

УДК 551.345.2:546.027

## ЛОКАЛЬНЫЕ ПАЛИНОСПЕКТРЫ – НОВЫЙ КРИТЕРИЙ НЕЛЕДНИКОВОГО ГЕНЕЗИСА ПЛАСТОВЫХ ЛЬДОВ

© 2010 г. А. К. Васильчук, Ю. К. Васильчук

Представлено академиком Н.С. Касимовым 10.12.2009 г.

Поступило 14.12.2009 г.

Пластовые залежи льдов являются одним из самых опасных криогенных явлений, влияющих на хозяйственную деятельность в пределах зоны развития многолетнемерзлых пород. Это стало особенно ощутимо в связи с активным освоением районов Крайнего Севера, потребовавшим масштабных исследований пластовых льдов и уточнения их генезиса. Такие исследования были выполнены на мысе Шпиндлера [1], на южном побережье Байдарацкой губы [2], в районе пос. Марресале [3] и пос. Харасавэй [4] на западе Ямала, а также в районах Бованенково [5], в долине Юрибея [6] и на оз. Нейто [7] в центре Ямала, в долине р. Еркутаяха [8].

По все этим залежам генетическая интерпретация очень неуверенная, несмотря на довольно высокую степень изученности, неоднократное повторение исследований, детальные криостратиграфические описания, достаточно полное аналитическое обследование [9]. При этом одни и те же признаки строения и состава могут интерпретироваться по-разному [10]. В общем виде альтернативность выводов сводится к дилемме: это либо внутригрунтовый, либо погребенный ледниковый лед.

Цель работы – продемонстрировать новые индикационные возможности палинологического анализа и прежде всего локальных компонентов палиноспектров в качестве индикатора генезиса пластовых льдов, позволяющих уверенно отделять льды погребенных ледников от всех других типов пластовых льдов, поскольку в ледниках арктических куполов локальные пыльца и споры накапливаться не могут.

Многолетние палинологические исследования подземных залежеобразующих льдов позволили выделить несколько характерных особенностей их палиноспектров. Кратко эти характерные черты можно определить так:

пыльца и споры содержатся практически во всех разновидностях залежеобразующих подзем-

ных льдов, их концентрация колеблется в пределах 50–1500 экземпляров в 1 кг льда или в 1 л расплава льда;

в большинстве пластовых залежей выявлены палиноспектры с характеристиками, близкими к характеристике субфоссильных тундровых палиноспектров, с преобладанием пыльцы карликовой березки, верескоцветных, спор зеленых мхов;

в пластовых залежах льдов часто можно встретить дочетвертичные палиноморфы кайнозойского, мезозойского и палеозойского возраста, переотложенные из более древних отложений;

в большинстве исследованных пластовых залежей обнаружены пыльца гидрофильных растений, таких как рдест, ежеголовник, рогоз, а также споры хвощей и остатки пресноводных диатомовых и зеленых водорослей.

Для выявления палинологических признаков неледниковой природы ледяных залежей мы изучили состав палиноспектров снежного покрова и арктических ледников и выделили те особенности палиноспектров, которые могут указывать на ледниковое происхождение льда. Палиноспектры арктических ледяных куполов существенно различаются по структуре и составу от палиноспектров льдов иного происхождения.

Для уверенной индикации генезиса подземных льдов, а точнее, их ледникового и неледникового происхождения нам представляется рациональным прежде всего рассмотреть палиноспектры арктических ледников как возможные аналоги льдов заведомо ледниковой природы. Также нам видится важным выделить те элементы палиноспектров льда и снега ледниковых арктических куполов, которые либо непременно должны встречаться в подземных льдах погребенного ледникового типа, либо обязательно отсутствовать в подземных льдах неледникового происхождения.

Структура палиноспектров арктических ледников определяется прежде всего особенностями циркуляции воздуха над ледниками. Дж. Буржуа [11] проанализировала состав пыльцы и спор в снежном покрове и ледяных куполах Канадской и Российской Арктики: купола Девон, Агассиса, Комсомолец, Пенни и др. Более 95% пыльцы и

**Таблица 1.** Сопоставление встречаемости отдельных компонентов палиноспектров в полярных ледниковых шапках и пластовых льдах Канадской и Российской Арктики

Локальные компоненты палиноспектров	Пластовые льды неледникового генезиса					Ледниковые льды и их снежный покров					
	Устье р. Гыда [9]	Бованенково [5]	Верховья р. Юрибей, (Ямал) [9]	Низовья р. Юрибей (Ямал) [9]	Устье р. Маккензи [14]	Купол Академии наук, о. Комсомлец [11]	Ледник ИГ АН, Полярный Урал [13]	Ледниковый купол Девон [11]	Ледниковый купол Агассиса [11]	Ледниковый купол Киагива [11]	Ледниковый купол Пенни [11]
Пыльца термофильных видов деревьев. <i>Acer</i> , <i>Fraxinus</i> , <i>Quercus</i> , и <i>Ulmus</i> , <i>Populus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Abies</i>	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	+	+	++	++	Не обн.	+
Пыльца морошки	+	+	+	+	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
Пыльца водных растений (рдест, ежеголовник)	+	+	+	+	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
Пыльца верескоцветных	+	+	+	+	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	+	Не обн.	+
Споры зеленых мхов	+++	++	++	++	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
Споры хвощей	Не обн.	++	++	+	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
Переотложенные	Не обн.	++	++	++	+++	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
Диатомовые водоросли	+	+	+	+	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
Зеленые водоросли	+	+	+	+	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.

Примечание: + – встречается в количестве 0.1–10%; ++ – встречается в количестве 10–20%; +++ – встречается в количестве более 20% от общей суммы подсчитанных зерен.

спор перенесены на огромное расстояние, а следовательно, являются дальнезаносными. Среди них выделяется группа дальнезаносной экзотической пыльцы термофильных древесных пород и группа региональной пыльцы растений северной тайги и тундры [12].

Наличие в палиноспектрах льдов экзотической пыльцы термофильных растений без признаков размыва и переотложения в водной среде может свидетельствовать в пользу ледникового происхождения ледяной залежи. Нами установлено, что содержание современной экзотической пыльцы для субфоссильных палиноспектров тундр составляет менее одного пыльцевого зерна на тысячу подсчитанных зерен [12].

В палиноспектрах льда и снежного покрова полярных ледников пыльца верескоцветных растений встречается крайне редко, ее количество в среднем составляет примерно два пыльцевых зерна на тысячу подсчитанных зерен, максимальное ее содержание 1–2%. А вот для тундровых палиноспектров это обычный компонент, во многих случаях доминантный [12]. Поэтому заметное участие в палиноспектрах пыльцы верескоцветных может указывать на неледниковое происхождение льда.

Еще один важный индикатор – споры зеленых мхов. Они не встречены в ледниках Арктических куполов [11, 12] и не обнаружены на Полярном Урале. Даже во льду и снежном покрове ледников ИГАН и Олений на Полярном Урале [13] отсутствуют споры зеленых мхов и пыльца лиственницы, несмотря на то, что эти растения участвуют в фитоценозах, окружающих ледники. В палиноспектрах из снежника в районе пос. Полярный (Полярный Урал) в небольших количествах (1–3%) нами отмечена пыльца *Roaseae*, *Suraceae* и споры *Polypodiaceae*, которые не встречены в палиноспектрах льда небольшого карового ледника, расположенного поблизости [12]. В его палиноспектрах отмечено более заметное по сравнению с палиноспектрами из снежника содержание пыльцы *Pinus sylvestris* (26–36%), *P. sibirica* (9–16%), *Betula sect. Nanae* (8–11%), а также спор сфагновых мхов (18–26%), содержание пыльцы верескоцветных во льду не превышает 1%. Споры зеленых мхов и хвощей в палиноспектрах как снега, так и льда не обнаружены [12].

Пыльца гидрофитов *Potamogeton*, *Sparganium* и *Typha* встречается исключительно редко [11]: по нашей оценке менее одного пыльцевого зерна на тысячу подсчитанных зерен [12]. Следовательно,

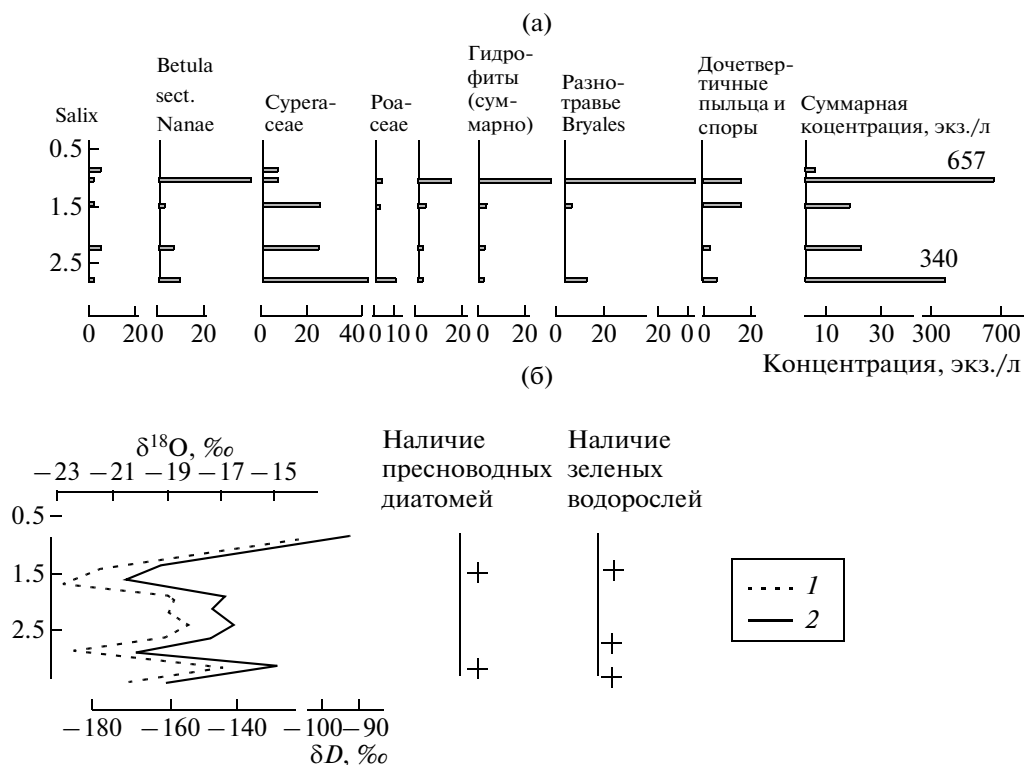


Рис. 1. Палиноспектры: а – пластовой ледяной залежи № 4 в толще третьей террасы Бованенковского ГКМ, б – изотопный состав льда в тех же образцах. Изотопные кривые – распределение  $\delta^{18}O$  (1) и  $\delta D$  (2).

наличие пыльцы гидрофильных растений, которая переносится преимущественно водой, можно считать признаком неледникового происхождения льда. К ним можно добавить еще и споры хвощей, которые не встречаются в составе палиноспектров ледников, в палиноспектрах тундровой зоны они встречаются в среднем в количестве 1–4%.

Низкое содержание пыльцы гидрофильных растений во льду и снеге ледников связано с тем, что пыльца и споры растений гидрофилов практически не имеют приспособлений для переноса по воздуху, зато они вполне приспособлены для переноса в водной среде.

Суммируя, отметим, что во льду и снежном покрове практически не встречается ряд компонентов, характерных для палиноспектров тундр (табл. 1). Это пыльца морошки, пыльца водных растений, которая плохо приспособлена для ветрового переноса, пыльца и споры хвощей и зеленых мхов. Содержание пыльцы верескоцветных в снеге на ледниках гораздо ниже, чем в тундровых палиноспектрах. Для палиноспектров ледников характерно доминирование пыльцы дальнезаносных растений как древесных пород, так и трав *Asper*, *Fraxinus*, *Quercus*, *Ulmus*, *Populus*, *Abies* и *Juniperus*.

В тундровых палиноспектрах, в том числе в палиноспектрах снежников, речных и морских льдин, среди дальнезаносной пыльцы очень редко отмечается экзотическая пыльца термофильных древесных пород: не более одного пыльцевого зерна на тысячу подсчитанных зерен.

Палинологическое изучение нескольких разнотипных залежей пластовых льдов, вскрытых в разрезах на Ямале, позволило нам верифицировать выделенные признаки и оценить происхождение залежей.

Пластовые льды на территории Бованенковского газоконденсатного месторождения широко распространены в виде пластов, лакколлитов, штоков и линз. Палинологически изученный пласт льда характеризуется существенными колебаниями изотопного состава (рис. 1). Здесь в интервале глубин от кровли пласта 0.2–0.8 м  $\delta^{18}O$  варьируется более чем на 10‰: от –12.49 до –22.75‰, а  $\delta D$  от –91.7 до –171.9‰ [5]. Пластовый лед содержит палиноспектры, близкие к палиноспектрам типичных тундр. Они характеризуются доминированием пыльцы карликовой березки, осок и спор зеленых, с заметным содержанием пыльцы водных растений, в основном *Sparganium* (3–4%). Единично обнаружена пыльца морошки. Встречена пыльца верескоцветных (2–3%). Содержание спор зеленых мхов составило 7–36%. Во льду

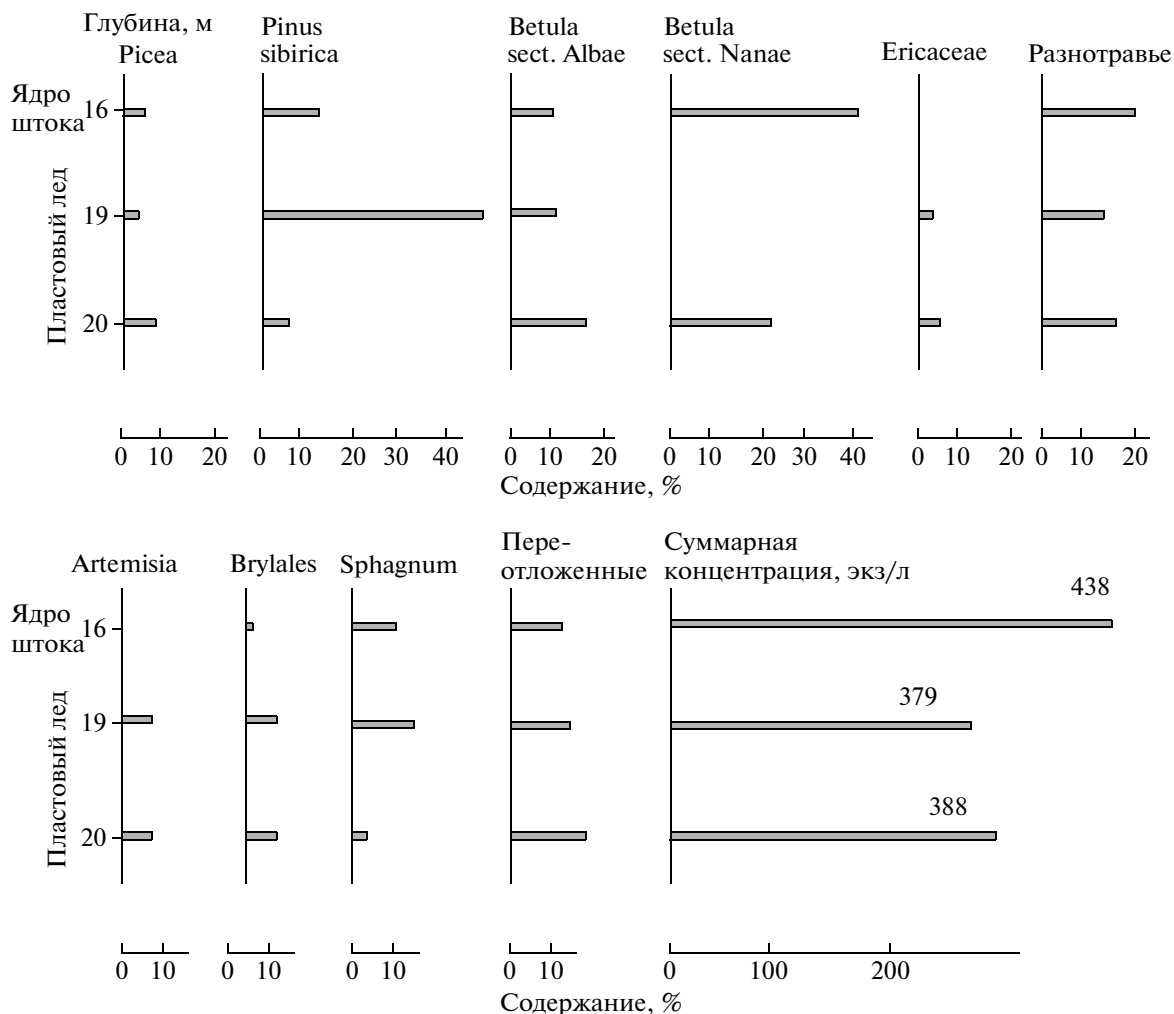


Рис. 2. Палиноспектры пластовой ледяной залежи в низовьях р. Юрибей (Ямал).

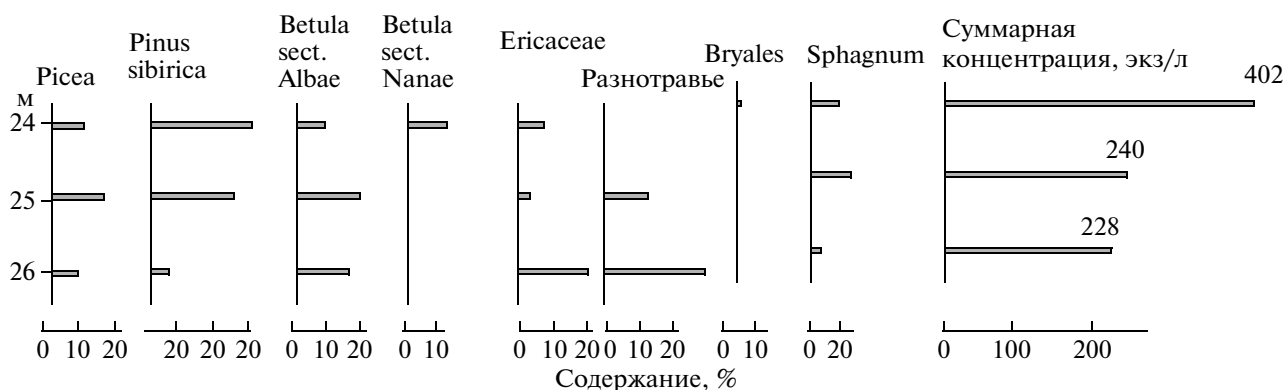


Рис. 3. Палиноспектры пластовой ледяной залежи в верховьях р. Юрибей (Ямал).

обнаружены переотложенные дочетвертичные пыльца и споры (2–9%), а также пресноводные диатомеи и зеленые водоросли. Полностью отсутствует экзотическая пыльца деревьев, и даже пыльца сосны, особенно характерная для снеж-

ного покрова и голоценового льда арктических ледников, встречается единично.

Концентрация пыльцы и спор в отдельных прослоях достигает 300–1300 экз/л; это также нехарактерно для арктических ледников: в них кон-

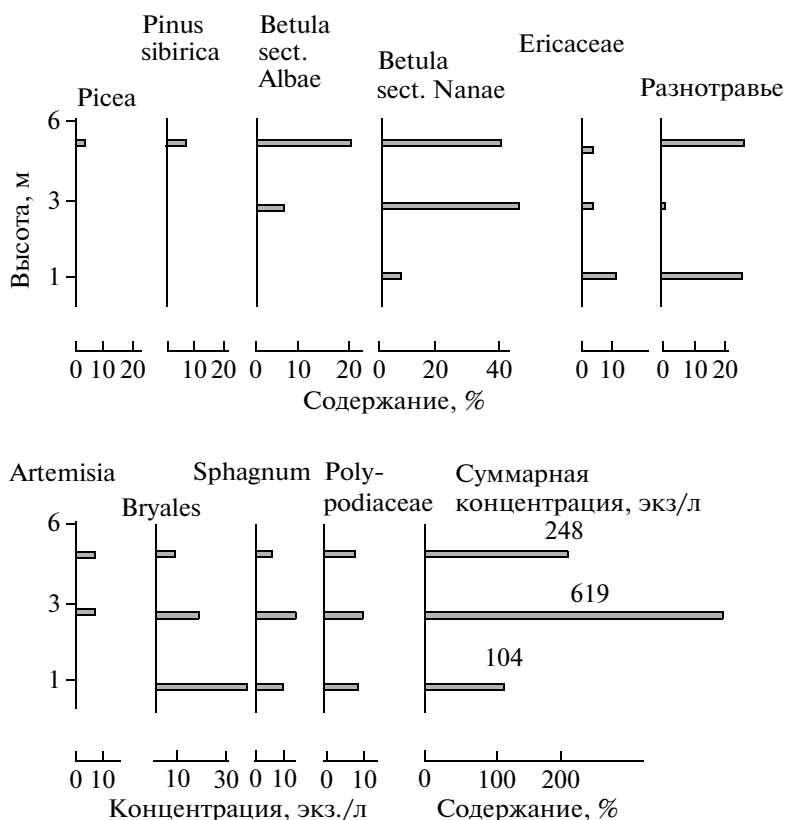


Рис. 4. Палиноспектры пластовой ледяной залежи в устье р. Гуда.

центрация гораздо ниже. Во льду встречены остатки диатомей рода *Pinnularia* и зеленых водорослей рода *Pediastrum*. Согласно проведенным исследованиям данная залежь не может относиться ко льду ледниковой или айсберговой природы.

Изученная нами [6, 9] в низовьях р. Юрибей на Ямале залежь пластового льда находится на глубине 15 м в толще темно-серых суглинков в разрезе останца казанцевской равнины (рис. 2). В осевой части пласта располагается ледяное ядро шириной в нижней части 3 м, в верхней 2.5 м. На контакте с этим ядром наблюдается льдогрунт, состоящий из прослоев льда мощностью до 0.5 м и суглинка мощностью 0.2–0.3 м, причем наклон слоев льдогрунта повторяет направление боковой поверхности ядра.

Экзотической пыльцы термофильных древесных пород в залежеобразующих льдах в низовьях р. Юрибей не обнаружено. Дочетвертичные переотложенные пыльца и споры составляют 10–17%. Пыльца морошки встречена единично 1–2%. Пыльца водных растений отмечена в одном образце 2.5% в горизонтально залегающем пласте льда. Содержание пыльцы верескоцветных составило 2–5%. Содержание спор зеленых мхов колеблется от 2 до 12%. Содержание спор хвощей 1–2%.

Встречены остатки диатомовых и зеленых водорослей. Следовательно, практически по всем признакам данная ледяная залежь не может иметь ледниковое происхождение.

В верховьях р. Юрибей пластовые льды описаны нами [10, 13] в суглинках в обнажении пятой террасы на глубине 21–22 м (рис. 3). Здесь вскрыты пластовые льды двух типов. В центральной части обнажения вскрывается ледяное и льдогрунтовое тело грушевидной формы (шириной до 3–3.5 м, высотой около 3 м), облекаемое слоями деформированных вмещающих пород. В боковой части слева в согласном залегании с почти субвертикальными слоями вмещающих отложений находится пласт горизонтально-слоистого льда шириной до 2.5 м, высотой около 3 м.

Экзотической пыльцы термофильных древесных пород в залежеобразующих льдах в низовьях р. Юрибей также не обнаружено. Пыльца хвойных отмечена в значительных количествах. При этом довольно высоко содержание пыльцы ели (11–17%), а также пыльцы кедра сибирского, содержание которого составляет 8–31%. Дочетвертичные переотложенные пыльца и споры встречаются в соотношении 2–4%. Отмечена пыльца морошки. Пыльца водных растений встречена в двух нижних образцах (1–3%). Содержание пыль-

цы верескоцветных составило 5–32%. Единично встречаются споры хвощей и зеленых мхов. Палиноспектры исследованной ледяной залежи несут признаки неледникового происхождения.

В разрезе низкой террасы в устье р. Ыда нами отмечены четыре яруса линзовидных пластов льда мощностью 0.3–0.4 м, длиной 6–8 м [9]. Пласты льда приурочены к оторфованным отложениям. Наряду с пластами льда отмечены сингенетические повторножильные льды. Палиноспектры, выделенные во льду [9, 12], отражают вариации растительности арктических и гипоарктических тундр (рис. 4) и свидетельствуют о неледниковой природе пластовых залежей близ пос. Ыда.

Палинологическая характеристика залежеобразующих льдов в дельте р. Маккензи близ пос. Тактояктак на северо-западе Канады [14] отличается от полученных нами палиноспектров пластовых льдов Ямала. Во льду пластовой залежи в дельте р. Маккензи дочетвертичные пыльца и споры содержатся в очень высокой концентрации. Они имеют характерный желто-коричневый оттенок и легко выделяются. Пыльца четвертичного возраста во льду представлена единичной пылью сосны и ели. Данная ледяная залежь, скорее всего не может иметь ледниковое происхождение.

В общем виде полученные результаты свидетельствуют, что для палиноспектров залежеобразующих льдов неледникового происхождения характерно:

отсутствие пыльцы экзотических термофильных видов *Acer*, *Fraxinus*, *Quercus*, *Ulmus*, *Populus*, *Tilia*, *Abies*, находящихся в первичном залегании;

присутствие пыльцы морошки, пыльцы гидрофилов, спор зеленых мхов и хвощей;

присутствие переотложенных пыльцы и спор.

Более дробное разделение пластовых ледяных залежей по типам на основании палинологических признаков требует дальнейшего изучения для получения статистически представительных закономерностей. Нам представляется, что палинологический анализ ледяных залежей может предоставить убедительные и, может быть, даже бесспорные доказательства того, является ли данный лед ледниковым или нет.

Работа выполнена при частичном финансировании РФФИ (гранты 08–05–01068 и 07–05–01100) и Федерального агентства по науке и инновациям (госконтракт 02.740.11.0337).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ingólfsson Ó., Lokrantz H.* // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2003. V. 14. Iss. 3. P. 199–215.
2. *Belova N.G., Solomatín V.I., Romanenko F.A.* IX International Conference on Permafrost. Fairbanks: Inst. Northern Eng. Univ. Alaska, 2008. V. 1. P. 107–112.
3. *Гатауллин В.Н.* Геокриологические исследования в Арктических районах: Материалы Международного симпозиума. Сборник статей. Ямбург, 1989. Тюмень, 1990. В. 1. С. 3–11.
4. *Каплянская Ф.А.* Пластовые льды криолитозоны. Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО АН СССР, 1982. С. 71–80.
5. *Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А. и др.* // ДАН. 2009. Т. 428. № 5. С. 675–681.
6. *Васильчук Ю.К.* Инженерные изыскания в строительстве. Реф. сб. ПНИИИС. М.: ПНИИИС, 1980. Сер. 1. В. 2. С. 17.
7. *Дубиков Г.И.* Состав и криогенное строение мерзлых толщ Западной Сибири. Монография. М.: Геос, 2002. 246 с.
8. *Астахов В.И.* Начала четвертичной геологии. Учебное пособие СПб.: Изд-во СПбГУ, 2008. 224 с.
9. *Васильчук Ю.К.* Изотопно-кислородный состав подземных льдов (опыт палеогеокриологических реконструкций). М.: Отдел теорет. проблем РАН; МГУ; ПНИИИС, 1992. Т. 1. 420 с.; Т. 2. 264 с.
10. *Васильчук А.К., Васильчук Ю.К.* // *Инженерная геология*. 2010. № 1. С. 24–38.
11. *Bourgeois J.C.* // *Rev. Palaeobot. and Palynol.* 2000. V. 108. Iss. 1/2. P. 17–36.
12. *Васильчук А.К.* Палинология и хронология полигонально-жильных комплексов в криолитозоне России. М.: Изд-во МГУ, 2007. 488 с.
13. *Сурова Т.Г.* // *Материалы гляциол. исслед.* 1982. В. 45. С. 130–136.
14. *Fujino K., Sato S.* Characteristics of the Massive Ground Ice Body in the Western Canadian Arctic Related to Paleoclimatology 1984–1985. Hokkaido: Inst. Low Temperature Sci.; Hokkaido Univ. Publ., 1986. P. 9–36.