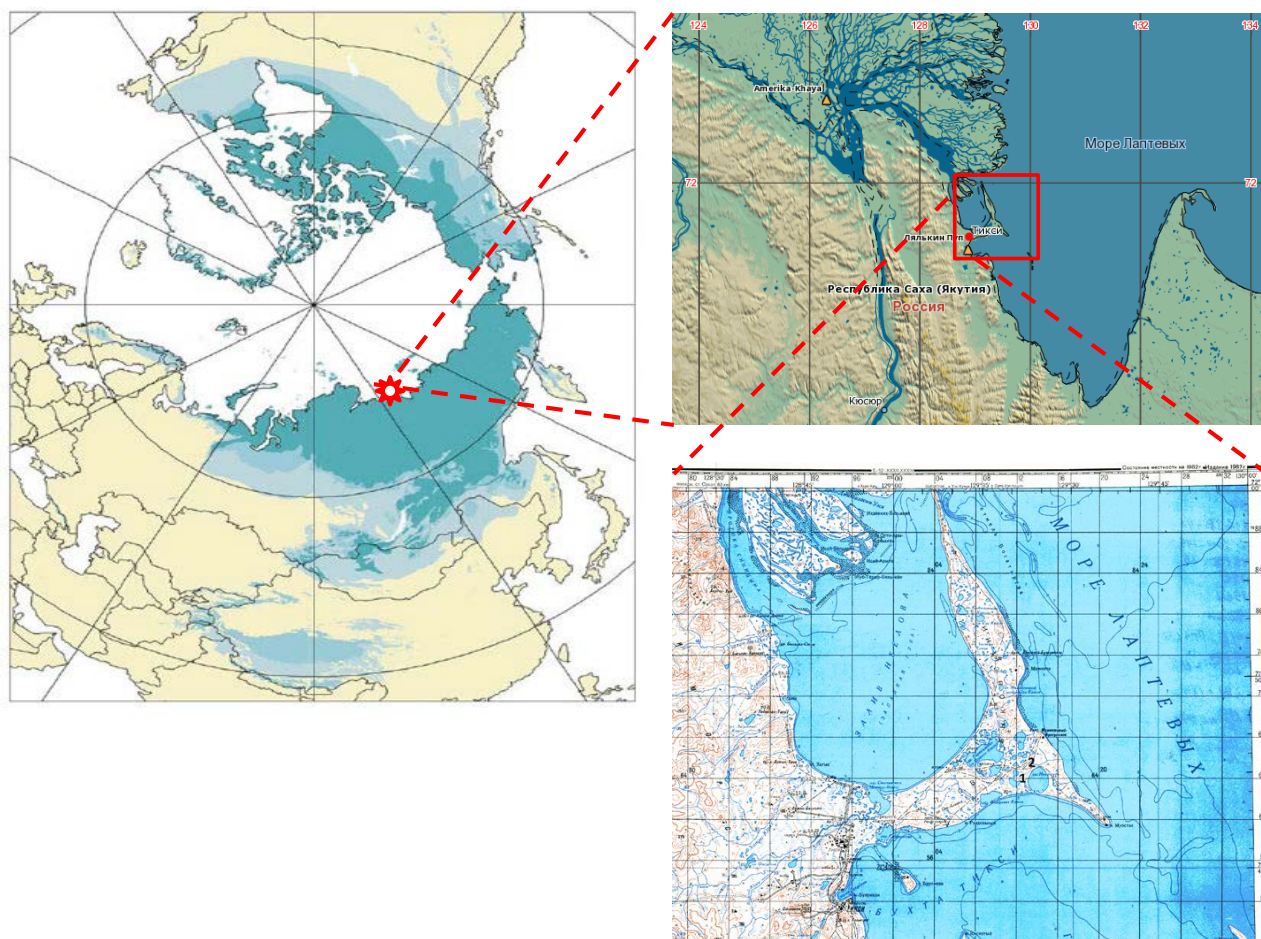


Рис. 1. Карта-схема точек отбора проб на полуострове Быковский.

изучении четвертичных отложений региона. В то же время нельзя исключить, что криогенные процессы могут приводить и к разрушению палинологических остатков, удаляя таким образом определенную часть информации о реконструируемых ландшафтах. А.К. Васильчук (2005) был проведен анализ разрушений спор и пыльцы и изучены вопросы сохранности палиноморф из субфоссильных проб различных элементов рельефа криолитозоны России. Авторами настоящей статьи проведено исследование сохранности спор и пыльцы в мерзлотных почвах Якутии (Лопатина и др., 2022).

Цель работы — выявление особенностей субфоссильных спорово-пыльцевых спектров полуострова Быковский, их сопоставление с составом современной растительности, анализ типов повреждений спор и пыльцы, установление механизмов криогенной деструкции палиноморф. До настоящего времени детальное исследование субфоссильных спектров п-ова Быковский не проводилось. Полученные данные пополняют региональную базу данных субфоссильных спорово-пыльцевых спектров, послужат

формированию актуалистической основы для реконструкции палеогеографических условий неоплейстоцена и анализа криоконсервации остатков живых организмов и их разнообразия в криолитозоне.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены на полуострове Быковский, находящемся на юго-востоке от дельты р. Лена и представляющем аккумулятивную равнину с отметками высот 20–40 м, расчлененную термокарстовыми котловинами и овражной эрозией. Изучаемая территория находится за Полярным кругом, в области сплошного распространения многолетнемерзлых пород; климат арктический, резко континентальный. По наблюдениям на метеостанции Тикси среднегодовая температура -12.6°C , средняя температура января -30.4°C , средняя температура июля $+8.2^{\circ}\text{C}$, среднегодовое количество осадков 316 мм в год. Достаточно высокая относительная влажность воздуха в теплое время года обуславливает низкое испарение влаги, что приводит к значительному накоплению

Таблица 1. Данные о точках отбора проб на полуострове Быковский

Географическое положение	Растительность	№ обр.	Характеристика материала отбора
Точка 1 Свободная от воды северо-западная часть аласа-лагуны Ивашкина, едомный останец около 200 м от береговой линии, возле скважины 11-03. 71°44,587' с.ш., 129°21,493' в.д., абсолютная высота 9 м. Пробы отобраны на квадрате 100 × 100 м	Ивково-дриадовая тундра. Сосудистые растения: <i>Dryas octopetala</i> subsp. <i>subincisa</i> Jurtzev (около 70%), <i>Salix glauca</i> L. (5%), <i>Arctagrostis latifolia</i> (R.Br.) Griseb — менее 1% (следующие по списку растения имеют такой же процент покрытия), <i>Luzula confusa</i> Lindeb., <i>Artemisia borealis</i> Pall., <i>Pedicularis oederi</i> Vahl., <i>Bistorta elliptica</i> (Willd. ex Spreng.) Kom.; <i>B. vivipara</i> (L.) Delarbre; <i>Astragalus alpinus</i> L., <i>Hyalopoa lanatiflora</i> (Roshev.) Tzvelev; <i>Valeriana capitata</i> Pall. ex Link; <i>Papaver angustifolium</i> Tolm., <i>Achoriphragma nudicaule</i> (L.) Sojak, <i>Saxifraga nelsoniana</i> D. Don; <i>S. hirculus</i> L.; <i>S. hieracifolia</i> Waldst. et Kit.; <i>Alopecurus alpinus</i> R.Br., <i>Lagotis minor</i> (Willd.) Standl., <i>Delphinium chamissonis</i> Pritz. ex Walp., <i>Tephrosieris turczaninowii</i> (DC.) Holub., <i>Oxyria digyna</i> (L.) Hill, <i>Carex misandra</i> R. Br., <i>C. subspathacea</i> Wormsk. ex Hornem. Мхи: <i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) B.S.G. (40–50%), <i>Aulacomnium turgidum</i> (Wahlenb.) Schwaegr. Лишайники: <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach., <i>C. cucullata</i> (Bellard.) Ach., <i>C. laevigata</i> Rassad., <i>C. glauca</i> (L.) Ach. <i>Cladonia cornuta</i> , <i>C. rangiferina</i> (L.) Weber ex F.H. Wigg., <i>Dactylina arctica</i> (Hook. f.) Nyl., <i>Sphaerophorus globosus</i> (Huds.) Vain, <i>Thamnotia vermicularis</i> (Sw.) Schaer., <i>Peltigera aphthosa</i> (L.) Willd. В нижних частях гряды, на переходе к аласу, количество дриады уменьшается, преобладает <i>Cassiope tetragona</i> (L.) D. Don, появляется <i>S. cernua</i> L., <i>Ranunculus turneri</i> Greene. Мхи: <i>Tomenthypnum nitens</i> (Hedw.) Loeske, <i>Ptilidium ciliare</i> (L.) Hampe	L1	Проба с таллома <i>Peltigera aphthosa</i>
		L2	Проба с таллома <i>Cladonia cornuta</i>
		L3	Проба с таллома <i>Dactylina arctica</i>
		L4	Проба с таллома <i>Cladonia rangiferina</i>
		L5	Проба с таллома <i>Cetraria glauca</i>
		L6	Проба с таллома <i>Sphaerophorus globosus</i>
		T4	Проба материала из остатков лагеря 2003 г., проросших <i>Salix glauca</i> , <i>Carex misandra</i> , <i>Arctagrostis latifolia</i>
		T8	Проба материала с остатков лагеря 2003 г., покрытых <i>Tomentypnum nitens</i>
		T9	Проба материала с остатков лагеря 2003 г.
		T1	Соскоб с пятна оголенного грунта площадью около 0.05 м². По краю пятна произрастают <i>Salix glauca</i> , <i>Bistorta vivipara</i> , <i>Dryas octopetala</i> subsp. <i>subincisa</i> , <i>Astragalus alpinus</i>
		T12	Соскоб с пятна оголенного грунта площадью около 0.33 м². По краю пятна произрастает <i>Carex misandra</i>
Точка 2 Северный борт аласа-лагуны Ивашкина, едомный останец, 71°45'19,3" с.ш., 129°22'08,9" в.д.	Бугорковая пушицево-лишайниково-моховая тундра. Сосудистые растения: <i>Eriophorum vaginatum</i> L. (преобладает, произрастает на кочках), <i>Salix polaris</i> Wahlenb., <i>B. vivipara</i> , <i>B. elliptica</i> , <i>C. misandra</i> , <i>Rumex arcticus</i> Trautv., <i>Minuartia arctica</i> (Steven ex Ser.) Graebn., <i>Astragalus umbellatus</i> , <i>Saxifraga punctata</i> L., <i>Vaccinium minus</i> (Lodd) Worosch., <i>Tephrosieris atropurpurea</i> (Ledeb.) Holub, <i>Cassiope tetragona</i> , <i>Arctagrostis latifolia</i> , <i>Rubus chamaemorus</i> L. Мхи: <i>Dicranum elongatum</i> Schwaegr., <i>Sphagnum magellanicum</i> Brid., <i>Aulacomnium palustre</i> (Hedw.) Schwaegr., <i>Polytrichum juniperinum</i>	T2	Соскоб с пятна оголенного грунта площадью около 0.4 м²
		T3	Соскоб с зарастающего пятна площадью около 0.3 км². В центре пятна куртинка <i>Carex subspathacea</i> , по краю пятна произрастают <i>Salix glauca</i> , <i>Bistorta vivipara</i> , <i>Dryas octopetala</i> subsp. <i>subincisa</i>
		T10	Поверхностная проба с нижней части склона по направлению к лагуне
		T11	Поверхностная проба возле остатков лагеря 2003 г.
		102	Поверхностная проба с бугорка размером 160×115 см и высотой 25 см. В центре бугорка — <i>Eriophorum vaginatum</i> , <i>Polytrichum juniperinum</i>

Таблица 1. Окончание

Географическое положение	Растительность	№ обр.	Характеристика материала отбора
	Hedw. <i>Лишайники</i> : <i>Cladonia sylvatica</i> (L.) Harm., <i>C. rangiferina</i> (L.) Harm., <i>Cetraria cucullata</i> , <i>C. laevigata</i> , <i>Stereocaulon alpinum</i> Laur. (небольшими вкраплениями в другие лишайники), <i>Dactilina arctica</i> (в основном в микропонижениях)	104	Поверхностная проба с бугорка размером от 40×50 до 150×170 см и высотой бугорков 15–25 см
		105	Соскоб с оголенного пятна, по периферии пятна <i>Salix glauca</i>
		106	Соскоб с пятна с отдельными побегами <i>Carex misandra</i> , <i>Polytrichum juniperinum</i>
		107	Соскоб с пятна с отдельными побегами <i>Carex misandra</i> , <i>Polytrichum juniperinum</i>
		108	Соскоб с пятна с отдельными побегами <i>Carex misandra</i>
		109	Соскоб пятна, зарастающего <i>Saxifraga punctata</i> и <i>Dryas octopetala</i> subsp. <i>subincisa</i>
		110	Соскоб с пятна, заросшего <i>Polytrichum juniperinum</i>
		111	Соскоб с пятна, заросшего лишайником с отдельными экземплярами с <i>Polytrichum juniperinum</i>
		112	Соскоб с пятна, заросшего фрагментарно лишайником, по периферии <i>Polytrichum juniperinum</i>

воды в сезоннопотаивающих почвах и заболачиванию территории. Изучаемый район находится в пределах подзоны северных субарктических тундр, в составе растительности преобладают кустарничково-травяные зеленомошные ассоциации. Кустарниковые сообщества представлены в основном ивняками (Александрова, 1977; Растительный..., 1985; Андреев и др., 1987).

Отбор проб проводился сотрудниками Лаборатории криологии почв Института физико-химических и биологических проблем почвоведения (ИФХиБПП) РАН О.Г. Заниной и Д.Г. Федоровым-Давыдовым в 2019 и 2021 гг. в центральной части полуострова Быковский, на северо-западном (точка 1) и северном (точка 2) бортах аласа-лагуны Ивашкина (рис. 1). Характеристика растительности района отбора проб дана в табл. 1 с использованием материалов сотрудника Лаборатории криологии почв ИФХиБПП РАН С.В. Максимовича, собранных им в 2003 и 2010 гг.

Для изучения субфоссильных палиноморф и их повреждений проведен детальный отбор поверхностного материала. В точке 1 для исследования

повреждения спор и пыльцы до их фоссилизации были срезаны сегменты таллома различных видов лишайников, служивших своеобразной ловушкой органического материала. Для изучения материала, отложившегося в период с 2003 по 2021 гг., отобран осадок с антропогенных поверхностей (остатков лагеря экспедиции ИФХиБПП РАН 2003 г.). Ряд проб взят путем соскоба с оголенного грунта на глубину до 0.5 см. Поверхностные пробы отбирались после снятия растительного покрова на участке 70 × 70 см, захватывающем вершину и наносклон бугорков. В целях усреднения отбор производился до глубины 1.5 см в разных частях участка, затем образец смешивали. Столь детальный комплексный отбор образцов здесь проводился впервые и был обусловлен необходимостью анализа отражения субфоссильными спектрами современной растительности и, соответственно, возможностью использования полученных закономерностей для реконструкции растительности и климата, а также выявления деструкции палиноморф на первоначальных стадиях осадконакопления в течение первых десятков или сотен лет (табл. I).

Таблица I. Участки отбора проб на полуострове Быковский.
1 – ландшафт точки 1; 2 – ландшафт точки 2; 3 – точка отбора материала с остатков лагеря; 4 – точка отбора грунта с пятна-медальона; 5 – *Dryas punctata* Juz в точке 1; 6 – *Cladonia rangiferina* (L.) Web. в точке 1; 7 – *Dactylina arctica* (Hook.) Nyl. в точке 1; 8 – *Cladonia cornuta* (L.) Hoffm. в точке 1. Длина масштабной линейки 5 см для фиг. 3, 4, 8.



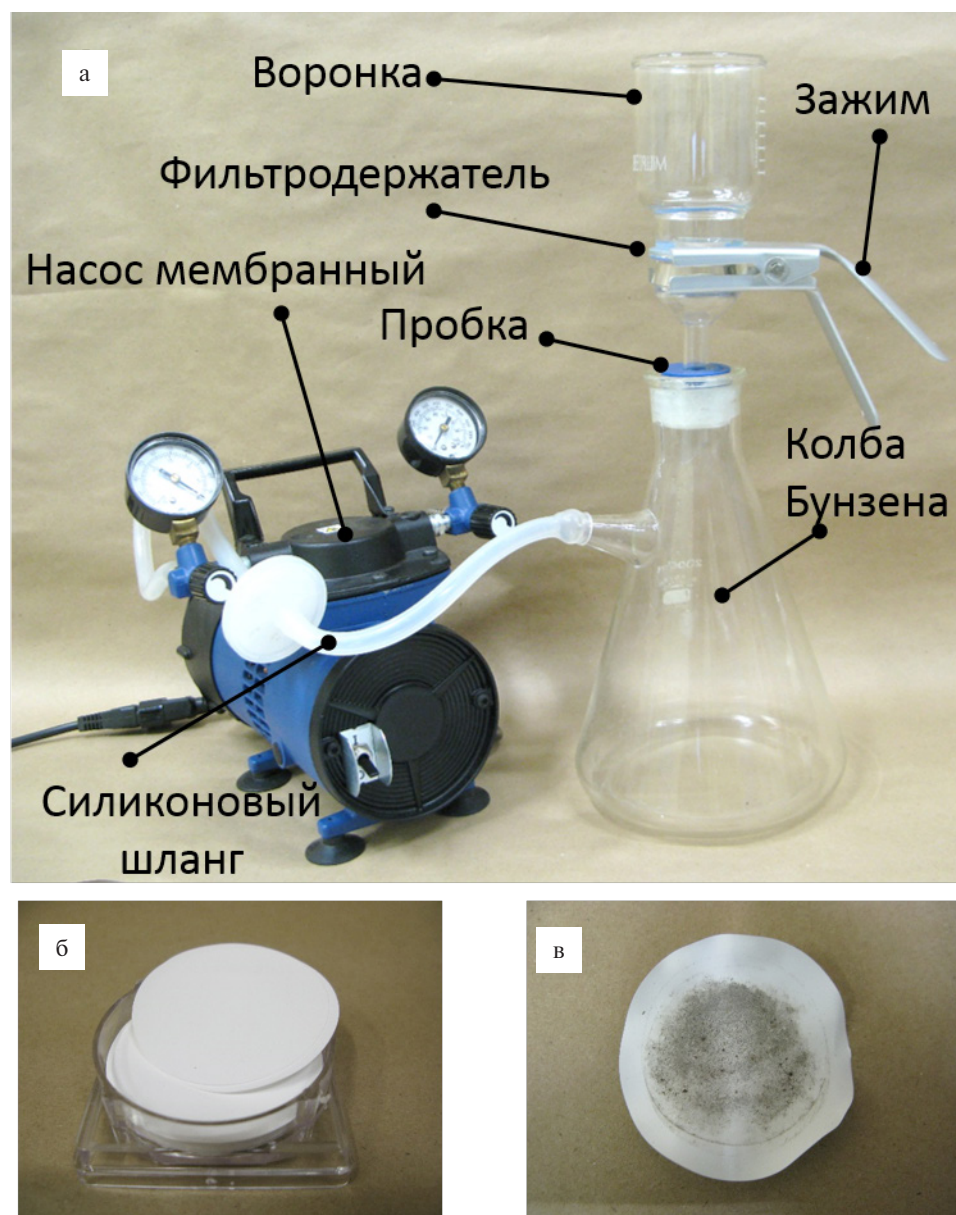


Рис. 2. (а) Вакуумная система фильтрации с использованием фильтров МФАС-П-4 (Владипор), (б) фильтры, (в) фильтры с полученным осадком.

Для выделения палинологического материала, накопившегося на талломе лишайников, предложена и апробирована следующая методика. В лабораторных условиях срезанные сегменты таллома помещали в стеклянный цилиндр объемом 2 л и заливали дистиллированной водой. Через 20 минут отделившийся с талломов осадок для удаления минеральных частиц многократно промывали до светлых вод и визуального отсутствия взвеси. Затем осадок для уменьшения потерь микроостатков фильтровали в вакуумной системе фильтрации с использованием фильтров МФАС-П-4 (Владипор) с порами 3–4.5 мкм

(рис. 2). Полученный после фильтрации осадок изучали под микроскопом.

Обработка соскобов и поверхностных проб выполнена с использованием сепарационного метода В.П. Гричука (Пыльцевой..., 1950; Палеопалинология, 1966). Количественная оценка палиноморф проводилась путем их подсчета до 200 экземпляров на одну пробу, после чего препарат просматривался с целью обнаружения новых таксонов. При анализе сохранности палиноморф выделялись разрушения физического типа (разрывы и трещины на поверхности спор и пыльцы) и химико-биотического типа (истончение экзины и каверны,

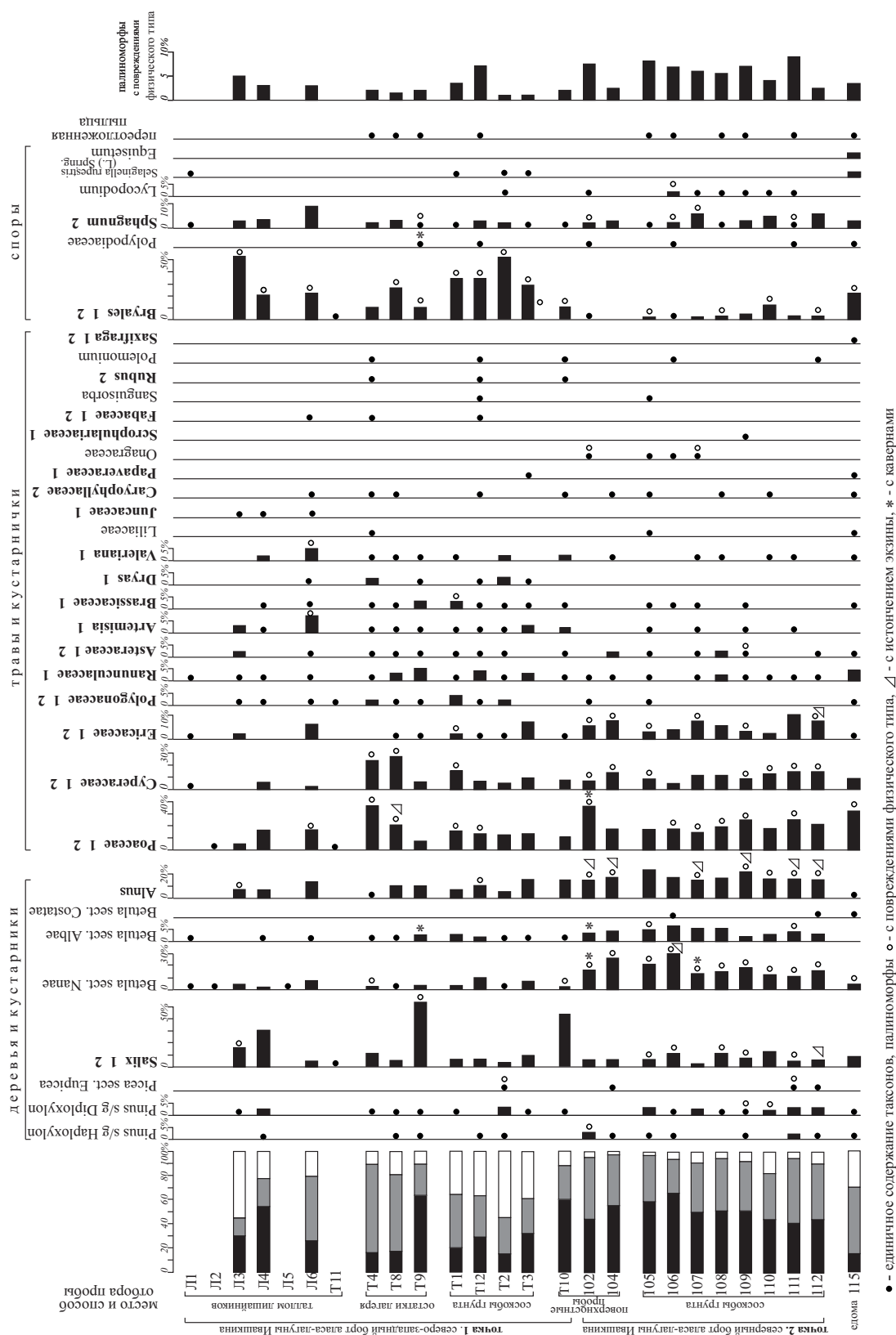


Рис. 3. Содержание спор и пыльцы в пробах на полуострове Быковский.

Жирным шрифтом выделены таксоны, участвующие в составе современной растительности точек 1 и 2. На общей диаграмме черным цветом показано содержание пыльцы деревьев и кустарников, серым — пыльцы трав и кустарничков, белым — спор.

образующиеся в результате химического воздействия на споры и пыльцу микробов).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Насыщенность мацератов спорами и пылью удовлетворительная, исключение составляют четыре пробы материала с таллома лишайников — в них содержание палиноморф единично. Возможно, это обусловлено еще недостаточно отработанной методикой получения палинологического материала подобным способом.

В большинстве изученных субфоссильных спорово-пыльцевых спектров преобладает пыльца деревьев и кустарников. Основная роль принадлежит кустарникам *Betula* sect. *Nanae* и *Alnus*. Среднее содержание пыльцы *Betula* sect. *Nanae* составляет 3–4% (максимум до 9%) в спектрах проб, отобранных в точке 1 на северо-западном борту лагуны Ивашкина, и 18% (максимум до 29%) в спектрах проб с северного борта этой же лагуны (точка 2). Похожая тенденция прослежена и для пыльцы *Alnus*: в среднем 8.5% (максимум 15%) в спектрах проб точки 1 и 16% (максимум до 22.5%) в спектрах проб точки 2. Стабильно во всех спектрах в незначительном количестве от единичных зерен до 6.5% присутствует пыльца древесной формы *Betula* — *Betula* sect. *Albae*. Единичная пыльца сем. *Pinaceae* (*Pinus* s/g *Haploxylon*, *Pinus* s/g *Diploxylon*, *Picea*) зафиксирована спорадически (рис. 3, табл. II, III).

Пыльца *Salix*, единственного представителя кустарниковой растительности, составляет от 3 до 47.5%, но в большинстве спектров не превышает 10%. Ее максимальное содержание зафиксировано в спектрах четырех проб точки 1, три из которых взяты не с поверхности грунта, а из осадка, накопленного за несколько лет на талломе лишайников и остатках лагера. Отметим, что в спектрах проб T1, T4, T3 и 105, отобранных непосредственно возле кустарников *Salix glauca* или *S. polaris*, содержание пыльцы ивы колеблется в пределах 6–11%.

Разнообразная по составу пыльца травянистых и кустарниковых растений составляет в среднем 30–40%, достигая максимальных значений (63.5–72.5%) в спектрах проб материала из остатков лагера в точке 1 за счет пыльцы сем. *Roaceae* и *Сурегасеae*. Пыльца этих семейств доминирует во всех изученных спектрах, составляя в среднем 15–20% (*Roaceae*) и 5–15% (*Сурегасеae*). Участие *Ericaceae* варьирует от единичных зерен (преимущественно в точке 1) до 10%, в среднем ее содержание 5–7%. Стабильным компонентом практически

всех спектров является пыльца сем. *Ranunculaceae* и *Asteraceae*, включая род *Artemisia*. Большинство семейств, представленных в составе растительности (*Rosaceae*, *Polygonaceae*, *Brassicaceae*, *Saxifragaceae*, *Fabaceae*, *Juncaceae*, *Papaveraceae*, *Scrophulariaceae*, *Rosaceae*, *Valerianaceae*, *Polemoniaceae*), отражены на спорово-пыльцевых диаграммах спорадически встречающимися единичными экземплярами. Исключение составляет пыльца сем. *Сагуорфиллаceae*, *Onagraceae*, *Liliaceae*, принесенная ветром в исследуемый район. Обращает на себя внимание, что крайне редко встречаются единичные зерна дриады *Dryas* — травянистого растения, обычного в составе растительности полуострова и доминирующего в локальном фитоценозе на северо-западном борту аласа-лагуны Ивашкина. Также единично отмечена пыльца *Bistorta vivipara*, произрастающего непосредственно на точках отбора ряда проб.

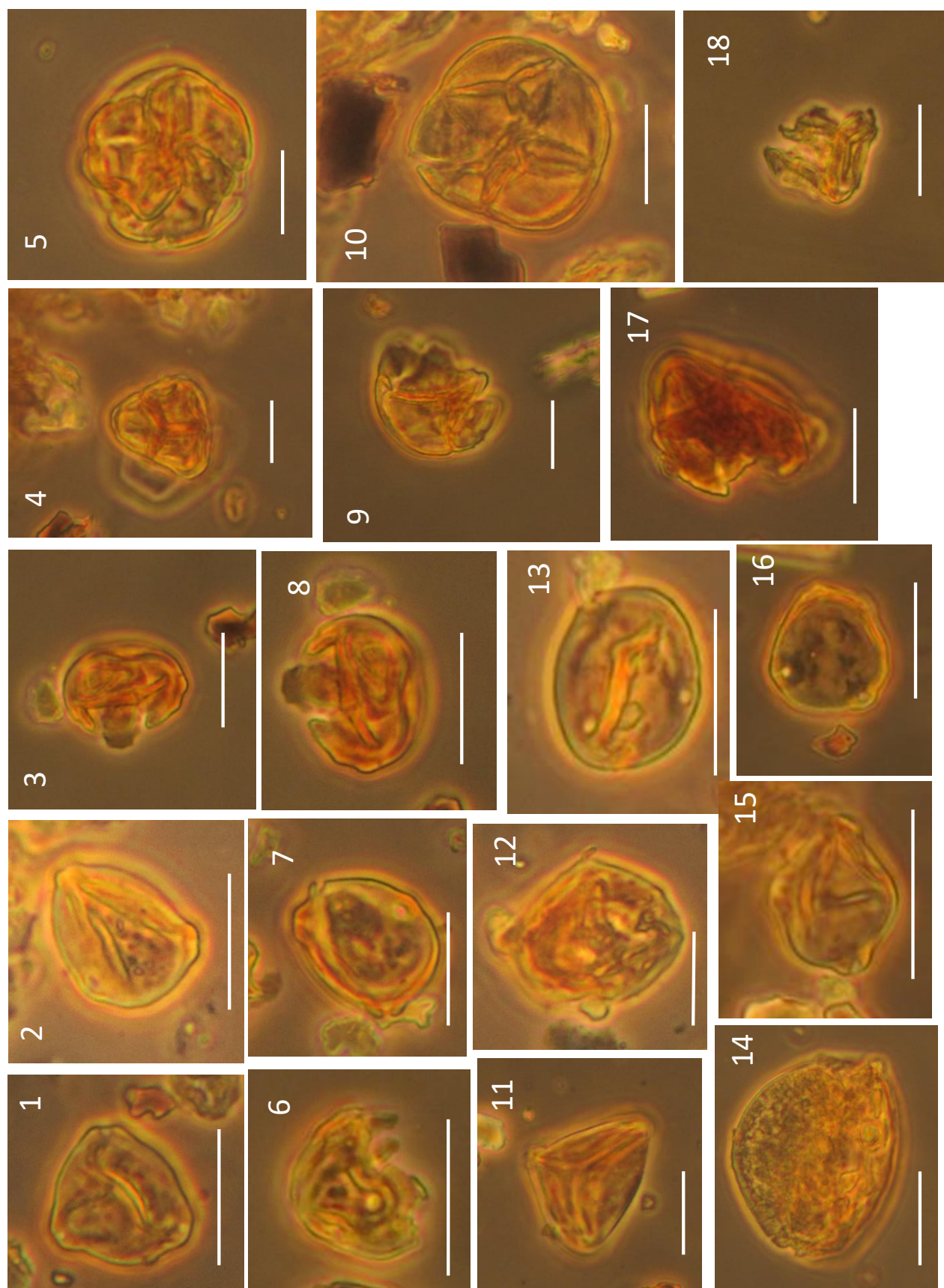
Максимальное содержание спор (до 55%) установлено в спектрах проб точки 1, при доминировании спор *Bryales*. В спектрах из материала с таллома лишайников количество спор варьирует от 20 до 50%, в спектрах из материала с остатков лагера — 10–16%, в спектрах соскобов — от трети до половины от суммы всех палиноморф. Стабильно во всех пробах этой точки, но в значительно меньшем количестве (в среднем 3%, максимум 9%) определен *Sphagnum*. Среднее содержание спор в точке 2 составляет 5–10%, при этом споры *Bryales* и *Sphagnum* зафиксированы приблизительно в равном количестве экземпляров.

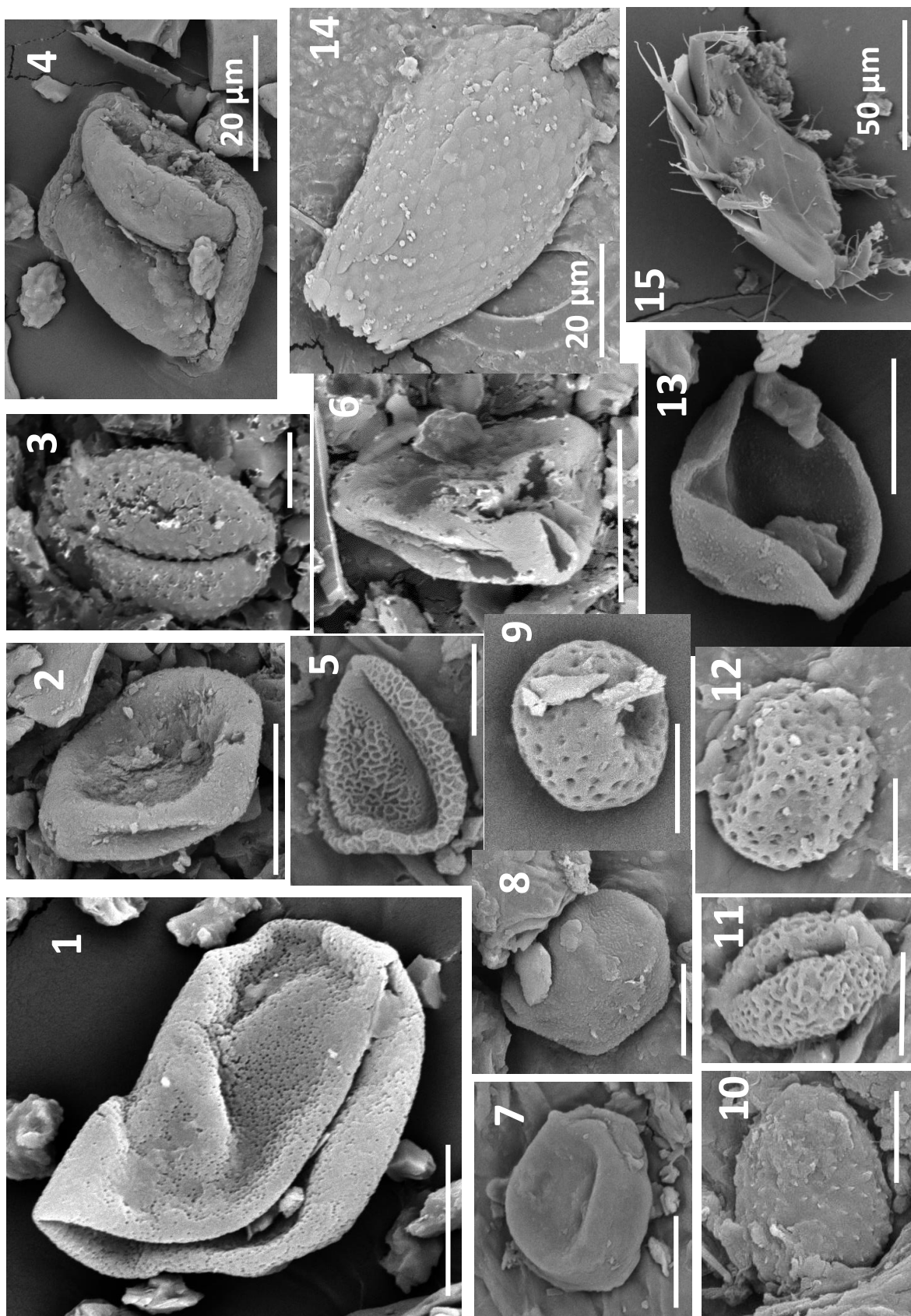
В ряде проб определены единичные экземпляры характерных для палеоген-неогеновых комплексов родов пыльцы *Myrica*, *Alnus*, *Betula*, *Juglans*, *Carya*, *Ulmus*, *Taxodium*, *Pinus*, *Picea*, *Tsuga*, свидетельствующие о переотложении в результате эолового заноса или размыва более древних образований.

Все изученные пробы, отобранные с различных поверхностей разными способами, имеют приблизительно одинаковый качественный состав таксонов. Относительно низким разнообразием трав и кустарников характеризуются спектры поверхностных проб 102 и 104 из точки 2. Колебания количественного содержания таксонов в спектрах отмечены для заносной пыльцы *Betula* и *Alnus*: в спектрах проб точки 1 ее количество составляет в среднем 15% (максимум 23%), а в спектрах проб точки 2 доходит до половины от суммы всех палиноморф. Зафиксировано неравномерное содержание ряда таксонов в спектрах проб точки 1 на северо-западном борту лагуны Ивашкина. Отмечено максимальное содержание пыльцы *Salix* в трех пробах — с таллома лишайника, из

Таблица II. Палиноморфы из субфоссильных проб полуострова Быковский.

1, 2, 13, 15, 16 — *Betula* sect. *Nanae*; 3, 6–8 — *Betula* sect. *Nanae* с повреждениями; 4 — *Ericaceae*; 5, 9, 10, 17 — *Ericaceae* с повреждениями; 11 — *Sphagnum*; 12 — *Roaceae*; 14 — *Pinus* s/g *Haploxylon*; 18 — *Alnus*. Длина масштабной линейки 20 мкм.





материала с остатков лагеря и в поверхностной пробе. Споры Bryales доминируют в пробах, отобранных из материала лишайников и путем соскоба. Пыльца сем. Cyperaceae и Poaceae преобладает в пробе из материала с остатков лагеря, при этом представители этих семейств Carex misandra и Arctagrostis latifolia произрастают непосредственно в месте отбора пробы. Максимум содержания Poaceae зафиксирован также в поверхностной пробе 102 из точки наблюдения 2.

А.К. Васильчук (2005) подразделяет компоненты спорово-пыльцевых спектров тундры на дальнезаношенные (перенесенные от производящего их растения на расстояние более 500 км), региональные (перенесенные от производящего их растения на расстояние от 750 м до 200–500 км в зависимости от рельефа) и локальные (отражающие участие таксонов, произрастающих на площадке отбора проб в радиусе до 750 м). В изученных спектрах проб значительное участие принимает региональная пыльца кустарников Betula sect. Nanae и Alnus, вероятнее всего принадлежащая к распространенным в Субарктике ветроопыляемым кустарникам с высокой пыльцевой продуктивностью, соответственно к березке тощей Betula exilis Sukaczev и ольхе кустарниковой Alnus alnobetula subsp. fruticosa (Rupr.) Raus. Область распространения березки тощей охватывает полуостров Быковский, но находится на границе ареала, встречается этот вид нечасто, и в местах отбора проб он отсутствует, а ольха кустарниковая отмечена в центральной части дельты р. Лена в виде отдельных растений (Ареалы..., 1977). На значительное участие упомянутых таксонов кустарников в спектрах поверхностных проб арктических регионов Северо-Востока Азии указывали в своих публикациях Г.Г. Карташова (1973), А.К. Васильчук (2005), А.В. Ложкин (2002), Дж. Клемм с соавторами (Klemm et al., 2013) и др. Е.А. Рашке и Л.А. Савельева (2017) для поверхностных спектров дельты р. Лена отмечают, что фоновое содержание пыльцы карликовой березки и ольховника приблизительно одинаковое, тогда как участие ольховника в составе растительности меньше, что позволяет выдвинуть предположение о его большей пыльцевой продуктивности. Кроме того, ольховник более высокое растение, что способствует лучшему распространению пыльцы.

Стабильно встречается в спектрах дальнезаношенная пыльца Betula sect. Albae, вероятно принадлежащая видам Betula pendula Roth и B. pubescens Ehrh., северная граница ареалов которых проходит в 600–700 км от дельты р. Лена (Ареалы..., 1977). Однако нельзя исключить неточности в определении пыльцы, на которые указывали в своих

публикациях П. Де Клерк с соавторами (De Klerk et al., 2014) и Е.А. Рашке и Л.А. Савельева (2017): часть пыльцы B. exilis не всегда имеет строение, соответствующее Betula sect. Nanae, и может ошибочно относиться к Betula sect. Albae. А.К. Васильчук (2005) подчеркивает, что из-за вариаций пыльцевых зерен (размер, выраженность пор и поровой камеры) на северном пределе ареала пыльца берез сложно определяется даже до секции.

Пыльца Pinus s/g Haploxyton, принадлежащая, вероятно, к кедровому стланнику Pinus pumila Regel, отмечена единично и спорадически. Северная граница ареала этого вида поднимается почти до 71° с.ш. по правобережью р. Лена (Ареалы..., 1977; Растительный..., 1985). Пыльца Pinus s/g Diploxyton, возможно принадлежащая к P. sylvestris L., стабильно встречается во всех спектрах также в виде единичных зерен. Единичные пыльцевые зерна Picea sect. Eurpicea, скорее всего, относятся к ели сибирской Picea obovata. А.К. Васильчук (2005) отмечает высокую концентрацию дальнезаношенной пыльцы в зоне арктических тундр Северного полушария, причем количество пыльцы ели, сосны и кедра сибирского сопоставимо с их содержанием в лесотундре. О.В. Руденко с соавторами (2017) при изучении спорово-пыльцевых спектров с шельфа и континентального склона моря Лаптевых, с учетом данных Е.А. Рашке и Л.А. Савельевой (2017), исследовавших палинологические остатки в дельте р. Лена, отмечают доминирующую роль речного стока в переносе пыльцы по сравнению с транспортировкой по воздуху ветром. Весной и летом над морем Лаптевых преобладают ветра северо-восточного направления, т.е. из районов Арктики, где произрастают растения с низкой пыльцевой продуктивностью. Возможно, из-за того, что ареал сосен находится к югу от района исследований, в изученных нами спектрах сосна, характеризующаяся высокими показателями пыльцевой продуктивности и транспортабельности, что предполагает ее активный ветровой занос, представлена незначительно. Направление доминирующих ветров, таким образом, является фактором, ограничивающим присутствие древесной пыльцы в изученных спектрах.

Ива принимает большое участие в составе растительности полуострова Быковский. В точках наблюдения она представлена Salix polaris и S. glauca, однако в спорово-пыльцевых спектрах ее участие редко превышает 10% (даже в спектрах проб, отобранных непосредственно на месте произрастания этого кустарника), что не отражает ее реальной роли в составе местных фитоценозов. Наибольшее

Таблица III. Микрофоссилии из субфоссильных проб полуострова Быковский.

1 — Cyperaceae; 2 — Poaceae; 3 — Asteraceae с разрывами и кавернами; 4 — Pinus s/g Haploxyton; 5, 11 — Salix; 6 — Cyperaceae с разрывами; 7 — Betula sect. Nanae; 8 — Alnus; 9, 12 — Bryales; 10 — Asteraceae; 13 — Poaceae смятая; 14 — раковинная амеба; 15 — остатки насекомого. Длина масштабной линейки 10 мкм.

содержание, практически до половины от суммы всех палиноморф, зафиксировано в пробах, отобранных с поверхности таллома лишайников и остатков лагеря, т.е. не с поверхности грунта, что позволяет предположить быстрое разрушение пыльцы ивы в условиях ее попадания на почву. Низкое содержание пыльцы *Salix* в спектрах из поверхностных проб при условии участия ивы в фитоценозе неоднократно фиксировалось палинологами (Васильчук, 2005; De Klerk et al., 2009, 2014; Лопатина, Занина, 2016; Рашке, Савельева, 2017; Новенко и др., 2021). Это объясняется преимущественно плохой сохранностью пыльцы этого рода, способом ее опыления — энтомофильностью, когда большую часть пыльцы с этих растений собирают насекомые, а также двудомностью, когда в точке наблюдения преобладают либо только мужские (тычиночные), либо только женские (пестичные) растения (Рашке, Савельева, 2017). Таким образом, даже сравнительно невысокое содержание (5–10%) пыльцы *Salix* в спектрах позволяет предположить ее участие в составе фитоценозов.

Представители сем. Роасеае отмечены на полуострове Быковский. В составе растительности изученных точек злаковые не играют заметной роли, отмечены единичные *Arctagrostis latifolia*, *Pedicularis oederi* и *Hyalopoa lanatiflora* в точке 1. Однако пыльца Роасеае стабильно преобладает в спектрах, ее среднее содержание составляет 15–20%. Злаковые продуцируют много пыльцы, она обладает высокой транспортабельностью, и ее количество в спектрах может быть завышенным, в том числе за счет заноса с соседних территорий. Пыльцу этого семейства можно отнести к региональной и локальной компоненте спектров.

В составе растительности точки 2 на северном борту аласа-лагуны Ивашкина преобладает пушица влагалищная *Eriophorum vaginatum*, образующая кочки; в местах отбора проб на пятнах оголенного грунта отмечаются побеги *Carex misandra*. Это предполагает значительное содержание пыльцы сем. Сурегаеае в спектрах проб этой точки, однако она составляет 5–15%. Отдельные растения *C. misandra* и *C. subspathacea* определены на пятнах оголенного грунта в точке 1, но и здесь не зафиксировано ожидаемого увеличения осоковых в спектрах. Лишь в двух пробах, взятых из материала, накопленного на остатках лагеря (подчеркнем, что не на поверхности грунта), содержание пыльцы Сурегаеае составляет 24 и 27%. Таким образом, можно с уверенностью реконструировать участие осоковых в растительном покрове при упомянутом выше содержании пыльцы 5–15%.

Также постоянно (от единичных зерен до 10%) встречается пыльца сем. Егисеае, которая относится преимущественно к *Cassiope tetragona*, обычной в составе растительности полуострова. А.К. Васильчук (2005) отмечает, что пыльца этого

семейства в роли локальной составляющей соответствует 1–5%.

Обращает на себя внимание заниженное содержание ряда других таксонов трав и кустарничков в спектрах. В первую очередь это касается пыльцы *Dryas*. Дриада восьмилепестная *Dryas octopetala* subsp. *subincisa* обильна в составе растительности изучаемой территории и доминирует в точке 1 на северо-западном борту исследуемой лагуны, но при этом отмечена в виде единичных зерен не во всех спектрах. Данные о неадекватности количественного отражения пыльцы этого травянистого растения в поверхностных спектрах Арктики приведены в публикациях В.В. Украинцевой, И.Н. Поспелова (2006) и Е.А. Рашке, Л.А. Савельевой (2017). Также единично отмечена пыльца сем. *Polygonaceae*, *Fabaceae* и *Saxifragaceae* при условии произрастания представителей этих семейств, соответственно *Bistorta vivipara*, *Astragalus alpinus* и *Saxifraga punctata*, непосредственно на месте отбора ряда проб. В количестве, не превышающем 4%, практически во всех спектрах зафиксирована пыльца сем. *Asteraceae*, включая *Artemisia*, и *Ranunculaceae*; единично и спорадически встречается пыльца сем. *Juncaceae*, *Fabaceae*, *Scrophulariaceae*, *Papaveraceae*, *Brassicaceae* и *Valerianaceae*. Пыльца перечисленных таксонов отражает присутствие продуцирующих ее растений в составе растительности полуострова. Ее заниженное содержание связано с энтомофильностью ряда семейств, с возможным переходом в суровых климатических условиях на закрытое цветение (что снижает пыльцевую продуктивность), с высокой увлажненностью территории, замедляющей процесс раскрытия цветков и высвобождения пыльцы, с невызреванием пыльцы в пыльниках и переходом на вегетативное размножение. Представители сем. *Caryophyllaceae*, *Liliaceae*, *Onagraceae* не отмечены в составе локальных фитоценозов исследуемых точек, но обычны в составе растительности прилегающих территорий, что позволяет предположить их ветровой занос.

Высокий процент спор в спектрах проб точки 1, в основном *Bryales*, адекватно отражает их существенную роль в растительном покрове. В точке 2 их содержание незначительно, что, вероятно, связано с переходом на вегетативное размножение. *Sphagnum*, представленный в локальных фитоценозах, обычно отмечен небольшим числом спор в спектрах.

Наиболее соответствуют составу растительности спектры проб, отобранных в точке 1 на северо-западном борту аласа-лагуны Ивашкина, за исключением того, что можно было бы ожидать значительно большего количества пыльцы *Dryas*, доминирующей в составе травянистого покрова. Содержание заносной пыльцы деревьев и кустарников составляет в среднем 15%. *Salix* присутствует стабильно в количестве 3–10%, а в некоторых спектрах

является доминантой, составляя от 18 до 47.5% от суммы всех палиноморф. В группе трав и кустарничков разнообразно представлено разнотравье при доминировании *Сурегасеае* и *Роасеае* с учетом вероятного частичного заноса последних. Преобладание спор *Bryales* отражает их значительную роль в моховом покрове. Материалы, полученные в точке 2, показывают достаточно слабое соответствие субфоссильных спектров составу растительности, при том что во всех спектрах определена пыльца основных доминантов. Это обусловлено, прежде всего, ветровым заносом пыльцы. Содержание региональной пыльцы деревьев и кустарников (30–50%) значительно затеняет количество пыльцы трав и кустарничков, произрастающих в точке отбора, а споры представлены в количестве 5–10%, что не отражает роли споровых в фитоценозах.

Поскольку сравнительный анализ спектров из субфоссильных проб с составом продуцирующей их растительности является методической основой реконструкции растительности и ландшафтов прошлого, при интерпретации ископаемых спектров необходимо принимать во внимание следующие обстоятельства:

- наличие пыльцы *Salix* в количестве 5–10% свидетельствует о произрастании растения на исследуемой территории;

- пыльца *Alnus*, частично *Betula sect. Nanae* и сем. *Роасеае* является региональной компонентой спектров;

- содержание 5–15% пыльцы сем. *Сурегасеае* и 3–10% сем. *Егисеае* свидетельствует об их присутствии в составе фитоценозов;

- пыльца ряда семейств трав и кустарничков (*Rosaceae*, *Polygonaceae*, *Brassicaceae*, *Fabaceae* и др.) не всегда отражает многообразие локальной растительности, а ее количество – адекватное присутствие тех или иных семейств разнотравья в ее составе;

- содержание спор *Bryales* и *Sphagnum* может быть заниженным.

В задачи данной работы не входило изучение спор и пыльцы из едомных отложений полуострова Быковский, но для сравнения спектров из этих образований с субфоссильными проанализирована проба из разреза Мамонтова Хайята на берегу моря Лаптевых. Детальное исследование палиноморф из данного разреза проведено Л.Л. Козачихиной (Томирдиаро, Черненький, 1987) и А.А. Андреевым (Andreev et al., 2000; Schirrmeyer et al., 2002; Sher et al., 2005). По составу (преобладание трав и кустарничков с доминированием *Роасеае* и *Сурегасеае*, единичное присутствие разнотравья и кустарников) спектр изученной пробы близок к таковому, приведенному в упомянутых публикациях.

Сопоставление спектров из верхнеплейстоценовых отложений и субфоссильных спектров полуострова Быковский показывает их сходство

по составу трав и кустарничков и позволяет реконструировать злаковую, злаково-осоковую и злаково-разнотравную растительность. С учетом данных анализа субфоссильных спектров можно предположить большую роль разнотравья в реконструируемых фитоценозах и менее значительную злаковых. В спектрах из едомных отложений значительно содержание спор *Selaginella rupestris*, что позволяет реконструировать широкое распространение каменистых тундр и осыпей. Пыльца *Alnus*, *Betula sect. Nanae*, сем. *Pinaceae* содержится в них в незначительном количестве. Это предполагает их отсутствие в составе растительности. Единственным представителем кустарников, вероятнее всего, была ива.

Анализ сохранности палиноморф в изученных пробах показал единичное содержание среди них экземпляров с разрушениями химического (истончение экзины) и биологического типа (каверны и точечные повреждения). Вероятно, это обусловлено спецификой криолитозоны с преобладанием низких температур в течение года и подавленной микробиологической активностью. Истончение экзины определено преимущественно на пыльце представителей сем. *Betulaceae* – *Betula sect. Nanae* и *Alnus*.

А.К. Васильчук (2005) отмечает, что в спектрах из поверхностных проб тундры преобладают разрывные нарушения палиноморф. Разрывы происходят при промерзании и образовании кристаллов льда и последующем оттаивании отложений, а также при увлажнении, когда происходит пропитывание водой и разбухание пыльцы, и последующем подсушивании, а также при переносе палиноморф водными потоками. При анализе спор и пыльцы с повреждениями из отложений, сформировавшихся в субаэральных условиях на полуостровах Ямал, Гыданский, Тазовский и на Чукотке, А.К. Васильчук установлено, что в среднем 90% образцов содержат поврежденную пыльцу в количестве 0–10% от суммы всех палиноморф.

Палиноморфы с повреждениями физического типа (разрывы и трещины) составляют 1–4% в спектрах проб точки 1 (северо-западный борт лагуны Ивашкина). Проведенный анализ спор и пыльцы на детально отобранном материале (смывы с поверхности таллома лишайников, осадок, накопленный на остатках лагеря, соскоб с грунта и поверхностная проба) не выявил значимых различий в деструкции палиноморф на всех перечисленных поверхностях. Повреждения зафиксированы преимущественно на спорах *Bryales*, несколько меньше на *Роасеае*, остальные таксоны отмечены единично и спорадически. Содержание палиноморф с повреждениями физического типа в спектрах проб, отобранных в точке 2, возрастает, оно колеблется в пределах от 2.5 до 9%, составляя в среднем 6%, что, возможно, обусловлено более интенсивным протеканием здесь процессов

промерзания-оттаивания грунтов. Во всех спектрах с повреждениями этого типа в количестве от единичных зерен до 3.5% определена *Betula sect. Nanae*, реже отмечены *Salix*, *Alnus*, *Рoaceae*, *Сурерасеae*, *Ericaceae*. Здесь наблюдается увеличение числа пыльцевых зерен (*Betula sect. Nanae*, *Alnus*, *Salix*, *Ericaceae*) с истонченной, обесцвеченной экзиной.

Определить, пыльца каких таксонов наиболее подвержена разрушению физического типа, сложно. Практически во всех пробах точки 1 определены единичные споры *Bryales* с разрывами, а в спектрах проб точки 2 — *Betula sect. Nanae*. Стабильно с повреждениями этого типа встречаются *Salix*, *Alnus*, *Рoaceae*, *Сурерасеae*. Споры и пыльца перечисленных таксонов встречаются в спектрах в значительном количестве и зачастую являются доминантами. Соответственно, в этом случае мы располагаем большим числом зерен для статистического анализа по сравнению с другими таксонами, в частности с единичной пылью представителей разнотравья.

ВЫВОДЫ

Результаты сравнения субфоссильных спорово-пыльцевых спектров с составом продуцирующей их растительности показали, что они отражают особенности тундровой растительности с искажением, которое, прежде всего, касается содержания региональной пыли кустарников. Пыльца *Alnus* и *Betula sect. Nanae*, не произрастающих в точках отбора проб, составляет в спектрах до половины от суммы всех палиноморф, а незначительное содержание в большинстве спектров *Salix* (до 10%) не соответствует ее роли в фитоценозах. Несколько занижено содержание в спектрах пыли сем. *Сурерасеae*, относительно адекватно отражено сем. *Ericaceae*. Из-за высокой пылевой продуктивности и транспортабельности в ряде проб явно завышено количество пыли *Рoaceae*. Пыльца разнотравья не всегда отражает многообразие локальной растительности, а ее количество — адекватное присутствие тех или иных семейств (в частности, сем. *Rosaceae*, *Polygonaceae*, *Fabaceae*, *Ranunculaceae*) в ее составе. Особенно это касается *Dryas*, доминирующей в составе растительности точки 1 и незначительно отраженной в спектрах. Данное обстоятельство обусловлено невысокой пылевой продуктивностью этих растений в суровых климатических условиях и переходом их на вегетативное размножение. Участие спор *Bryales* и *Sphagnum* в ряде спектров точки 2 на северном борту аласа-лагуны Ивашкина занижено до 10%, что не отражает их доминирующую роль в напочвенном покрове. Однако относительно адекватно их количество представлено в спектрах проб точки 1 на северо-западном борту исследуемого аласа-лагуны. Количественный состав субфоссильных спектров точки 1 достаточно изменчив и зависит не столько от состава продуцирующей их растительности, произрастающей

непосредственно в точке отбора пробы, сколько от поверхности, на которой происходит накопление палинологического материала. Так, на таллуме лишайников, антропогенных поверхностях и соскобе грунта зафиксировано высокое содержание пыли *Salix* и спор *Bryales*, доминирующих в растительном покрове. Это позволяет предположить разрушение указанных палиноморф на поверхности почвы. Перечисленные обстоятельства следует учитывать при интерпретации ископаемых спектров.

Споры и пыльца с разрушениями химико-биотического типа (истончение оболочек, образование каверн в результате химического воздействия на них микробов) единичны, что обусловлено спецификой криолитозоны с преобладанием низких температур в течение года и в целом подавленной микробиологической активностью. Во всех изученных спектрах на спорах и пыли отмечены разрушения физического типа (разрывы и трещины). Отмечается небольшое увеличение числа палиноморф с повреждениями этого типа в спектрах проб с пятен медальонов. Вероятно, деструкция подобного рода происходит при попадании спор и пыли в условия повышенной влажности, в которых их оболочка разбухает, затем при наступлении холодного периода происходит ее подсушивание и вымораживание; при неоднократном повторении этих циклов на ней образуются разрывы и трещины. Селектирующая роль криогенеза при формировании спорово-пыльцевых спектров осуществляется через чередование циклов оттаивания и промерзания отложений. В стабильном многолетнемерзлом состоянии отрицательные температуры не являются экстремальным фактором, а напротив, способствуют длительной сохранности спор и пыли, деструктивным фактором является именно оттаивание толщ.

Результаты исследований послужат дополнительным критерием при интерпретации результатов палинологического анализа, позволят дополнить уже имеющиеся представления о палеогеографических условиях времени формирования верхнелепестовых отложений Северо-Востока Азии и могут быть использованы при исследовании механизмов криоконсервации остатков живых организмов и их разнообразия в районах многолетней мерзлоты.

Источники финансирования. Работа выполнена по программам госзадания ГИН РАН и ИФХиБПП РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова В.Д. Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики. Л.: Наука, 1977. 186 с.
Андреев В.Н., Галактионова Т.Ф., Перфильева В.И., Щербаков И.П. Основные особенности растительного

- покрова Якутской АССР. Якутск: ЯФ АН СССР, 1987. 155 с.
- Ареалы деревьев и кустарников СССР. Т. 1. Л.: Наука, 1977. 164 с.
- Васильчук А.К. Особенности формирования палино-спектров в криолитозоне России. М.: Изд-во МГУ, 2005. 245 с.
- Карташова Г.Г. Спорово-пыльцевые спектры современных отложений тундровой зоны Восточной Якутии // Вестник МГУ. Сер. географ. 1973. № 5. С. 108–111.
- Ложкин А.В. Современный пылевой дождь в арктических районах Берингии и реконструкция растительности ледниковых интервалов плейстоцена // Четвертичная палеогеография Берингии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. С. 13–27.
- Лопатина Д.А., Занина О.Г. Субрецентные спорово-пыльцевые спектры низовьев р. Колыма и их значение для реконструкции четвертичной палеогеографии региона // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2016. Т. 24. № 2. С. 203–211.
- Лопатина Д.А., Занина О.Г., Федоров-Давыдов Д.Г. Особенности сохранности спор и пыльцы в почвах в зоне распространения многолетнемерзлых отложений Якутии // Почвоведение. 2022. № 8. С. 962–974.
- Новенко Е.Ю., Мазей Н.Г., Куприянова Д.А., Филимонова Л.В., Лаврова Н.Б. Субфоссильные спорово-пыльцевые спектры лесов Центральной Эвенкии: особенности интерпретации для целей палеоэкологических исследований // Экология. 2021. № 6. С. 403–411.
- Палеопалинология. Т. I. Ред. Покровская И.М. Л.: Недра, 1966. 352 с.
- Пыльцевой анализ. Ред. Криштофович А.Н. М.: Госгиздат, 1950. 571 с.
- Растительный и животный мир дельты реки Лены. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1985. 140 с.
- Рашке Е.А., Савельева Л.А. Субрецентные спорово-пыльцевые спектры и современная растительность дельты реки Лена, Российская Арктика // Сибирский экологический журнал. 2017. Т. 24. № 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.
- Томирдиаро С.В., Чёрный Б.И. Криогенно-эоловые отложения Восточной Сибири и Субарктики. М.: Наука, 1987. 198 с.
- Украинцева В.В., Поспелов И.Н. О связях состава растительности и состава спорово-пыльцевых спектров поверхностных проб (устье р. Оленья, полуостров Таймыр) // Изв. РАН. Сер. географ. 2006. № 3. С. 97–109.
- Эктова С.Н., Лантвева Е.Г., Трофимова С.С. Отражение флористического состава тундровой растительности долины р. Юрибей (Средний Ямал) в рецентных комплексах растительных остатков // Проблемы региональной экологии. 2013. № 4. С. 39–44.
- Andreev A.A., Schirrmeister L., Siegelt C., Bobrov A.A., Demske D., Seifferr M., Hubberten H.W. Paleoenviromental changes in Northeastern Siberia during the Late Quaternary – evidence from pollen records of the Bykovsky Peninsula // Polarforschung. 2000. V. 70. P. 13–25.
- De Klerk P., Donner N., Joosten H., Karpov N., Minke M., Seifert N., Theuerkauf M. Vegetation patterns, recent pollen deposition and distribution of non-pollen palynomorphs in a polygon mire near Chokurdakh (NE Yakutia, NE Siberia) // Boreas. 2009. V. 38. Issue 1. P. 239–258.
- De Klerk P., Telteuskoi 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.
- De Klerk P., Theuerkauf M., Joosten H. Vegetation, recent pollen deposition, and distribution of some non-pollen palynomorphs in a degrading ice-wedge polygon mire complex near Pokhodsk (NE Siberia), including size-frequency analyses of pollen attributable to *Betula* // Rev. Palaeobot. Palynol. 2017. V. 238. P. 122–143.
- Klemm J., Herzschuh U., Pisarcic 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 // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2013. V. 386. P. 702–713.
- Schirrmeister L., Siegelt C., Kuznetsova T., Kuzmina S., Andreev A., Kienast F., Meyer H., Bobrov A. Palaeoenvironmental and paleoclimatic records from permafrost deposits in the Arctic region of northern Siberia // Quaternary Int. 2002. V. 89. Iss. 1. P. 97–118.
- Sher A.V., Kuzmina S.A., Kuznetsova T.V., Sulerzhitsky L.D. New insights into the Weichselian environment and climate of the East Siberian Arctic, derived from fossil insects, plants, and mammals // Quaternary Sci. Rev. 2005. V. 24. Iss. 5–6. P. 533–569.

Рецензенты

А. К. Маркова, А. Н. Симакова

Subfossil Spore-Pollen Spectra of Northern Yakutia as a Key to the Interpretation of Paleoecological Studies

D. A. Lopatina^{a, #} and O. G. Zanina^b

^a*Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^b*Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Science, Pushchino, Moscow oblast, Russia*

[#]*e-mail: dalopat@mail.ru*

The results of the study of spores and pollen from subfossil spectra of samples from the Bykovsky Peninsula (northern Yakutia) are presented in order to compare them with the composition of modern vegetation, to establish the main cryogenic disturbances of palynological remains, and to analyze the mechanisms of their cryogenic destruction. The noticeable content in the spectra of alien pollen of *Betula* sect. *Nanae* and *Alnus* are due to the openness of the studied landscapes, relatively low pollen productivity and the transition to vegetative propagation in harsh climatic conditions of herbs and shrubs, prevailing in the local phytocenoses. The selective role of cryogenesis in the formation of spore-pollen spectra is carried out through repeated cycles of thawing and freezing of sediments, as a result of which physical damages (ruptures and cracks) are formed on palynological remains. The research results are a contribution to the study of the methodological aspects of palynotaphonomy in cryolithozone sediments and can be used for reconstruction of landscapes and vegetation of the Neopleistocene, the study of cryopreservation of remains of living organisms and their diversity in the permafrost areas.

Keywords: Bykovsky Peninsula, subfossil palynomorphs, spore and pollen damage