

Пыльца и споры как индикатор генезиса пластовых льдов

А.К.Васильчук, Ю.К.Васильчук

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

Реферат

Сравнительное изучение остатков спор и пыльцы в подземных льдах Субарктики и наземных льдах Арктических островов проведено в целях криогенетической индикации. Показано, что компоненты характерные для палиноспектров тундр и внутригрунтовых залежеобразующих льдов практически никогда не встречаются во льду полярных ледников и в их снежном покрове. К этим компонентам относятся пыльца морошки и водных растений, плохо приспособленная для ветрового переноса, а также споры хвощей и зеленых мхов. Определены диагностические признаки палиноспектров полярных ледников.

Ключевые Слова: Ледниковые купола; палиноспектры; пластовые льды.

Введение

Пластовые залежи льдов являются одним из самых опасных криогенных явлений, влияющих на хозяйственную деятельность в пределах зоны развития многолетнемерзлых пород. Особенно это стало ощутимо в связи с активным освоением районов Крайнего Севера, которое потребовало масштабных исследований пластовых льдов и уточнения их генезиса. Несмотря на довольно высокую степень изученности, неоднократное повторение исследований, детальные криостратиграфические описания и достаточно полное аналитическое обследование, однозначная интерпретация не представляется возможной, поскольку одни и те же признаки строения и состава могут быть оценены принципиально по-разному. В общем виде альтернативность выводов сводится к дилемме: это либо внутригрунтовый, либо погребённый глетчерный лед.

Цель нашей работы – продемонстрировать новые индикационные возможности палинологического анализа, и прежде всего, локальных компонентов палиноспектров как индикаторов генезиса пластовых льдов.

Результаты исследования пыльцы и спор в подземных и наземных льдах

Палинологические исследования подземных льдов

Палинологическое изучение нескольких разнотипных залежей пластовых льдов, вскрытых в разрезах на полуостровах Ямал и Гыдан [Vasil'chuk & Vasil'chuk 2010a,b] позволило нам верифицировать выделенные признаки и оценить происхождение залежей. Исследования пластовых ледяных залежей позднелеистоценового возраста проведены нами в естественных обнажениях севера Западной Сибири: в низовьях и в верховье Юрибей (Ямальского), на территории Бованенковского газоконденсатного месторождения, в долине р. Танамы [Vasil'chuk et al. 1997], в устье р. Гыда. Пластовые льды на территории Бованенковского месторождения широко распространены в виде пластов, лакколлитов, штоков и линз. Изученный разрез ледяной линзы относится к позднелеистоценовым отложениям в останце третьей террасы. Согласно полученным нами радиоуглеродным датировкам эти пластовые льды сформировались в

интервале 25-20 тыс. лет назад [Vasil'chuk et al. 2009]. Текстура пластового льда горизонтально слоистая с толщиной прослоев 5–50 см и более. Слоистость льда в верхней части часто подчеркнута включениями супесей, суглинков, глин в виде слоек толщиной не более 1–10 мм. Лед чистый, прозрачный с редкими пузырьками газов округлой формы (диаметром 2–5 мм), иногда встречаются слои пузырьчатого льда толщиной до 5 см. В некоторых пластах лед исключительно чистый, “хрустальный”. Встречен также слоистый лед с горизонтально ориентированными прослоями грунтов между слоями льда. Изученный пласт льда характеризуется существенными колебаниями изотопного состава. Здесь в интервале глубин от кровли пласта 0,2–0,8 м $\delta^{18}O$ варьирует более чем на 10‰: от –12,49 до –22,75‰, а δD от –91,7 до –171,9‰ [Vasil'chuk et al. 2009; Vasil'chuk 2010]. Пластовый лед содержит палиноспектры, которые близки по составу к палиноспектрам типичных тундр. Палиноспектры льда характеризуются доминированием пыльцы карликовой березки, осок и спор зеленых мхов, с заметным содержанием пыльцы водных растений в основном *Sparganium* (3-4%). Единично встречена пыльца морошки. Встречена пыльца верескоцветных (2-3%). Содержание спор зеленых мхов составило 7-36%. Во льду обнаружены переотложенные дочетвертичные пыльца и споры (2-9%). Полностью отсутствует экзотическая пыльца деревьев, и даже пыльца сосны, особенно характерная для снежного покрова и льда арктических ледников, встречается единично. Концентрация пыльцы и спор в отдельных прослоях пластового льда достигает 300-1300 экз./л. Во льду встречены остатки диатомей рода *Pinnularia* и зелёных водорослей рода *Pediastrum*.

Залежь пластового льда в низовьях р. Юрибей на Ямале [Vasil'chuk 1992; Vasil'chuk & Vasil'chuk 2010a] залегает на глубине 15 м в толще темно-серых суглинков в разрезе останца казанцевской равнины. Судя по стратиграфическому положению, эти пластовые льды сформировались более 50 тыс. лет назад.

В осевой части пласта располагается ледяное ядро трапециевидной формы шириной в нижней части 3, в верхней – 2,5 м. На контакте с этим ядром наблюдается ледогрунт, состоящий из прослоев льда мощностью до

0,5 м и суглинка мощностью 0,2-0,3 м, причем наклон слоев ледогрунта повторяет направление боковой поверхности ядра.

Состав пыльцы и спор в залежеобразующих льдах в низовьях р. Юрибей характеризуется отсутствием экзотической пыльцы термофильных древесных пород без признаков переотложения, содержание дочетвертичных переотложенных пыльцы и спор составило 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 колеблется от 2 до 5%, содержание спор зеленых мхов от 2 до 12%, содержание спор хвощей - 1-2%. Встречены остатки диатомовых и зеленых водорослей.

В верховьях р. Юрибей, пластовые льды залегают [Vasil'chuk 2010] в суглинках в обнажении пятой террасы на глубине 21-22 м. В центральной части обнажения вскрывается ледяное и ледогрунтовое 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 залегают пласт горизонтально-слоистого льда шириной до 2,5 м, высотой около 3 м. Характерной деталью, установленной И.Д. Даниловым [1990], является существенно более бедный состав мелководной микрофауны фораминифер в суглинках по сравнению с песчаной толщей, что вероятно отражает процесс обмеления морского бассейна во время накопления песчаной пачки.

В горизонтально-слоистой ледяной залежи, вскрытой в верховьях р. Юрибей, экзотической пыльцы термофильных древесных пород без признаков переотложения не обнаружено. Пыльца хвойных отмечена в значительных количествах. При этом довольно высоко содержание пыльцы ели (11-17%), а также пыльцы кедра сибирского (оно составляет 8-31%). Дочетвертичные переотложенные пыльца и споры встречаются в соотношении 2-4%. Пыльца морошки отмечена единично. Пыльца водных растений встречена в двух нижних образцах (1-3%). Содержание пыльцы верескоцветных составило 5-32%. Споры зеленых мхов отмечены в двух верхних образцах, их содержание не превышает 2%. Споры хвощей встречаются единично. Палиноспектры исследованной ледяной залежи несут признаки неглетчерного происхождения, однако их состав не противоречит возможному захоронению местной припайной льдины.

В разрезе низкой террасы в устье р. Гыда в интервале 1,40-7,0 м залегают четыре яруса линзовидных пластов льда в слоистой толще опесчаненной тёмно-серой супеси и аллохтонного коричневого торфа. линзы и пласты льда мощностью 0,3-0,4 м, длиной 6-8 м [Vasil'chuk 1992; A.Vasil'chuk 2005]. Пласты льда приурочены к оторфованным отложениям. Наряду с пластами льда отмечены сингенетические повторно-жильные льды. Узкие (до 1 м шириной) повторно-жильные льды высотой 7 метров пересекают линзы пластового льда. Пласты льда и оторфованной супеси справа от ледяной жилы залегают горизонтально, а слева – под углом около 20 градусов.

Данный разрез очень сложен для датирования. Здесь

практически ни одна датировка не является достоверной. Это связано как с наличием аллохтонной органики, так и со сложной историей формирования отложений террасы. Согласно палинологической верификации полученных ^{14}C датировок ледяные пласты сформировались в интервале 10-13 тыс. лет назад. Палиноспектры в линзах льда [Vasil'chuk 2007] характеризуются соотношением близким к характеристике палиноспектров арктических и гипоарктических тундр.

В составе палиноспектров самого нижнего пласта льда, который характеризуется очень низкими значениями $\delta^{18}\text{O}$ (-30,1‰; -34,3‰), в основном преобладают споры зеленых мхов (22-27%), пыльца полярной ивы составляет 4-14%, пыльца разнотравья - 1-16%. Сами льды, безусловно, являются внутригрунтовыми, чему не противоречит ни их изотопный состав [Vasil'chuk 1992], ни состав пыльцы и спор.

В течение нескольких лет японские исследователи изучали пластовую залежь в дельте р. Маккензи, в 4,5 км к юго-западу от г. Тактоякак на северо-западе Канады [Fujino & Sato 1986; Fujino et al. 1988]. Полученная ими палинологическая характеристика залежеобразующих льдов отличается от полученных нами палиноспектров по льдам Ямала. Во льду пластовой залежи в дельте р. Маккензи в очень высокой концентрации содержатся дочетвертичные пыльца и споры. Они имеют характерный жёлто-коричневый оттенок и легко выделяются. Наиболее высокая концентрация пыльцы и спор отмечена в визуально выделяемых прослоях льда, содержащих примесь серой супеси. Это почти исключительно переотложенные дочетвертичные формы (содержание переотложенных дочетвертичных форм составляет 95-99%). Вмещающие отложения напротив, характеризуются четвертичными палиноспектрами, с невысоким содержанием пыльцы хвойных: *Betula sp.* - 48%, *Alnus sp.* - 38%, *Picea sp.* - 4%, *Pinus sp.* - 1%, *Carpinus sp.* - 1%, *Ericaceae* - 16%. Переотложенные формы отсутствуют. К.Фуджино и С.Сато [Fujino & Sato 1986] пришли к выводу, что четвертичная пыльца попала в лёд не из вмещающих пласт отложений и предположили, что исследованный пласт - это ледяная залежь инъекционного типа. Имеется лишь два, но хорошо выраженных признака, свидетельствующих о неледниковом происхождении ледяной залежи: это переотложенная дочетвертичная пыльца в высокой концентрации и отсутствие пыльцы термофильных древесных пород. Отметим, что колебания изотопного состава сходны с колебаниями, полученными нами для ледяных пластов в разрезе третьей террасы в районе Бованенково.

Палинологические данные по наземным льдам и палиноиндикаторы

Для уверенной индикации генезиса подземных льдов, а точнее их глетчерного и неглетчерного происхождения, нам представляется рациональным рассмотреть палиноспектры арктических ледников как возможные аналоги льдов заведомо глетчерной природы. Особенно важно выделить те элементы палиноспектров льда и снега ледниковых

арктических куполов, которые либо непременно должны встречаться в подземных льдах погребенного глетчерного типа, либо обязательно должны отсутствовать в подземных льдах неглетчерного происхождения.

Для выявления палинологических признаков неглетчерной природы ледяных залежей мы изучили состав палиноспектров снежного покрова тундры и арктических ледников и выделили те особенности палиноспектров, которые могут указывать на глетчерное происхождение льда.

Дж. Буржуа [Bourgeois 1990, 2000], проанализировав состав пыльцы и спор в снежном покрове и ледяных куполах Канадской и Российской Арктики, пришла к выводу, что структура палиноспектров арктических ледников определяется, прежде всего, особенностями циркуляции воздуха над ледниками. Как правило, в составе палиноспектров льда ледников и снежного покрова выделяются группы дальнезаносных (экзотических) и региональных компонентов. Разделение палиноспектров на группы несколько условно, поскольку, во-первых, арктические ледники расположены на расстоянии более тысячи километров от границы леса и, строго говоря, более 95% пыльцы и спор перенесены на огромное расстояние, а, следовательно, являются дальнезаносными [Vasil'chuk

2007]. Среди них, выделяется группа дальнезаносной экзотической пыльцы термофильных древесных пород и группа, региональной пыльцы растений северной тайги и тундры. В снежном покрове и во льду ледниковых куполов Девон на о. Девон и Агассиса на о. Элсмир обнаружены главным образом дальнезаносные экзотические пыльца и споры. Это объясняется тем, что они подвержены воздействию воздушных масс, перемещающихся с юга на север. В снегу этих полярных ледников содержание экзотической дальнезаносной пыльцы *Acer*, *Fraxinus*, *Quercus*, и *Ulmus*, *Populus*, *Abies* колеблется от 3 до 23% [Bourgeois 1990, 2000; Bourgeois et al. 2000]. Во льду ледникового щита Гренландии тоже встречена пыльца *Acer*, *Fraxinus*, *Quercus*, и *Ulmus*, содержание экзотической пыльцы в гренландском льду составляет 10-12% [Fredskild & Wagner 1974]. Следовательно, наличие в палиноспектрах льдов экзотической пыльцы термофильных растений без признаков размыва и переотложения в водной среде, может свидетельствовать в пользу глетчерного происхождения ледяной залежи (табл.1) Установлено, что содержание современной экзотической пыльцы для субфоссильных палиноспектров тундр составляет менее 1 пыльцевого зерна на тысячу подсчитанных зерен [Vasil'chuk 2005].

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

Компоненты палиноспектров	Разрезы с пластовыми льдами					Ледниковые полярные шапки					
	Устье р.Гыда	Бованенково	Верховья р.Юрибей, (Ямал)	Низовья р.Юрибей (Ямал)	Устье р.Маккензи	Купол Академии наук, о.Комсомолец	Ледник ИГАН, Полярный Урал	Купол Девон, о.Девон	Купол Агассиса о.Элсмир	Купол Книгива о.Элсмир	Купол Пенни, о.Баффинова Земля
Exotic (far transported) pollen	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	+	+	++	++	Не обн.	+
<i>Rubus chamaemorus</i>	+	+	+	+	Нет данных	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
<i>Aquiherbosa</i> Pollen	+	+	+	+	Нет данных	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
<i>Ericaceae</i>	+	+	+	+	Нет данных	Не обн.	Не обн.	Не обн.	+	Не обн.	+
<i>Bryales</i>	+++	++	++	++	Нет данных	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
<i>Equisetum</i> sp.	+	++	++	+	Нет данных	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
Penecontemporaneous pollen and spores	+	++	++	++	+++	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
Diatoms	+	+	+	+	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных

Примечание: + – встречается в количестве 0,1-10%; ++ – встречается в количестве 10-20%; +++ – встречается в количестве более 20% от общей суммы подсчитанных зерен

В палиноспектрах льда и снега полярных ледников пыльца верескоцветных растений встречается крайне редко. Её количество в среднем составляет примерно 2 пыльцевых зерна на 1 тыс. подсчитанных зерен; её максимальное содержание не более 1-2%. Для тундровых палиноспектров – это обычный компонент, во многих случаях, доминантный [Vasil'chuk 2005]. Поэтому, заметное участие в палиноспектрах пыльцы верескоцветных может указывать на неглетчерное происхождение льда.

Ещё один важный индикатор – споры зелёных мхов. Они не встречены в ледниках Арктических куполов [Bourgeois 1990, 2000; Bourgeois et al. 2000] и также не обнаружены даже на ледниках Полярного Урала. Во льду и снежном покрове ледников ИГАН и Олений на Полярном Урале [Сурова 1982], 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

Poaceae, *Cyperaceae* и споры *Polypodiaceae*, которые не встречены в палиноспектрах льда небольшого карового ледника, расположенного поблизости [Васильчук, Васильчук 2010]. 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 [А. Васильчук 2005; Yu. Васильчук et al. 2009]. Важным индикатором является пыльца гидрофильных растений. Дж. Буржуа [Bourgeois 1990, 2000; Bourgeois et al. 1985, 2000] установлено, что пыльца гидрофитов *Potamogeton*, *Sparganium* и *Typha* встречается исключительно редко, по нашей оценке менее 1 пыльцевого зерна на 1 тыс. подсчитанных зерен. Следовательно, наличие пыльцы гидрофильных растений, пыльца которых переносится преимущественно водой, можно считать признаком, указывающим на неглетчерное происхождение льда.

К этому списку можно добавить еще и споры хвощей, которые не встречены в составе палиноспектров ледников; в палиноспектрах тундровой зоны они встречаются в среднем в количестве 1-4%. Низкое содержание пыльцы гидрофильных растений во льду и снежном покрове 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 (см. табл. 1). Это пыльца морошки, пыльца водных растений, которая плохо приспособлена для ветрового переноса, споры хвощей и зеленых мхов. Содержание пыльцы верескоцветных в снеге на ледниках гораздо ниже, чем в тундровых палиноспектрах. Для палиноспектров ледников характерно доминирование дальнезаносной пыльцы *Pinus*, *Picea*, *Abies*, *Acer*, *Fraxinus*, *Quercus*, *Ulmus*, *Populus*, *Abies* и *Juniperus*, *Artemisia*, *Ambrosia*.

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). Гораздо чаще экзотическую пыльцу в четвертичных отложениях Ямала можно встретить в переотложенном состоянии. В качестве типичного примера приведем состав палиноспектров в снежнике на пляже Карского моря в зоне гипоарктических тундр, где, несмотря на довольно высокое содержание дальнезаносной пыльцы хвойных (11%), доминирует пыльца верескоцветных (25-30%), региональная пыльца злаков и осок (19-30%), а также разнотравья (9-15%). Среди спор в снежниках на пляже и на поверхности морских льдин доминируют споры зеленых мхов (10-27%). Содержание переотложенных форм невелико, оно составляет 1-3%.

Анализ состава палиноспектров выделенных с поверхности морского льда и льда Обской губы

продемонстрировал близость состава палиноспектров снежников и припайных льдин. Очевидно, что палиноспектры с поверхности морских льдин и снежников гораздо ближе по составу к субфоссильным палиноспектрам с поверхности почв, чем палиноспектры арктических ледников.

Все перечисленные признаки, фиксируются в палиноспектрах далеко не всегда. Поэтому разделение пластовых льдов на основе состава палиноспектров требует дальнейшей детализации, так как перечисленные особенности спектров могут быть ретушированы низкой концентрацией пыльцы и спор. Здесь нам хотелось продемонстрировать принципиальную возможность такого разделения и полезность детального анализа палиноспектров для криогенетических исследований пластовых льдов.

Различия процессов формирования льда [no Khimenkov & Brushkov 2006]: 1) захоронения воды в твердой фазе; 2) промерзания свободной воды; 3) промерзания рыхлосвязанной воды; обуславливают и различия в составе спорово-пыльцевых спектров. Проанализировав пыльцу и споры в этих трёх видах льдов мы получили следующие выводы:

1) В захороненном льду преобладают дальнезаносные пыльца и споры, поскольку образование поверхностного льда морей, озёр, рек или же льда и снежного покрова, как правило, происходит в зимний сезон, когда вероятность попадания пыльцы местных растений на поверхность льдины или снега невелика. В пределах арктических ледниковых куполов попадание пыльцы и спор местных растений избирательно и определяется особенностями локальной циркуляции, более того, в этом случае сложно провести границу между локальными и региональными компонентами.

2) В инъекционном льду часто присутствуют переотложенные пыльца и споры из нижележащих толщ, в нём чаще, чем в других видах льда встречаются мезозойские и палеозойские пыльца и споры.

3) В сегрегационном льду отмечается большое сходство спектров льда со спектрами из вмещающих лёд отложений. Часто можно фиксировать наличие пыльцы разных видов, но одной размерности в результате инфильтрационного просеивания пыльцевых зёрен и спор при миграции влаги через грунт.

В заключение отметим два новых, но достаточно важных момента, которые следует учитывать при изучении органических остатков в подземных льдах. Во-первых, возможный привнос органики в трещины придонной части базального льда выводных ледников и, во-вторых, накопление микрочастиц органики в криоконитовых стаканах.

П.Найт, исследуя базальные слои глетчерного льда, отметил, что в придонных частях ледников могут формироваться микротрещины [Knight 1997] по которым из подстилающих отложений в лёд могут проникать тонкие частицы грунта и, вероятно, среди них могут встречаться пыльца и споры, однако в этом случае очевидно лёд будет сильно загрязнённым и сильно дислоцированным, а его

палиноспектры будут производными палиноспектров подстилающих отложений.

Выводы

Многолетние палинологические исследования подземных залежеобразующих льдов позволили выделить несколько характерных особенностей их палиноспектров:

а) пыльца и споры содержатся практически во всех разновидностях залежеобразующих подземных льдов, их концентрация колеблется в пределах 50-1500 экземпляров в 1 кг льда или в 1 л расплава льда;

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

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

г) 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, что свидетельствует о неглетчерном происхождении изученных льдов.

В общем виде полученные результаты свидетельствуют, что для палиноспектров залежеобразующих льдов неглетчерного происхождения характерно: 1) отсутствие пыльцы экзотических термофильных видов *Acer*, *Fraxinus*, *Quercus*, *Ulmus*, *Populus*, *Tilia*, *Abies*, находящихся в первичном залегании; 2) присутствие пыльцы морозники, пыльцы гидрофильных видов, спор зеленых мхов и хвощей; 3) присутствие переотложенных пыльцы и спор.

Это даёт возможность уверенно идентифицировать подземные льды неглетчерного происхождения.

Литература

Данилов, И.Д. Подземные льды. – М.: Недра, 1990, 140 с.
 Сурова, Т.Г. Субрецентные спорово-пыльцевые спектры зон малого и большого снегонакопления на Полярном Урале. Материалы гляциологических исследований, вып.45, 1982, 130 – 136.
 Bourgeois, J.C. Seasonal and annual variation of pollen content in the snow of a Canadian High Arctic ice cap. *Boreas*. 1990. Vol. 19. N4. 313 – 322.
 Bourgeois, J.C. Seasonal and interannual pollen variability in snow layers of arctic ice caps. Review of Palaeobotany and Palynology. 2000, Vol. 108, Iss. 1-2, 17 – 36.
 Bourgeois, J.C., Koerner R.M., Alt B.T. 1985 Airborne pollen: a unique air mass tracer, its influx to the Canadian High Arctic *Annals of Glaciology*, Vol. 7, . 109 – 116.
 Bourgeois, J.C., Koerner, R.M., Gajewski, K., Fisher, D.A. A Holocene ice-core pollen record from Ellesmere Island,

Nunavut, Canada. *Quaternary Research*. 2000, Vol. 54, N2, 275 – 283.
 Fredskild, B., Wagner P. Pollen and fragments of plant tissue in the core samples from the Greenland Ice Cap. *Boreas* 1974, Vol. 3, N3, 105 – 108.
 Fujino, K., Sato, S. Stratigraphic analyses of the massive ground ice body in Tuktoyaktuk, Mackenzie Delta, N.W.T., Canada. Characteristics of the Massive Ground Ice Body in the Western Canadian Arctic related to paleoclimatology 1984–1985. Ed. K.Fujino. The Institute of Low Temperature Science. Hokkaido University publ. 1986, 9 – 36.
 Fujino, K., Sato S., Matsuda, K., Sasa, G., Shimisu, O., Kato, K Characteristics of ground ice body in the Western Canadian Arctic(II). Permafrost Fifth International Conference. Proceedings. Vol. 1. Trondheim. Norway Trondheim: Tapir Publishers. 1988. 143-147.
 Khimenkov, A.N., Brushkov, A.V. 2006. Introduction to the structural geocryology. Moscow. Nauka Publ. House. 279 p. (in Russian).
 Knight, P.G. The basal ice layer of glaciers and ice sheets. *Quaternary Science Reviews*. 1997, Vol. 16, Iss. 9, 975-993.
 Vasil'chuk, A.C. 2005. Pollen spectra formation features in permafrost areas of Russia. Moscow. Moscow State University Press. 245 p. (in Russian).
 Vasil'chuk, A.C. 2007. Palynology and chronology of polygonal ice wedge complexes in Russian permafrost area Moscow. Moscow State University Press. 488 p. (in Russian).
 Vasil'chuk, Yu.K. 1992. Oxygen Isotope composition of ground Ice (Application to paleogeocryological reconstruction). Department of theoretical problems the Russian Academy of Sciences. Moscow State University, PNIIS. In 2 volumes. Vol. 1. – 420 p. Vol. 2 – 264 p. (in Russian).
 Vasil'chuk, Yu.K. 2010. Massive ice of Bovanenkovo gas-condensate field (The Central Yamal Peninsula). *Engineering Geology*. N3. 50 – 67 (in Russian).
 Vasil'chuk, Yu.K., Vasil'chuk, A.C., Budantseva, N.A., Chizhova, Ju.N., Papesch, W., Podborny, Ye.Ye., Sulerzhitsky, L.D. 2009. Oxygen Isotope and Deuterium Indication of the Origin and 14C Age of the Massive Ice, Bovanenkovo, Central Yamal Peninsula. *Transactions (Doclady) of Russian Academy of Sciences, Earth Sciences*. 429: 1326 – 1332.
 Vasil'chuk, Yu.K., Vasil'chuk, A.C. 1997. Radiocarbon dating and oxygen isotope variations in Late Pleistocene syngenetic ice-wedges, northern Siberia. *Permafrost and Periglacial Processes*. Vol. 8, N3, 335 – 345.
 Vasil'chuk, A.C., Vasil'chuk, Yu.K. 2010a. Local pollen spectra as a new criterion for nonglacial origin of massive ice. *Transactions (Doclady) of Russian Academy of Sciences, Earth Sciences*. Vol. 433. Part 1. 985 – 990.
 Vasil'chuk, A.C., Vasil'chuk, Yu.K. 2010b. Comparison of pollen spectra of massive and glacial ices for cryogenetic indication. *Earth's Cryosphere*, Vol. 14. N 3. 15 – 28 (in Russian).