

**Арктика и Антарктика***Правильная ссылка на статью:*

Васильчук А.К. Спорово-пыльцевые спектры в голоценовых ледяных жилах на пойме реки Ляккатосё (Восточный Ямал) // Арктика и Антарктика. 2024. № 2. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.2.71146 EDN: UWQTUK URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=71146](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=71146)

**Спорово-пыльцевые спектры в голоценовых ледяных жилах на пойме реки Ляккатосё (Восточный Ямал)****Васильчук Алла Константиновна**

ORCID: 0000-0003-1921-030X

доктор географических наук

ведущий научный сотрудник; лаборатория геоэкологии Севера; МГУ им.М.В.Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, Ленинские Горы, 1., ооф. географический факультет, НИЛ геоэкологии Севера

✉ [alla-vasilch@yandex.ru](mailto:alla-vasilch@yandex.ru)Статья из рубрики "Многолетнемерзлые породы и подземные льды Арктики, Антарктики и горных регионов"**DOI:**

10.7256/2453-8922.2024.2.71146

**EDN:**

UWQTUK

**Дата направления статьи в редакцию:**

28-06-2024

**Аннотация:** В связи с особым механизмом повторно-жильного льдообразования, рассмотрена проблема горизонтального и вертикального отбора образцов для палинологического анализа из повторно-жильных льдов. Объект исследований – палиноспектры, полученные из позднеголоценовых повторно-жильных льдов на высокой пойме реки Ляккатосё с полигонально-валиковым рельефом на востоке Ямала. В пределах участка доминируют гемипростратно-кустарничково-лишайниково-моховые полигональные тундры. Повторно-жильные льды вскрыты в береговом обнажении после сильного паводка в результате прилива и нагона со стороны Обской губы. Ширина жил достигает 1,2-1,5 м. В осевой части одной из жил много минеральных примесей, до 40%, формирующих вертикальную слоистость, которая исчезает от центра к краям жилы. Отбор проб для спорово-пыльцевого анализа проводился с учетом морфометрических особенностей ледяных жил: учитывалось количество элементарных жилок и их протяженность. Основной метод исследования палинологический, изучены образцы

льда, полученные в скважинах, пробуренных кольцевым ледобуром в повторно-жильном льду. Образцы на палинологический анализ были отобраны вдоль оси жилы и по горизонтали на глубине 1,2 м, образцы на химический анализ отобраны вдоль оси. Высокая концентрация пыльцы и спор – 800-900 экз./л в жилах на р. Ляккатосе позволила провести сопоставление результатов горизонтального и вертикального отбора с достаточной степенью точности. Палиноспектры, характеризующие ледяную жилу по горизонтали и вертикали, продемонстрировали существенные различия в соотношении основных компонентов палиноспектров. Основное различие палиноспектров горизонтального и вертикального отбора в группе древесных пород заключается в различном содержании пыльцы ели и березы. Если вдоль оси жилы пыльца ели (2-13%) и березы (6-14%) отмечается постоянно, то в палиноспектрах горизонтального отбора пыльца ели (2-4%) отмечена только до 0.3 м от оси жилы, а березы (2-14%) до 0.4 м от оси жилы. Вполне естественно, что отсутствует общая последовательность кульминаций тех или иных пыльцевых таксонов.

#### **Ключевые слова:**

полигональные ландшафты, повторно-жильные льды, многолетнемерзлые породы, ионный состав льда, пыльца, споры, концентрация пыльцевых зерен, пойма, река Лекатосё, полуостров Ямал

*Работа выполнена в рамках проекта Российского научного фонда (грант № 23-17-00082): Палеоциклы углерода-азота в экосистемах бугристых и полигональных торфяников, едомы и в пластовых льдах на севере России*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Ледяные жилы формируются в результате растрескивания и последовательного накопления элементарных жилок. Растрескивание происходит не каждый год и не обязательно в осевой части.<sup>[1]</sup> В связи со сложным «вертикальным» механизмом образования повторно-жильного льда, требуется оценка способов отбора образцов льда для различных видов анализа. На наш взгляд направление отбора образцов и его частота определяется поставленной задачей. Часть исследователей предпочитают отбирать образцы из повторно-жильных льдов по горизонтали,<sup>[2,3]</sup> когда требуется получить общую характеристику. Однако для того, чтобы получить представление о последовательности формирования льда горизонтального отбора может быть недостаточно. Отбор образцов повторно-жильных льдов для палинологического анализа имеет свои ограничения. В частности, концентрация пыльцы и спор в повторно-жильном льду редко бывает высокой, поэтому необходимо отобрать образцы достаточного для анализа объема. Лед для палинологического анализа необходимо тщательно изолировать при отборе: если на поверхность образца попадет свежая пыльца, при анализе будет невозможно отличить ее от пыльцы, которая содежится во льду, так как пыльца во льду часто имеет высокую сохранность.<sup>[4,5]</sup>

Цель данной статьи – исследовать палиноспектры из повторно-жильного льда, полученные из образцов при вертикальном и горизонтальном отборе с учетом химического состава изучаемых ледяных жил. Для оценки интерпретационных возможностей результатов палинологического анализа повторно-жильных льдов выбраны голоценовые ледяные жилы на южной границе северных гипоарктических тундр, где пыльцевая продуктивность уже довольно высокая, что позволяет получить

кондиционный счетный материал.

## РАЙОН, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### *Местоположение и строение разреза*

В связи с особым механизмом повторно-жильного льдообразования, рассмотрена проблема горизонтального и вертикального отбора образцов для палинологического анализа из повторно-жильных льдов. Исследования голоценовых повторно-жильных льдов проведены А.К. и Ю.К. Васильчук в низовьях р. Ляккатосё на полуострове Ямал (рис. 1, 2). На правом берегу реки в обнажении высокой поймы были вскрыты повторно-жильные льды. Их высота составила 3-4 м, ширина 1,2-1,5 м. Поверхность высокой поймы на исследуемом участке представлена полигонально-валиковым рельефом, полигоны часто оконтурены открытыми морозобойными трещинами (рис. 3,4).

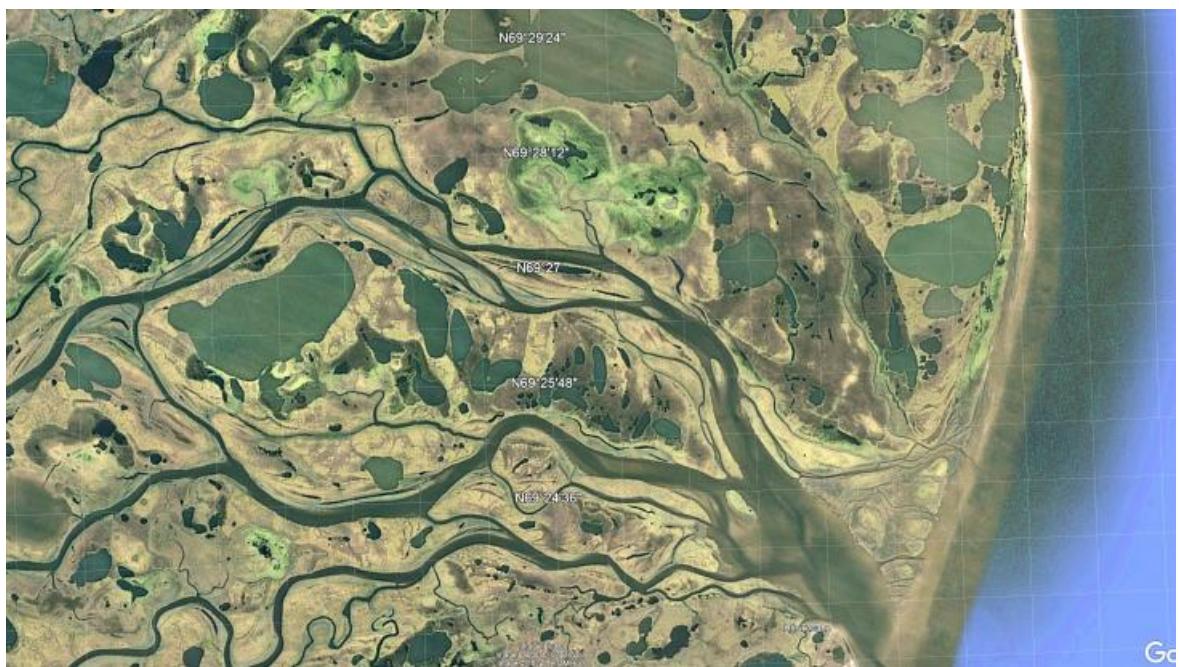


**Рис. 1.** Схема расположения голоценового полигонального массива с повторно-жильными льдами в низовьях р. Ляккатосё (69°26'04''с.ш., 72°12'27в.д.), в центральной части полуострова Ямал: 1 - местоположение изученного разреза

В результате сгонно-нагонных явлений на реке в период проведения исследований был зафиксирован паводок: подъем уровня реки составил 2,5 м, были подтоплены сниженные части высокой поймы и низкая пойма.



**Рис. 2.** Рельеф долины р. Ляккатосё на востоке Ямала



**Рис. 3.** Положение участка в долине р. Ляккатосё на востоке Ямала



**Рис. 4.** Положение участка и изученных ледяных жил в долине р. Ляккатосё на востоке Ямала

#### **Растительность**

Участок расположен вблизи южной границы северных гипоарктических тундр<sup>[6]</sup> в пределах участка доминируют гемипростратно-кустарничково-лишайниково-моховые полигональные тундры. В их составе присутствуют кустарники *Betula nana*, *Salix lanata* кустарнички *Empetrum subholarcticum*, *Salix nummularia*, *Dryas octopetala*, *Vaccinium vitis-idaea* ssp. *minus*, *Ledum decumbens*, а также *Carex arctisibirica*, *Arctagrostis latifolia*, *Dupontia fisheri*, *D. psilosantha*, *Deschampsia borealis* и *D. Brevifolia* из мохообразных *Bryum purpurascens*, *Pleurozium schreberi*, *Drepanocladus aduncus*, *Polytrichum spp.*, *Aulacomnium turgidum* и др.).

Климатическая характеристика участка исследований приводится по данным наиболее близкой к участку метеостанции Сеяха ( $70^{\circ}17'$  с.ш.,  $72^{\circ}52'$  в.д.). За период с 1951 по 2023 гг. среднегодовая температура pltcm составила  $-9.3^{\circ}\text{C}$ .<sup>[7]</sup> Самый холодный месяц – февраль, средняя температура воздуха в этом месяце варьирует от  $-37.0$  до  $-13.7^{\circ}\text{C}$ . Абсолютный минимум температуры воздуха зафиксирован в пос. Сеяха ( $-44.7^{\circ}\text{C}$ ) 06.01.2015 г.,<sup>[8]</sup> а в самом тёплом месяце – июле, среднемесячная температура колеблется  $+4.0$  –  $+15^{\circ}\text{C}$ . Сумма осадков – от 187 до 490 мм/год.<sup>[9]</sup> Многолетнемерзлые породы имеют сплошное распространение по латерали и вертикали. Их мощность превышает 290–300 м, температура на глубине нулевых годовых колебаний составляет около  $-5$ ,  $-4^{\circ}\text{C}$ .<sup>[10]</sup>

#### **Строение разреза высокой поймы**

Строение отложений высокой поймы на данном участке изучено по результатам бурения. Скважиной, заложенной в 1,5 м от берега, вскрыто:

0-0,05 м – моховая дернина;

0,05-0,22 – торф коричневый с супесью, талый;

0,22-0,3 м – супесь серая с рыжими пятнами, мёрзлая. Криотекстура массивная, льдистость 5%;

0,3-0,6 м – супесь серая оторфованная, мерзлая, криотекстура тонко- и среднешлировая, льдистость 80%;

0,6-7,1 м – переслаивание горизонтов песка с разной криотекстурой и льдистостью от 5 до 10%.

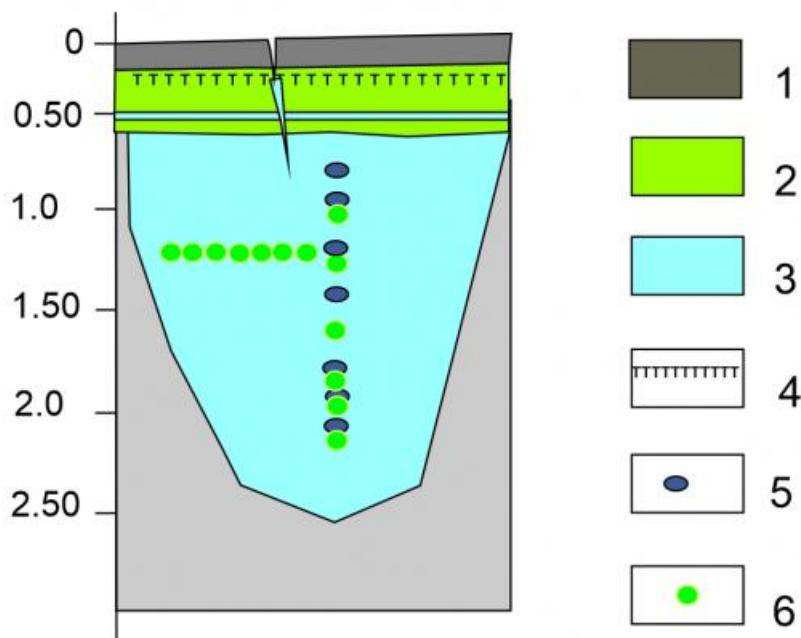
Ледяные жилы залегают на глубине 0,5-0,7 м, лед жил в верней части серый мутный, основная часть ледяных жил представлена белым мутным льдом с вертикальными прослойками прозрачного льда, выраженность которых снижается от центра к краям жилы; содержание минеральных примесей во льду уменьшается сверху-вниз. В осевой части одной из жил минеральные примеси составили около 40%.

### **Методика полевого отбора образцов и палинологических определений**

Отбор проб для спорово-пыльцевого анализа проводился с учетом морфометрических особенностей ледяных жил: учитывалось количество элементарных жилок и их протяженность. Образцы отбирались специально изготовленным кольцевым ледовым буром, который позволил отобрать очень чистые нераздробленные образцы, объем каждого образца составил 1 дм<sup>3</sup> т.е. - 1 л. Каждый отобранный образец промывался талой водой, образовавшейся в самом начале таяния льда образца, для исключения попадания свежей пыльцы. Каждый образец льда был перелит в стеклянный флякон. В условиях лаборатории осадок со дна флякона, отстоявшегося не менее 24 часов отбирался для анализа пыльцы и спор. Обработка образцов для анализа пыльцы включала испарение осадка, дефлокуляцию с использованием КОН, центрифugирование, фильтрацию через сита 40 мкм, 10 мкм и 2 мкм и помещение образцов пыльцы в глицерин. Проценты, рассчитаны на основе суммы пыльцы деревьев, кустарников и трав, а также спор. Идентификация пыльцы и спор производилась под световым микроскопом при увеличении 400x на базе авторской палинологической коллекции в лаборатории Северной геоэкологии МГУ им. М. В. Ломоносова, российской пыльцевой базе данных пыльцы,[\[11\]](#) а также с использованием определителей. Пыльца березы разделена секции *Betula sect Betula* (древесные формы) и *Betula sect. Apterocaryon* (кустарниковые и кустарничковые виды берез). Пыльца сосны была идентифицирована как пыльца сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и сосны сибирской (*Pinus sibirica*) на основе авторской коллекции поверхностных образцов и гербария из района исследования, а также авторской справочной коллекции пыльцы. Из-за относительно невысокой концентрации пыльцы подсчитывались все микрофоссилии в полученном концентрате фракции 10-40 мкм. Фракция 2-10 мкм была использована для выявления мелких спор *Bryales*. Концентрация рассчитывалась как отношение подсчитанных пыльцевых зерен к объему пробы.

Скважиной (Точка 188-YuV) на поверхности поймы вскрыта ледяная жила (ПЖЛ 1) на глубине 0.6- 0.7 м.[\[12\]](#) Над головой жилы залегает горизонтальный шлир льда мощностью 3 см, простирающийся вдоль всей береговой зоны. Перекрывающие жилу отложения сильнольдистые, криотекстура от микролинзовидно-слоистой до неполносетчатой, встречаются включения и примазки торфа. Над осевой частью жилы по трещине располагается росток шириной в верхней части 7 см. Образцы на палинологический анализ были отобраны вдоль оси жилы и по горизонтали на глубине 1.2 м, образцы на химический анализ отобраны вдоль оси (рис. 5).

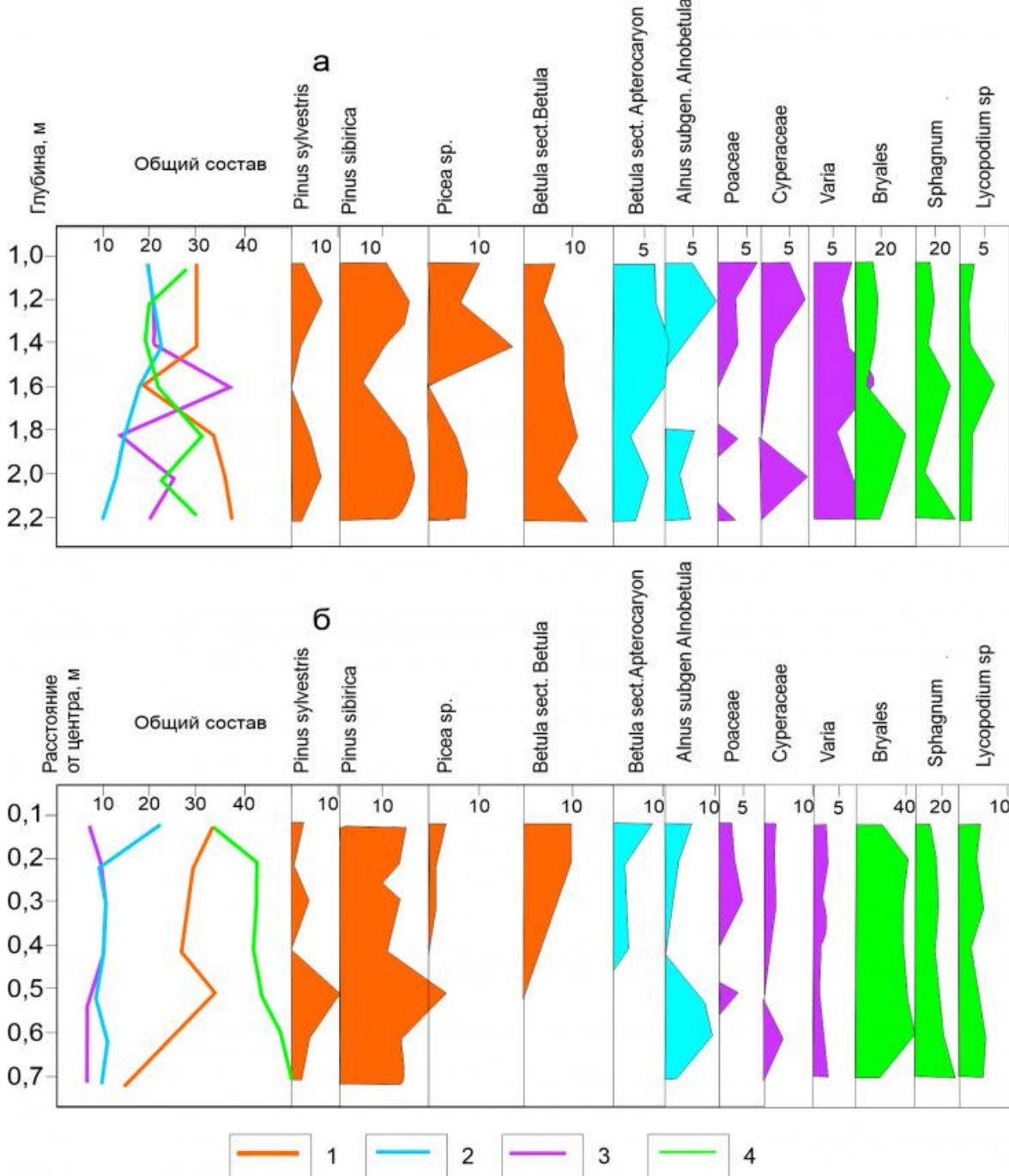
n



**Рис. 5.** Схема отбора образцов из повторно-жильного льда в отложениях высокой поймы р. Леккато Сё: а – ПЖЛ1(точка 186-YuV): 1 – торф талый коричневый 2 – супесь серая мерзлая; песок; 3 – повторно-жильный лед; 4 – СТС; 5 – точки отбора образцов льда на химический анализ; 6 – точки отбора на палинологический анализ

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

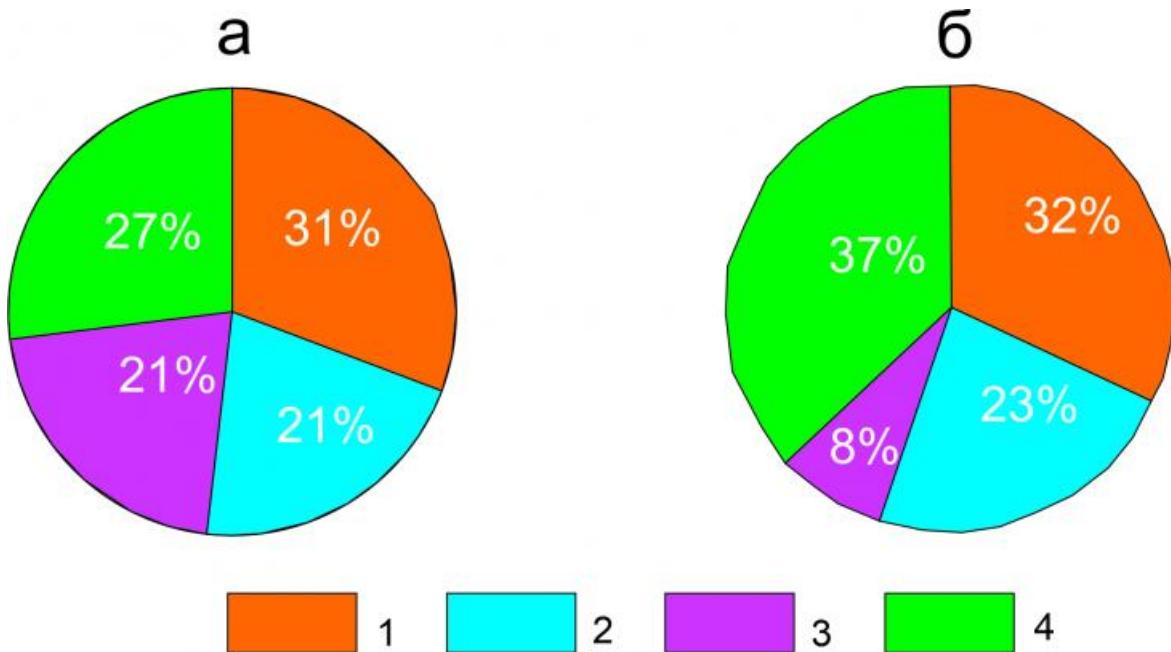
Высокая концентрация пыльцы и спор – 800-900 экз./л в жилах на р. Ляккатосе позволила провести сопоставление результатов горизонтального и вертикального отбора с достаточной степенью точности. Состав таксонов в палинспектрах по горизонтали и вертикали совпадает практически полностью, но отмечаются различия даже на уровне сопоставления общего состава. Палинспектры, характеризующие ледянную жилу по горизонтали и вертикали, продемонстрировали существенные различия в соотношении основных компонентов палинспектров. За счет того, что расстояние по горизонтали между элементарными жилками значительно меньше, отмечаются заметные колебания содержания пыльцы древесных пород и кустарников. Минимальное содержание пыльцы древесных пород (19%) фиксируется на глубине 1.6 м, а в горизонтали на расстоянии 0.7 м от оси (17%), однако палинспектры заметно различаются. Для палинспектров из образцов горизонтального отбора характерно доминирование спор, в основном зеленых мхов, для палинспектров вдоль оси характерно гораздо более низкое содержание спор (22-33%) и выраженные колебания в их содержании. Среди пыльцы древесных пород преобладает пыльца кедра сибирского (5-25%), максимум отмечен на расстоянии 0.5 м от оси (горизонтальный отбор). Постоянно встречается пыльца сосны обыкновенной (1-10%), максимум пыльцы сосны совпадает с локализацией максимума содержания пыльцы сибирского кедра. Основное различие палинспектров горизонтального и вертикального отбора в группе древесных пород заключается в различном содержании пыльцы ели и березы. Если вдоль оси жилы пыльца ели (2-13%) и березы (6-14%) отмечается постоянно, то в палинспектрах горизонтального отбора пыльца ели (2-4%) отмечена только до 0.3 м от оси жилы, а березы (2-14%) до 0.4 м от оси жилы.



**Рис. 6.** Спорово-пыльцевая диаграмма голоценового повторно-жильного льда на высокой пойме р.Ляккатосё: а) а - вертикальный отбор, б - горизонтальный отбор: 1 – пыльца древесных пород; 2 – пыльца кустарников; 3 – пыльца травянистых растений; 4 – споры

Аналогичное распределение прослеживается в группе кустарников. Пыльца карликовой берески (4-17%) прослеживается до 0.4 м от оси жилы, максимальное содержание на расстоянии 0.1 м от оси, вдоль оси жилы ее присутствие постоянно (5-18%). Еще более выразительны различия в содержании пыльцы ольховника (2-13%): она исчезает из состава палинспектров вертикального отбора на глубине 1.6 м, а в палинспектрах горизонтального отбора встречается постоянно. Содержание пыльцы трав и кустарничков также различается, хотя она представлена в основном пыльцой ветроопыляемых злаков и осок: в осевой части ледяной жилы пыльца трав и кустарничков варьирует в пределах 17-39%, а в горизонтали ее содержание заметно меньше (6-10%). Пыльца разнотравья представлена семействами верескоцветных, розоцветных, гвоздичных и бобовых. На глубине 1.6 м

Близкие по составу палиноспектры выявлены только в одном случае. образцы Ближайший к центру жилы образец на расстоянии 0,1 м от оси с глубины 1,2 м характеризуется примерно таким же палиноспектром, как и палиноспектр образца с глубины 1,2 м из центральной части ледяной жилы. Различия отмечаются в группе трав и кустарничков, и спор, в то время как пыльца древесных пород и кустарников содержится практически в одинаковых количествах (рис. 7). То есть различия касаются скорее локальных компонентов палиноспектра, в то время как региональный сигнал отразился в палиноспектрах одинаково.



**Рис. 7.** Общий состав палиноспектров (%) в ледяной жиле на глубине 1.2 м : а - центральная (осевая) часть, б - на расстоянии 0.1 м от оси: 1 - пыльца деревьев, 2 - пыльца кустарников, 3 - пыльца трав и кустарничков

Вполне естественно, что отсутствует общая последовательность кульминаций тех или иных пыльцевых таксонов. Это означает, что растрескивание на данном участке происходило хаотично и не обязательно осевой части ледяной жилы.

Различия первую очередь определяются глубиной растрескивания, величина которой может меняться под воздействием нескольких факторов.

Нижние части ледяной жилы «хвосты» в какой-то момент «консервируются» в них уже не попадает новых порций льда, в то время как сама ледяная жила растет в высоту. Таким образом, в горизонтальном сечении головы даже голоценовой жилы мы можем проследить только заключительную часть процесса ее образования. Отметим, что процесс растрескивания хаотичен и растрескивание в 30% случаев проходит не по центру жилы. По мере того как на поверхности жилы происходит все новое и новое растрескивание и накопление элементарных жилок, нижняя ее часть выходит из зоны активного растрескивания. Вследствие этого, отбирая образцы сингенетического жильного льда по вертикальной оси, мы отбираем группы элементарных жилок, которые накапливались последовательно и поэтому можем говорить о возможности восстановления по спектрам последовательности тех или иных ландшафтных событий. При горизонтальном отборе такое возможно только при одновременном AMS датировании льда и, разумеется, при заложении нескольких горизонтальных профилей, причем, чем больше вертикальные размеры жилы, тем большее количество таких горизонтальных

профилей отбора необходимо.

### Таблица 1

Содержание и состав воднорастворимых солей в повторно-жильных льдах в низовьях р. Ляккатосё (из Н.А. Буданцевой, Ю.К. Васильчука [12])

№ образца	Глубина отбора, м	Сухой остаток, мг/м	Содержание ионов, мг/л (%-экв)							Cl <sup>-</sup> /SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	pH
			HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Fe общ.		
<b>Жила 1</b>											
<b>186-YuV/4</b>	0,7-1,3	<b>182,0</b>	<b>85,4</b>	<b>37,2</b>	8,2	<b>7,4</b>	3,9	<b>23,7</b>	<b>16,8</b>	<b>4,54</b>	6,
<b>186-YuV/5</b>	1,4-2,0	60,0	30,5	17,4	4,1	1,8	1,7	19,1	0,14	<b>4,24</b>	6,
<b>186-YuV/6</b>	2,1-2,5	<b>48,0</b>	12,2	<b>10,6</b>	2,5	1,8	1,1	8,3	00,2	<b>4,24</b>	4,
<b>186-YuV/7</b>	2,6-3,0	88,0	<b>36,6</b>	25,2	4,1	<b>7,4</b>	<b>5,6</b>	10,01	2,2	<b>6,15</b>	6,
<b>Жила 2</b>											
<b>188-YuV/1</b>	0,7-0,8	<b>192,0</b>	0	19,0	3,3	6,4	1,7	3,45	11,2	<b>5,76</b>	4,
<b>188-YuV/5</b>	0,7-0,8	90,0	24,4	15,5	4,9	2,8	1,1	16,3	-	3,16	6,
<b>188-YuV/8</b>	1,0-1,15	<b>186,0</b>	12,2	19,0	5,8	7,4	4,5	2,8	-	3,28	4,
<b>188-YuV/9</b>	1,2-1,4	<b>152,0</b>	<b>48,8</b>	<b>35,1</b>	<b>30,4</b>	4,6	2,8	<b>44,4</b>	0,6	1,15	6,
<b>188-YuV/10</b>	1,4-1,57	<b>174,0</b>	<b>42,7</b>	28,1	<b>43,6</b>	5,6	<b>5,0</b>	<b>38,87</b>	-	0,64	7,
<b>188-YuV/11</b>	1,7-1,76	<b>196,0</b>	<b>73,2</b>	<b>33,7</b>	<b>46,9</b>	6,4	<b>5,6</b>	<b>53,4</b>	0	0,72	7,
<b>188-YuV/12</b>	1,76-2,05	<b>160,0</b>	18,3	24,6	<b>45,3</b>	6,4	4,5	<b>28,5</b>	0	0,54	6,
<b>188-YuV/13</b>	2,06-2,3	<b>168,0</b>	12,2	16,9	18,1	5,6	2,2	9,9	3,2	0,93	5,

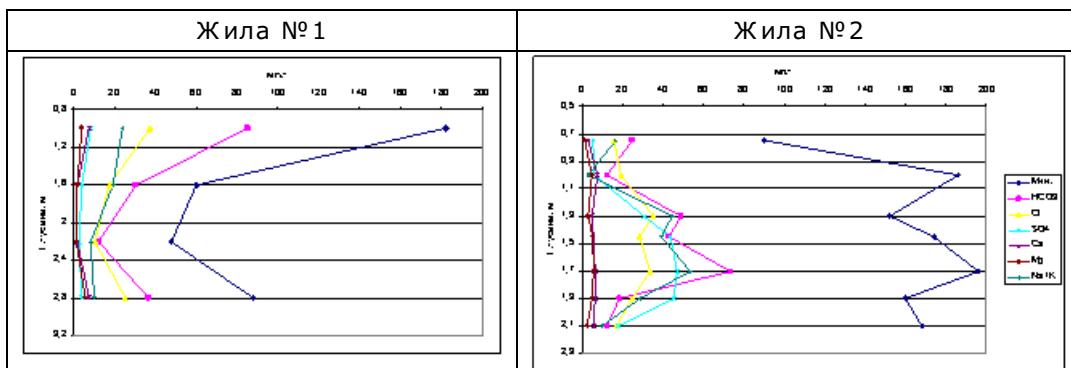
### Таблица 2

Содержание и состав спорово-пыльцевых спектров в повторно-жильных льдах в низовьях р. Ляккатосё

Гл./	пыльца			споры	палинотаксоны							
	Расст	Дере-	Кус-		споры	Pinus	P.	Picea	Betu-	B.	Alnus.	Poa
От оси	вьев	тарн	куст.		syl-	sibi-		la	Sect.	s.g.	-сеае	ra
					vestris.	rica.		sect	Apt.	Alno		
								Bet.		bet		
1	30	19	20	31	4	11	9	6	10	9	6	6

-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>1,20</b>	31	21	21	27	5	14	7	4	8	13	5		
<b>1,4</b>	32	23	23	22	2	10	<b>13</b>	6	<b>18</b>	6	4		
<b>1,6</b>	19	17	<b>39</b>	25	3	5	2	9	<b>17</b>	0	4		
<b>1,8</b>	<b>35</b>	15	17	<b>33</b>	3	13	9	10	10	5	2		
<b>2</b>	<b>38</b>	12	26	24	<b>8</b>	<b>16</b>	8	6	9	3	0		
<b>2,2</b>	<b>41</b>	10	20	29	3	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>14</b>	5	5	5		
<b>0,1</b>	32	<b>23</b>	8	37	2	<b>16</b>	4	10	17	6	3		
<b>0,2</b>	30	8	10	<b>52</b>	1	15	2	12	4	4	4		
<b>0,3</b>	29	11	10	<b>50</b>	5	14	2	8	9	2	5		
<b>0,4</b>	27	10	10	<b>53</b>	1	12	0	14	8	2	1		
<b>0,5</b>	37	8	8	<b>47</b>	10	25	0	2	0	8	4		
<b>0,6</b>	27	12	7	<b>54</b>	8	19	0	0	0	12	3		
<b>0,7</b>	17	10	6	<b>67</b>	3	14	0	0	0	10	0		

Минерализация льда жил отличается: в первой жиле минерализация в целом низкая, от 48 до 88 мг/л, за исключением верхней части жилы, в которой минерализация составляет 182 мг/л. Для второй жилы минерализация льда, за исключением верхнего слоя льда, варьирует в диапазоне 150-200 мг/л (табл. 1, рис. 8). В составе ионов во льду обоих жил преобладают гидрокарбонаты (от 12,2 до 85,4 мг/л), хлориды (от 10,6 до 37,2 мг/л) и сумма натрия и калия (от 2,8 до 53,4 мг/л). Показательно, что наиболее низким значениям содержания суммы  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  соответствуют наиболее низкие значения pH – 4,5-4,7, наиболее высоким значениям суммы  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  – наиболее высокие значениям pH – 7,1-7,5 (см. табл. 1).



**Рис. 8.** Вариации значений минерализации и содержания основных ионов в повторно-жильных льдах на пойме р.Лаккатосё

#### **Пыльца и споры на поверхности и в толще снега – основной ресурс палиноспектров в повторно-жильных льдах**

Снежный покров основной источник формирования повторно-жильных льдов, поэтому его можно рассматривать как депонирующую среду для пыльцы и спор, попадающих в повторно-жильный лед. Пыльца и споры содержатся в снегу в любых природных ландшафтах в которых в течение низкотемпературного сезона сохраняется снежный покров. Наличие пыльцы или спор в снегу доказывает, что в палиноспектрах существует дальнезаносная пыльца. В приполярных районах концентрация пыльцы очень низкая: от 1 до 15 пыльцевых зерен на литр талого снега, то в полярных ледниках их концентрация выше, и составляет до нескольких сотен пыльцевых зерен. Концентрация пыльцы и спор в подземных льдах в области развития многолетнемерзлых пород составляет в среднем 10-500 экз./л, в отдельных случаях достигая тысячи и более экземпляров. [4,5]

**Пыльца и споры в снегу и на поверхности полярных ледников.** Пыльца и споры выпадают на поверхность снежного покрова и в зоне арктических пустынь, и в тундре, и в лесной зоне. Большинство дальнезаносных пыльцевых зерен нельзя отличить от местной пыльцы в летнем пыльцевом дожде. Но в течение зимы, когда пыльца местных растений отсутствует, можно получить доказательства участия в палиноспектрах дальнезаносной пыльцы. Концентрация пыльцы и спор, поступающих на поверхность снежного покрова в течение зимнего сезона, и состав палиноспектров может сильно варьировать год от года. Иллюстрацией этого могут служить и состав палиноспектров в снежном покрове и в горных и полярных ледниках.

**Спорово-пыльцевая характеристика снега севера Финляндии.** В течение двух лет исследовался зимний пыльцевой дождь в окрестностях г. Хельсинки.[\[13\]](#) Известно, что отдельные пылинки попадают в верхние части воздушных масс и переносятся на очень большие расстояния. На основании этого исследования сделана попытка выяснить происхождение экзотической пыльцы в позднеплейстоценовых отложениях.

Так же рассмотрена проблема переноса пыльцы эфедры. Пыльца эфедры часто встречается в позднеплейстоценовых, голоценовых и современных отложениях Финляндии. Это пыльца двух видов эфедры (*Ephedra distachia E. fragilis*). Зимой 1965 и 1969 гг. на территории Финляндии и Швеции отмечено выпадение красного снега. По данным палинологического анализа этого снега получен вывод об источнике материала – южные районы российских степей. Однако было обнаружено только одно пыльцевое зерно эфедры в снегопаде 1965 г. В настоящее время основное место произрастания эфедры – это причерноморские и прикаспийские степи, где как раз формировалась, та пыль, которая окрасила снег в красный цвет. Те пыльцевые зерна эфедры, которые изредка встречаются в отложениях фландря (период голоцена), могут иметь аналогичное происхождение.

Содержание пыльцы трав в снегопаде 1969 г. было очень высокой, и это может объяснить наличие пыльцы степной растительности в древних отложениях. В озерных и болотных отложениях позднего фландря отмечена пыльца степных растений, таких как *Chenopodiaceae, Rumex, Plantago, Brassicaceae, Polygonum, Compositae, Artemisia*. Они обычно рассматриваются как индикаторы воздействия доисторического человека (CIP). Возможно, что часть пыльцы не имела отношения к первобытному человеку. Большинство дальнезаносных пыльцевых зерен нельзя отличить от местных в летнем пыльцевом дожде. Но в течение зимы, когда пыльца местных растений отсутствует, могут быть получены доказательства присутствия дальнезаносной пыльцы. Поэтому был поставлен опыт по улавливанию пыльцы зимой.[\[13\]](#)

Образцы снега были получены из снежных профилей и из ловушек пыльцы. В 1985-86 гг. разрезах снежного покрова в слоях, относящихся к ноябрю-декабрю, пыльцы не обнаружено. Но, удивительная вещь, в ловушках пыльца аккумулировалась практически всю зиму с 1.11. по 31.3. Пыльца, попавшая в ловушки в ноябре и, особенно в декабре сформировалась не в Финляндии. Палинокомплекс характеризуется преобладанием пыльцы бересклета, злаков и полыни, а также пыльцой трав, таких как, например крапива, сложноцветные, маревые, мареновые, щавель.[\[13\]](#) В декабре-январе содержание пыльцы злаков достигло 50%, а полыни около 10% от общего состава спектра.

В марте наблюдался самый высокий процент содержания пыльцы ольхи, что, очевидно, отражало весенний пыльцевой дождь. В снегу, отобранным 19 марта, содержание пыльцы ольхи было уже значительно ниже. В разрезах снежного покрова пыльцевые

зерна встречены после декабря. Снег этого года содержал около 75 зерен на см<sup>2</sup>. На глубине 30-40 м снег содержал в изобилии, как пыльцу деревьев, так и пыльцу трав их состав был сходен с тем, получен по пыльцевым ловушкам. В целом результаты этого года подтвердили ветровой занос пыльцы из районов, не покрытых снежным покровом.

В 1986/87 гг. данные, полученные по пыльце из снега, значительно отличались. Очень большое количество пыльцы было обнаружено в нижних слоях снежного покрова, где наблюдались прослои коричневого снега. При этом было очевидно, что пыльца сформировалась в ближайших от места сбора образцов окрестностях: наличие зерен ели наряду с высоким содержанием пыльцы сосны и березы, а также маревых и злаков предполагают местное происхождение палиноспектров. Отмечены споры папоротника, произрастающего неподалеку, а также пыльцы ржи, которая растет на соседнем поле. Образование прослоев коричневого снега связано с местным ветровым переносом. Сильный ветер сформировал своеобразные снежные дюны, перенося снег с поля к склонам. Нижние прослои содержали также большое количество минеральной массы и пыльцы. Поверхностные образцы содержали большое количество пыльцы ольхи и лещины. В обоих видах пыльцы наблюдались клеточные структуры.[\[13\]](#)

В данном исследовании не обнаружено никакой экзотической пыльцы, такой как, например (*Oleaceae*) была обнаружена Лундквистом и Бенгссоном. Все виды пыльцы травянистых могли принадлежать к местной флоре. В каждом разрезе снежного покрова встречено, по крайней мере, хотя бы одно зерно культурных злаков. Они достаточно тяжелы и не приспособлены к дальнему переносу.

Полученные данные свидетельствуют, что эта пыльца могла быть перенесена только вместе с пылью. Отметим, что пыльца кукурузы была обнаружена в красном снегу в 1965 и 1959 гг. Северные территории, такие как Финляндия, имеют постоянный снежный покров в течение всей зимы. Теоретически никакого цветения в этот время не происходит. Если исключить при этом эффект от попадания в снег пыльцы из эродированной почвы, то вся пыльца в снегу должно быть дальнезаносной из тех районов, где происходит цветение или из эродируемых почв с территорий без снежного покрова.[\[13\]](#)

Источник, откуда пыльца попала в снег, не может быть определен точно. Однако соотношение пыльцы древесных и травянистых растений такое же, как и в палиноспектрах из снежного покрова в 1969 г. Значение содержания пыльцы невелико 75-200 экз./см<sup>2</sup> по сравнению с годичным поступлением, например в районе Хельсинки оно составляет 5000-6000 экз./см<sup>2</sup>. Эти данные получены по ловушкам 1982 и 1983 г. золовый материал с полей мог повлиять на эти значения. Изучение содержания пыльцы дает приблизительное представление о том, какая пыльца может поступать в качестве дальнезаносной. Обычно ее содержание не превышает несколько сотен пылинок на 1см<sup>2</sup>. Поступление пыльцы в озерные осадки суббореального и субатлантического времени голоцен на юге Финляндии превышают эту величину в десятки раз. Если предположить, что аналогичный почвенный материал с пыльцой поступал, например, в осадки фландрья, то та пыльца, которая считается антропогенным индикатором, может быть дальнезаносной. Если содержание пыльцы древесных больше 1000 экз., эту пыльцу определить точнее. Пыльца эфедры может быть инструментом этого определения.

Индикаторы древних поселений очень редки в палиноспектрах озер и болот.[\[13\]](#)

**Спорово-пыльцевая характеристика снега и льда Полярного Урала.** Работы Т.Г.Суровой (по снежникам Полярного Урала[\[14,15\]](#) проводились примерно на 67° с.ш.

Они были посвящены выявлению зависимости между составом растительности и рецентных спорово-пыльцевых спектров в зонах высокого и низкого снегонакопления. При этом отбирались пробы изо льда ледника Олений, сезонный снег фирновая область ледника ИГАН лед ледника ИГАН (№№ 20,22,23,24).

Пробы отбирались на высоте 1000-1200 м над уровнем моря. Пробы с поверхности почв отражают средний пыльцевой дождь за несколько лет, в то время как количество лет или сезонов, которые отражены в составе спорово-пыльцевых спектров из снежного покрова и льда, определяется параметрами отбора образцов.

Для образцов изо льда характерно невысокое содержание пыльцы сосны обыкновенной, вероятно отражающее сезонное поступление пыльцы на поверхность ледника.

Пыльца сибирского кедра содержится в количестве близком к максимальному по сравнению с поверхностными пробами почв в долине реки Большая Хадата.

Пыльца лиственницы не встречена ни в снежном покрове, ни во льду,[\[14,15\]](#) возможно это связано с тем, что попадая на снег, пыльца лиственницы быстро разрушается из-за пребывания в пресной воде.[\[16\]](#)

В поверхностных пробах почв и дернины содержание пыльцы лиственницы хоть и не отражает ее роль в местных растительных ассоциациях, но указывает на ее присутствие. Содержание пыльцы ели, древовидной берески, ивы примерно совпадает с содержанием их пыльцы в почвенных пробах. Довольно высоко содержание пыльцы ольховника. в снежном покрове, но во льду его содержание минимально по сравнению с почвенными пробами.

По сравнению с почвенными пробами содержание пыльцы карликовой берёзки несколько ниже. Характерной особенностью палиноспектров изо льда и снега является полное отсутствие пыльцы трав и спор зеленых мхов. Зато содержание спор сфагновых мхов превышает 50% от общего количества подсчитанных пыльцевых зерен и спор.

Заметно высоко также содержание спор многоножковых папоротников.[\[15,16\]](#)

Палиноспектры из снежного покрова и льда в данном случае, по нашему мнению,[\[17\]](#) отражают зимне-весеннюю составляющую регионального пыльцевого дождя, поскольку пыльца трав, цветущих в летний

Поскольку влажные воздушные массы, идущие с запада, задерживаются горными хребтами, и благодаря более теплому, сухому и продолжительному лету на восточном склоне Полярного Урала лиственничные и березовые леса встречаются на 100 км севернее и значительно выше в горах, чем на западном склоне. Верхняя граница леса в южной части Полярного Урала в Предуралье представлена береской и пихтой, в Зауралье – елью и лиственницей. Редкие березовые и лиственничные леса встречаются в северной части Полярного Урала а восточных склонах по долинам рек, на западных склонах по долинам рек в основном кустарниковые виды ив и берес. Южная граница ареала сибирского кедра находится в этом районе на 66°с.ш. Интересно, что условия произрастания ближе к вершине горного хребта лучше, чем на равнинных участках. Причина заключается в хорошем дренаже и более благоприятном температурном режиме из-за того, более холодный, а оттого более плотный и тяжелый воздух стекает с гор вниз и застаивается в долинах и на равнинных участках. на Полярном Урале четко выражены горно-тундровый и подгольцевый пояса. Древесные породы основной источник пыльцы. Лиственница сибирская *Larix sibirica* Ledeb. в подгольцовом поясе южной части Полярного Урала формирует редколесья, а в горно-лесном поясе сомкнутые древостоя.

В северной части Полярного Урала по долинам рек Байдарата (и ее притоков), Щучья, Лаптаяха формирует редколесья по южным склонам гор, а в долинах Няровей-Хадаты и Б. Хадаты появляются сомкнутые древостои, часто с примесью ели. Южнее Б. Хадаты в горной части по долинам рек лиственница обычна. В предгорьях восточного макросклона и в равнинной лесотундре является основным лесообразующим видом. Ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) в подгольцовом и горно-лесном поясах в южной части Полярного Урала обычна, формирует примесь к лиственничным древостоям, реже доминирует. В северной части Полярного Урала севернее р. Б. Хадата, в долине которой местами доминирует. В равнинной лесотундре обычна, по чаще как примесь к лиственнице. Сосна сибирская, сибирский кедр *Pinus sibirica* Du Tour встречается в долинах рек, по окраинам торфяных болот; очень редко, наиболее северные единичные местонахождения зафиксированы у оз. Ворчато, в долине р. Нелька.<sup>[17]</sup>

В типичных растительных сообществах Южной части Полярного Урала **травяно-кустарниковово-мохово-лишайниковые горные тундры** приуроченных к каменисто-щебнистым склонам, почвообразующая порода – суглинки, общее проективное покрытие около 70–100%. Травы довольно редки, доминируют кустарнички *Vaccinium uliginosum* subsp.*microphyllum*, *Ledum decumbens*. Проективное покрытие мхов от 10–20% (*Racomitrium lanuginosum*) до 30–40% (встречаются также *Limprechtia revolvens* (Sw.) Loeske, *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. in B.S.G.).<sup>[17]</sup> В растительных сообществах ерниковых кустарниковово-(травяно)-лишайниково-моховых горных тундр в южной части Полярного Урала под кустарниковым ярусом высотой 7–20 см и сомкнутостью 0,4 преимущественно произрастают *Ledum decumbens* и *Vaccinium uliginosum* subsp. *microphyllum* (ПП = 20–60%). Моховой покров мозаичный,<sup>[17]</sup> представлен в основном зелеными мхами. Среди трав встречаются представители семейств камнеломковых, гречишных. Растительный покров вокруг ледника несомкнутый проективное покрытие не превышает 30%. В виде небольших куртин вблизи ледникового озера встречены растения семейств Poaceae, Ranunculaceae, Saxyfragaceae, Polygonaceae.

Полученные результаты палинологического исследования продемонстрировали, что палиноспектры с поверхности ледника Романтик<sup>[17]</sup> существенно отличаются от палиноспектров поверхностных проб в тундровой зоне.<sup>[16]</sup> Прежде всего, палиноспектры с поверхности ледника отличаются обилием и разнообразием пыльцы теплолюбивых деревьев, процентное содержание пыльцы термофильных пород в общей сложности составило 8-22%, это в основном *Tilia* и *Corylus*, отмечено присутствие пыльцы *Carpinus*, *Acer*, *Quercus*, *Fraxinus*, *Ulmus*. При этом пыльца *Tilia* (1-6%) встречена практически во всех образцах, почти также часто встречается пыльца *Corylus*(2-3.5%). Пыльца *Carpinus* (0.4-1.2%) отмечена в снегу года отбора образца и во льду, пыльца *Ulmus* и *Fraxinus* отмечена в снегу и фирне. В палиноспектрах доминирует пыльца *Pinus sylvestris* и *Betula sect. Albae*. Если высокое содержание пыльцы березы обусловлено тем, что и в Предуралье и в Зауралье она участвует в составе горных лесов, то более низкое содержание пыльцы *P. sibirica* вероятно говорит о том, что на ледник Романтиков воздействуют в основном воздушные массы, приходящие с юго-запада, где сосна доминирует в лесах. Вполне закономерно присутствие пыльцы *Picea* и *Abies*, как участников фитоценозов в подгольцовом поясе, практически во всех образцах в среднем 4-5%. Незначительное участие пыльцы кустарников находится в соответствии с их практическим отсутствием в окрестностях. Скудная растительность в окрестностях ледника довольно подробно отражается в палиноспектрах на его поверхности. Отмечена пыльца семейств Saxyfragaceae, Ericaceae, Caryophyllaceae, Polygonaceae (*Polygonum*

*bistorta*), Rosaceae и др. Присутствие пыльцы Rosaceae, Ranunculaceae зафиксировано в пыльцевых спектрах придонной воды ледникового озера, в снегу и льду. Polypodiaceae (11-19%) и *Sphagnum* (14-27%) преобладают среди спор, хотя их местообитания удалены на значительное расстояние от ледника. Максимальная концентрация пыльцы и спор отмечена в чистом льду 579 экз./л, минимальная -231 экз./л – также в чистом льду.

Мы обнаружили небольшое количество (1-3%) пыльцы Rosaceae и Cyperaceae, а также спор Polypodiaceae в спектрах пыльцы, полученных с поверхности снежника в районе пос. Полярный (Полярный Урал) ( $66^{\circ}25'23''N$ ,  $64^{\circ}29'51''E$ ). Однако пыльца злаков и осок, а также спор папоротников не была обнаружена в спектрах пыльцы небольшого ледника, расположенного неподалеку [17]. Последний характеризуется более высоким содержанием *Pinus sylvestris* (26-36%), *P. sibirica* (9-16%), *Betula sect. Nanae* (8-11%) и спор *Sphagnum* (18-26%), в то время как содержание пыльцы Ericaceae не превышает 1%. Споры Bryales и *Equisetum* не обнаруживаются в спектрах пыльцы ни снега, ни льда.[17]

Палиноспектры из снежника на пляже Карского моря на полуострове Мамонта ( $71^{\circ}55'43''N$ ,  $76^{\circ}10'44''E$ ) характеризуется обилием пыльцы Ericales (25-30%), пыльцы Rosaceae и Cyperaceae (19-30%), незначительным участием *Betula sect. Nanae* (6-12%) и пыльцы трав (9-15%), наряду с довольно высоким уровнем дальнезаносной пыльцы (*Pinus sylvestris* + *P. sibirica*-9-11%). Споры, обнаруженные в снежниках и на поверхности морских льдин, - это Bryales (10-27%) и *Sphagnum* (4-6%). Содержание переотложенных палиноморф невелико, не более 1-3%. Палиноспектры снежников отражают состав окружающего растительного покрова, но содержат дальнезаносные компоненты в заметном количестве. Соотношение пыльцы и спор региональных и локальных компонентов относительно дальнезаносных определяется пыльцевой продуктивностью анемофильных растений локальных и региональных фитоценозов.

Состав палиноспектров на поверхности ледника Романтиков в большой степени отражает особенности атмосферной циркуляции на южном склоне. Если сравнивать полученные результаты с результатами, полученными Т.Г.Суровой по леднику ИГАН[15], то заметно отличие. Ледник ИГАН расположен на высоте 1000-1200 м над уровнем моря. Палиноспектры ледника ИГАН характеризуются преобладанием пыльцы *Pinus sibirica* и *Betula sect. Nanae*. Пыльца сибирского кедра содержится в количестве близком к максимальному по сравнению с поверхностными пробами почв в долине реки Большая Хадата. Для образцов изо льда характерно невысокое содержание пыльцы *Pinus sylvestris*, вероятно отражающее сезонное поступление пыльцы на поверхность ледника, в то время как на леднике Романтиков пыльца сосны доминирует. Пыльца лиственницы не встречена ни в снежном покрове, ни во льду,[16] возможно это связано с тем, что, попадая на снег, пыльца лиственницы быстро разрушается из-за пребывания в пресной воде. Пыльца лиственницы также не отмечена и на леднике Романтиков. Характерной особенностью палиноспектров изо льда и снега на обоих ледниках является полное отсутствие пыльцы трав и спор зеленых мхов. Зато содержание спор сфагновых мхов в споровых-пыльцевых спектрах ледника ИГАН превышает 50% от общего количества подсчитанных пыльцевых зерен и спор. Заметно высоко также содержание спор многоножковых папоротников [18]. Это подтверждает, что споры этих растений хорошо переносятся ветром, толстая спорина не дает разрушаться спорам, попавшим на лед. Палиноспектры из снежного покрова и льда в данном случае, по нашему мнению, отражают зимне-весеннюю составляющую регионального пыльцевого дождя, поскольку пыльца трав, цветущих в летний сезон отсутствует в палиноспектрах ледника ИГАН. На леднике Романтиков пыльца трав местных видов содержится в небольшом количестве, но при этом ее состав достаточно разнообразен. Возможно этому способствует локальные

ветры и возможно метелевый перенос, который в этом районе весьма интенсивен. Очевидно, что ледник Романтиков и ледник ИГАН находятся под воздействием различных воздушных масс. Присутствие пыльцы липы, вяза, лещины, клена и других широколиственных пород во льду и снежном покрове ледника Романтиков свидетельствует на наш взгляд о движении воздушных масс с юга на север вдоль Уральского хребта в период цветения широколиственных пород в мае-июне. Об этом же говорит и высокое процентное содержание пыльцы сосны обыкновенной, которая на Полярном Урале не встречается, а произрастает на Северном Урале. Известно, что в среднем дистанция, на которую переносится пыльца в благоприятных условиях (скорости ветра 23-39 км/час и наличие соответствующих атмосферных структур) составляет 1000-2500 км.<sup>[16]</sup> По разнообразию представленных в спектрах палинотаксонов можно сказать, что палиноспектры поверхностных проб ледника Романтиков близки к палиноспектрам, которые были определены на куполе Вавилова.<sup>[18]</sup> Очевидно, что причины этого сходства разные. На куполе Вавилова выпадение пыльцы происходит в результате внедрения среднеширотных фронтальных штормов в арктическую зону – это важная особенность синоптического режима высокой Арктики, которая в наибольшей степени способствует привносу дальнезаносной пыльцы, а также пыльцы и спор из тундровых и лесотундровых районов.

**Спорово-пыльцевая характеристика снега и льда Ямала.** Палиноспектры снежников речных и морских льдов формируются в том же режиме, что и палиноспектры ледников, т.е. здесь накапливаются палиноморфы и летнего и зимнего сезонов. Палиноспектры снежников подвергаются трансформации, связанный с режимом существования снежников. В течение лета во время таяния снега пыльца и споры частично стекают с поверхности снежников. В табл. 3 представлены наиболее насыщенные пыльцой и спорами образцы, содержание пыльцы и спор, в которых типично для тех подзон тундры, где они были отобраны.

**Таблица 3.** Состав пыльцы и спор в снегу п-вов Ямал, Гыданский (%)

Точка отбора и состав образца	Матюй-Сале снежник, пляж Карского моря, июль	Харасавэй, морская льдина, пляж, август	Устье р.Харасавая, Снежник, пляж Карского моря, август	Р.Гыда снежник на пойме реки Карского моря, июль	Устье р.Гыда, лед из Гыданской губы, июль	70 км западу от п.Мыс Каменский снежник в овраге, август	Мыс Ка-менный лед из Обской губы, июль
Пыльца деревьев	12,3	14,3	11,7	12,4	13,1	30,6	29,6
Пыльца кустарников	1,5	14,3	12,7	15,1	25,3	10,6	0,6
Пыльца трав и кустарничков	46,0	55,9	52,1	32,3	55,1	54,1	49,4
Споры	40,2	15,5	23,5	40,3	5,4	4,7	20,4
Larix	-	0,6	0,5	-	-	-	0,6
Pinus sibirica	1	7,1	6,6	5,9	6,0	0,4	3,6
Pinus silvestris	-	3,6	1,4	-	-	0,7	5,1

Picea	-	3	1,9	-	-	0,4	2,1
Betula	8,8	-	1,4	6,5	7,7	25,9	15,2
Alnus	1	-	-	-	0,6	2,5	2,1
Betula sect. Nanae	1,5	6,5	10,3	11,3	7,7	10,6	0,6
Alnaster	-	1,8	2,3	-	3,0	0,7	-
Salix	-	6,0	-	-	11,3	-	-
Poaceae	23,7	24,4	21,1	13,5	19,6	4,2	14,0
Cyperaceae	13,3	29,7	9,4	13,0	24,0	10,5	14,4
Ericaceae	4,5	24,4	2,8	-	6,5	20,8	10,9
Artemisia	0,5	-	4,2	0,5	1,8	6,1	1,8
Asteraceae	1,0	-	0,5	-	-	0,8	0,9
Chenopodiaceae	1,0	-	-	-	-	-	-
Varia	-	1,8	14,1	3,0	1,8	14,7	5,1
Bryales	32,7	0,3	0,3	16,6	2,9	-	17,3
Sphagnum sp.	3,2	8,8	12,5	-	2,4	3,4	0,8
Polypodiaceae	1,3	1,6	0,8	-	-	0,9	-
Huperzia selago	0,5	-	-	-	0,6	-	1,1
Lycopodium sp	-	-	0,5	-	-	-	1,1
Equisetum sp	-	4,8	9,4	23,7	-	0,4	-
Экз/кв.м	129	132	214	77	83	229	379
Переотложенные, %,	4,8	7,9	2,2	-	2,0	0,5	1,3
Зерна с разрывными нарушениями, %	22,2	24,5	21,0	24,1	26,4	23,5	24,4
Сумма подсчитанных зерен	270	443	571	389	364	429	487

Отметим, что содержание пыльцевых зерен и спор с разрывными нарушениями близко для всех образцов от 22,2 до 26,4% от суммы подсчитанных пыльцевых зерен и спор.

Попавшие на снег пыльца и споры попадают в воду с низкой минерализацией. Пыльца лиственницы и пыльца других видов с низким содержанием спорополленина в такой среде быстро разрушается. [\[16\]](#)

Наличие пыльцевых зерен с разрывными нарушениями также обусловлено разрушающим действием кристаллов льда при снижении температуры на поверхности льда или снега ниже нуля. В целом состав палиноспектров снежников близок к составу субфоссильных почвенных проб и по содержанию дальнезаносной соответствует зональным палиноспектрам.

Состав палиноспектров снежников, речных и морских льдов также как и состав палиноспектров горных и полярных ледников отражает сезонность накопления пыльцы и спор. Так в палиноспектрах снежников и льдин, отобранных в августе содержание местной пыльцы гораздо выше, пыльца полыни отмечена даже на поверхности снежника в арктических тундрах.

Если сравнить палиноспектры снежника, образцы из которого были отобраны в августе и палиноспектры из льдины Обской губы, из образца отобранного в начале июля, то

заметно различие в содержании пыльцы кустарников. В июльском образце пыльца кустарников, в основном карликовой берески встречается единично и отражает возможность дальнего переноса.

В то время как на поверхности снежника в августе пыльца кустарников в районе п. Мыс Каменный на Ямале составляет более 10%. Отметим частую встречаемость спор сфагновых мхов и многоножковых папоротников в августовских палиносспектрах, это отражает их локальное происхождение.

Анализ состава палиносспектров выделенных с поверхности морского и губского льда, продемонстрировал близость состава палиносспектров со снежников и льдин. Это дало возможность установить, что исследованные льдины не были принесены течением из других районов.

Когда пыльцевые зерна и споры попадают на поверхность снежника или льда они подвергаются дополнительной деструкции при промерзании и таянии воды на поверхности снежника или льдины. Процентное содержание палиноморф с разрывными нарушениями во всех образцах превышает 20% и колеблется от 21% до 26,4%.

В образцах поверхностных проб с почвенного покрова в этих же районах содержание палиноморф с разрывными нарушениями в среднем составляет 3-5%.[\[16\]](#) Однако на поверхности почвенного покрова поврежденные пыльца и споры довольно быстро разрушаются, а на поверхности снежника они сохраняются несколько дольше.

Июльские палиносспектры, выделенные нами с поверхности льдин и снежников очень сходны с палиносспектрами из повторно-жильных льдов. В них также отражается пыльцевой дождь, состоящий преимущественно из дальнезаносных компонентов.

Поскольку основной источник питания повторно-жильных льдов – это талая снеговая вода, то состав пыльцы и спор в толще снежного покрова соответствует составу палиносспектров повторно-жильных льдов. Образец свежевыпавшего снега, отобранный в январе у пос. Харасавэй (табл. 4) содержал небольшое количество пыльцы. Однако состав палиносспектра очень показателен, он наглядно демонстрирует, какая пыльца переносится даже в зимнее время. Это пыльца сосны обыкновенной, верескоцветных, полыни и споры сфагновых мхов. Все эти палиноморфы могут попасть в повторно-жильный лед весной.

**Таблица 4.** Состав палиносспектров из свежевыпавшего снега в криолитозоне (экз.)

Состав образца	Точка отбора образца		Состав образца	Точка отбора образца	
	Пос. Харасавэй, январский снег	Низовья р. Колымы, снегопад в августе		Пос. Харасавэй, январский снег	Низовья р. Колымы, снегопад в августе
Пыльца деревьев	3	15	<i>Ericaceae</i>	1	1
Пыльца кустарников	–	9	<i>Artemisia</i>	3	4
Пыльца трав и кустарничков	4	31	<i>Asteraceae</i>		8

Споры	3	2	<i>Chenopodiaceae</i>		2
<i>Larix</i>		-	<i>Varia</i>		18
<i>Pinus sibirica</i>		8	<i>Bryales</i>		2
<i>Pinus silvestris</i>	3	3	<i>Sphagnum sp.</i>	3	-
<i>Picea</i>	-	3	<i>Polypodiaceae</i>	-	-
<i>Betula</i>	-	1	<i>Huperzia selago</i>	-	-
<i>Alnus</i>	-	-	<i>Lycopodium sp</i>	-	-
<i>Betula sect. Nanae</i>	-	6	<i>Equisetum sp</i>	-	-
<i>Alnaster</i>	-	2	Экз/л	11	114
<i>Salix</i>	-	1	Переотложен- ные,	1	-
<i>Poaceae</i>	-	3	Зерна с разрывными нарушениями, %	-	33
<i>Cyperaceae</i>	-	5	Сумма подсчитанных зерен	11	57

Состав палиноспектров из снега, выпавшего в районе разреза Бизон в низовьях Колымы, оказался очень интересным. В снегу была обнаружена недоразвитая пыльца разнотравья, трехбороздная с гладкой, тонкой, легко сминающейся экзиной без морфологических признаков.

В позднеплейстоценовых палиноспектрах содержание подобной пыльцы может достигать 60-80%. Однако в современных поверхностных пробах такая пыльца практически не встречается, скорость ее разрушения очень велика.

Она быстрее съедается микрофауной. В снегу, выпавшем в конце второй декады августа такой пыльцы оказалось больше, чем других пыльцевых зерен.

На наш взгляд, высокое содержание недоразвитой пыльцы в снегу моделирует условия позднего плейстоцена. Вероятно, снег выпадал на цветущие растения и их пыльца консервировалась в снежном покрове и в сингенетически промерзающих отложениях. Весной недоразвитые пыльцевые зерна попадали в повторно-жильные льды во время снеготаяния.

Таким образом недоразвитая пыльца разнотравья попадала в снежный покров, в отложения формирующегося ледового комплекса и в сингенетические повторно-жильные льды в результате резкой смены температур, когда снег выпадал на цветущие растения.

Ещё раз подчеркнём, что в зимнем снеге в криолитозоне и в повторно-жильных льдах фиксируется наличие дальнезаносной пыльцы древесных, а также полыни и верескоцветных.

Вполне естественно, что отсутствует общая последовательность кульминаций тех или иных пыльцевых таксонов. Это означает, что растрескивание на данном участке происходило хаотично и не обязательно осевой части ледяной жилы.

Для интерпретации данных палинологического анализа рассмотрим также химическую характеристику ледяных жил на пойме р. Ляккатосё. ПЖЛ 1 была расположена в

пониженней части высокой поймы р. Ляккатосё, а ПЖЛ 2 несколько выше. Это отразилось на особенностях химического состава ледяных жил. В ПЖЛ 1 минерализация в интервале от 1.4 -3.0 м составляет 48-88 мг/л и только на глубине 0.7-1.3 м минерализация повысилась до 188 мг/л. В ПЖЛ 2 (которая была изучена палинологически), минимальное содержание сухого остатка 90 мг/л на глубине 0.7-0.8 м, но в основном, минерализация льда гораздо выше: 152-196 мг/л. Показатель pH в ПЖЛ 1 соответствует среднему значению для снежного покрова 6.2-6.45.

В ПЖЛ 1 на пойме р. Ляккатосё отношение  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  характеризуется значениями 4.24-6.15, что демонстрирует влияние вод Обской губы, которое могло осуществляться посредством подтоплений в результате сгоно-нагонных явлений, подобных которым мы наблюдали в процессе полевых работ. Это отношение во льду ПЖЛ 2 несколько ниже. В интервале глубин 0.7-1.15 м отношение  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  составило 3.16-5.76, а в интервале 1.2-2.3 м это отношение имеет значения 0.54-1.15, т.е. лед нижней части жилы накапливался при незначительном участии подтопления речными водами.

Вероятно воздействием вод Обской губы можно объяснить заметное присутствие пыльцы ели, нехарактерное для повторно-жильных льдов Ямала.[\[16\]](#) Известно, что пыльца ели довольно хорошо переносится водой, и несколько хуже, по сравнению с пыльцой сосны, при помощи ветра. Поступление пыльцы ели в повторно-жильный лед в данном случае можно связать с подтоплениями поймы р. Ляккатосе водами Обской губы. Это подтверждается находками пыльцы ели на поверхности льдин из Обской губы

Снежный покров основной источник формирования повторно-жильных льдов, поэтому его можно рассматривать как депонирующую среду для пыльцы и спор, попадающих в повторно-жильный лед. Пыльца и споры содержатся в снегу в любых природных ландшафтах, в которых в течение низкотемпературного сезона сохраняется снежный покров. Наличие пыльцы или спор в снегу доказывает, что в палиоспектрах существует дальнезаносная пыльца. В приполярных районах концентрация пыльцы в снегу очень низкая: от 1 до 15 пыльцевых зерен на литр талой воды, вснежном покрове полярных ледников их концентрация выше, и составляет до нескольких сотен пыльцевых зерен, это связано с тем, что на снег полярных ледников пыльца и споры выпадают круглый год, а в тундре, только когда формируется устойчивый снежный покров. Концентрация пыльцы и спор в подземных льдах в области развития многолетнемерзлых пород составляет в среднем 10-500 экз./л, в отдельных случаях достигая тысячи и более экземпляров.[\[4,5\]](#). Представляет интерес информация о пыльце и спорах, содержащихся в зимнем снеге. Образец свежевыпавшего снега, возможно подвергшемуся метелевому переносу, отобранный в январе у пос. Харасавэй, содержал небольшое количество пыльцы (см. табл. 4). Однако состав палиоспектра очень показателен, он наглядно демонстрирует, какая пыльца переносится даже в зимнее время. Это пыльца сосны обыкновенной, верескоцветных, полыни и споры сфагновых мхов. Пыльца и споры этих растений могут попасть в повторно-жильный лед из снега весной, когда снег начнет таять. Близкие по составу палиоспектры были получены В.В.Украинцевой, исследовавшей снег у Северного полюса. Отметим также значение фактора метелевого переноса для формирования палиоспектров в снегу. В зимний сезон метелевый перенос снега над поверхностью земли ветром, скорость которого превышает 5 м/с, частое атмосферное явление на Ямале. В течение всего сезона низких температур пыльца и споры, выпавшие на поверхность снежного покрова, перемещаются при возникновении метелей, которые здесь наблюдаются на Ямале с сентября по май.

Палиноспектр из снега, выпавшего в августе в низовьях р. Колыма (см. табл. 4) почти не содержал спор, пыльца древесных пород представлена дальнезаносной пыльцой сосен обыкновенной и сибирской, отсутствовала пыльца лиственницы, которая доминировала в растительном покрове в точке отбора снега. Поскольку снег характеризуется низкой минерализацией, то пыльца с низким содержанием спорополленина, к которой относится пыльца лиственницы, в такой среде быстро разрушается.<sup>[16]</sup> Палиноспектр из августовского снега содержал заметное количество локальной пыльцы разнотравья. Очевидно, что это один из путей попадания локальных пыльцы и спор в повторно-жильный лед. Конечно при условии, если снег выпадет и уже не будет таять до весны, тогда пыльца и споры, содержащиеся в самых нижних слоях снежного покрова могут попасть в повторно-жильный лед в период снеготаяния.

Июльские-августовские палиноспектры, выделенные нами с поверхности льдин и снежников очень сходны с палиноспектрами из повторно-жильных льдов, но отличаются от палиноспектров поверхностных проб. В них также отражается пыльцевой дождь, состоящий преимущественно из дальнезаносных компонентов.

Поскольку основной источник питания повторно-жильных льдов – это талая снеговая вода, то состав пыльцы и спор в толще снежного покрова в общем соответствует составу палиноспектров повторно-жильных льдов.

## **Выводы**

1. Пыльца и споры на поверхности и в толще снега - основной источник формирования палиноспектров в повторно-жильных льдах.
2. Сопоставление результатов палинологического анализа образцов горизонтального и вертикального направлений отбора в повторно-жильном льду показало, что отсутствует общая последовательность кульминаций тех или иных пыльцевых таксонов. Это доказывает хаотичность процесса растрескивания относительно оси жилы на данном участке.
3. Вертикальный и горизонтальный отбор образцов для палинологического анализа дополняют друг друга, поэтому для получения полной палинологической информации необходимо производить и горизонтальный и вертикальный отбор. Преимущество данных, полученных при вертикальном отборе, состоит в том, что мы получаем нормальный временной ряд событий. При горизонтальном отборе, учитывая хаотичность растрескивания мы получаем информацию об отдельных событиях, но не об их последовательности, что требует дополнительного датирования, например  $^{14}\text{C}$  AMS микроКлючений органики или пыльцевого концентрата.
4. Синхронные палиноспектры в повторно-жильных льдах характеризуются близким процентным содержанием дальнезаносных пыльцы и спор (региональный сигнал), содержание локальных компонентов может заметно различаться.

## **Библиография**

1. Васильчук Ю.К. Основные элементы стратегии полевого опробования повторно-жильных льдов для изотопного и радиоуглеродного анализа // Арктика и Антарктика. 2022. № 3. С.35-53. DOI: 10.7256/2453-8922.2022.3.38895 EDN: JIITKC URL: [https://e-notabene.ru/arctic/article\\_38895.html](https://e-notabene.ru/arctic/article_38895.html)
2. Opel T., Dereviagin A.Yu., Meyer H., Schirrmeister L., Wetterich S. Palaeoclimatic information from stable water isotopes of Holocene ice wedges on the Dmitrii Laptev Strait,

- northeast Siberia, Russia // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2011. Vol. 22. N1. P. 84-100. doi: 10.1002/ppp.667
3. Meyer H., Opel T., Laepple L., Dereviagin A.Yu., Hofmann K., Werner M. Long-term winter warming trend in the Siberian Arctic during the mid- to late Holocene // *Nature Geoscience*. (2015). Vol. 8. P. 122-125. doi: 10.1038/NGEO2349
4. Васильчук А.К. *Палинология и хронология полигонально-жильных комплексов в криолитозоне России* / Под ред. действительного члена РАН, профессора Ю.К. Васильчука. М.: Изд-во Моск ун-та. 2007. 488 с.
5. Васильчук А.К. *Палинология и хронология повторно-жильных льдов* / Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук. М. 2009. 362 с. Автореферат 50 с.
6. Юрковская Т.К., Сафонова И. Н. Зональное деление растительного покрова Западной Сибири // *Ботанический Журнал* 2019. Т. 104. № 1. С. 3-11.
7. <http://www.pogodaiklimat.ru/history/20967.htm>)
8. URL: <https://rp5>
9. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/20967.htm>
10. Трофимов В.Т., Васильчук Ю.К., Баулин В.В. и др. *Геокриология СССР. Западная Сибирь*. М.: Недра. 1989. 454 с.
11. URL: [pollendata.org](http://pollendata.org).
12. Буданцева Н.А., Васильчук Ю.К. Геохимический состав голоценовых повторно-жильных льдов Южного и Центрального Ямала // Арктика и Антарктика. 2017. № 1. С. 1-22. DOI: 10.7256/2453-8922.2017.1.22485 URL: [https://e-notabene.ru/arctic/article\\_22485.html](https://e-notabene.ru/arctic/article_22485.html)
13. Sarmaja-Korjonen K. Pollen rain in the winter // *The first meeting of Finnish palaeobotanists; state of the art in Finland. May 2-4 1990. Publications of Karelian Institute, University of Joensuu*. Ed. E. Gronlund. Vol. 102. 1992. P. 51-59.
14. Сурова Т.Г. Субреентные спорово-пыльцевые спектры ледниковых районов Шпицбергена // *Материалы гляциологических исследований*. Вып. 43. 1982. С. 157-160.
15. Сурова Т.Г. Субреентные спорово-пыльцевые спектры зон малого и большого снегонакопления на Полярном Урале // *Материалы гляциологических исследований*. Вып. 45. 1982. С. 130-136.
16. Васильчук А.К. *Особенности формирования палиноспектров в криолитозоне России*. М.: Изд-во Моск ун-та. 2005. 245 с.
17. Васильчук А.К., Васильчук Д.Ю. Палиноспектры ледников Полярного Урала // Арктика и Антарктика. 2020. № 4. С. 1-14. DOI: 10.7256/2453-8922.2020.4.34641 URL: [https://e-notabene.ru/arctic/article\\_34641.html](https://e-notabene.ru/arctic/article_34641.html)
18. Андреев А.А., Николаев В.И., Большиянов Д.Ю., Петров В.Н. Результаты палинологических исследований ледяного керна с ледникового купола Вавилова, Северная Земля // *Материалы гляциологических исследований*. Вып. 83. 1997. С. 112-120.

## Результаты процедуры рецензирования статьи

*В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.*

*Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).*

Предмет исследования являются, по утверждению автора, спорово-пыльцевые спектры в голоценовых ледяных жилах на пойме реки Лекатосё, Восточный Ямал.

Методология исследования исходя из анализа статьи можно сделать вывод отборе проб специально изготовленным кольцевым ледовым буром для спорово-пыльцевого анализа

проводился с учетом морфометрических особенностей ледяных жил с учетом количества и протяженности элементарных жилок. В условиях лаборатории осадок со дна флякона, отстоявшегося не менее 24 часов отбирался для анализа пыльцы и спор. Обработка образцов для анализа пыльцы включала испарение осадка, дефлокуляцию с использованием KOH, центрифугирование, фильтрацию через сите 40 мкм, 10 мкм и 2 мкм и помещение образцов пыльцы в глицерин. Идентификация пыльцы и спор производилась под световым микроскопом при увеличении 400x на базе авторской палинологической коллекции в лаборатории Северной геоэкологии МГУ им. М. В. Ломоносова. Автором также использовался метод литературного анализа, сравнительных характеристик объектов и процессов алгоритмического и математического моделирования.

Актуальность затронутой темы связано с тем, что исследование палинспектры из повторно-жильного льда, полученные из образцов при вертикальном и горизонтальном отборе с учетом химического состава изучаемых ледяных жил для оценки интерпретационных возможностей результатов палинологического анализа повторно-жильных льдов голоценовые ледяные жилы на южной границе северных гипоарктических тундр, где пыльцевая продуктивность уже довольно высокая, что позволяет получить кондиционный счетный материал.

Научная новизна заключается в том, что автор статьи на основе проведенных исследований по сопоставлению результатов палинологического анализа образцов горизонтального и вертикального направлений отбора в повторно-жильном льду показало, что отсутствует общая последовательность кульминаций тех или иных пыльцевых таксонов. Это доказывает хаотичность процесса растрескивания относительно оси жилы на данном участке. Вертикальный и горизонтальный отбор образцов для палинологического анализа дополняют друг друга, поэтому для получения полной палинологической информации необходимо производить и горизонтальный и вертикальный отбор. Преимущество данных, полученных при вертикальном отборе, состоит в том, что мы получаем нормальный временной ряд событий.

Стиль, структура, содержание стиля изложения результатов достаточно научный. Статья снабжена богатым иллюстративным материалом, рисунки, фотографии и схемы иллюстративны уместны.

Библиография весьма исчерпывающая для постановки рассматриваемого вопроса.

Апелляция к оппонентам представлена в выявлении проблемы на уровне имеющейся информации, полученной автором в результате анализа.

Выводы, интерес читательской аудитории в выводах есть обобщения, позволяющие применить полученные результаты. Целевая группа потребителей информации в статье не указана.