

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 551.345

ОТРАЖЕНИЕ СОБЫТИЙ ХАЙНРИХА НА ДАТИРОВАННЫХ ПО
РАДИОУГЛЕРОДУ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВЫХ ДИАГРАММАХ ПОВТОРНО-
ЖИЛЬНЫХ ЛЬДОВ И ВМЕЩАЮЩИХ ИХ ЕДОМНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НИЗОВИЙ
р. КОЛЫМЫ

А. К. Васильчук

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119992, Москва, Ленинские Горы, Россия

Рассмотрена палинологическая характеристика мощных повторно-жильных льдов и вмещающих их сингенетических едомных отложений ряда разрезов в долине р. Колымы на севере Якутии. Это позволило выделить ритмы резких изменений содержания пыльцы и спор региональных и локальных компонентов спектров, соответствующих ритмам формирования сингенетических мерзлых толщ. Детальное датирование органических остатков во вмещающих отложениях, а также прямое датирование повторно-жильных льдов позволили связать эти ритмы с колебаниями периодичностью 5–10 тыс. лет, выделенными в морских осадках и ледниковых кернах, которые называются событиями Хайнриха. Приведены данные по изменчивости глобальных, региональных и локальных компонентов палиноспектров синкриогенных едомных отложений, связанных с этими ритмами.

Палиноспектры, радиоуглеродное датирование, криолитозона, едома, повторно-жильные льды, поздний плейстоцен, события Хайнриха

APPEARANCE OF HEINRICH EVENTS IN RADIOCARBON DATED POLLEN AND SPORES DIAGRAMS
OF ICE-WEDGE ICE AND ITS SURROUNDING EDOMA SEDIMENTS OF THE KOLYMA RIVER

A. C. Vasil'chuk

Lomonosov Moscow State University, 119992, Moscow, Leninsky Gory, Russia

The palynological characteristics of large ice-wedge ice and surrounding syngenetic edoma sediments of a number of cross-sections of the Kolyma River valley in Yakutia is considered. It has allowed us to recognize different rhythms of sharp changes of the pollen and spore contents of regional components of pollen spectra, corresponding to rhythms of syngenetic permafrost sediments and to correlate these rhythms with fluctuations established in sea deposits and ice cores, with a 5–10 thousand years cycle called the Heinrich events. The variability of global, regional and local pollen and spectra components of syngenetic edoma sediments related to periodicity rhythms are presented.

Pollen spectra, radiocarbon dating, permafrost, edoma, ice-wedge ice, Late Pleistocene, Heinrich events

ВВЕДЕНИЕ

Цикличность палеоклиматических изменений средней частоты (5–10 тыс. лет), связанная с влиянием полупериода прецессии орбиты Земли [Hinnov et al., 2001], названа событиями Хайнриха. Х. Хайнрих [Heinrich, 1988] выделил шесть слоев, почти свободных от фораминифер, насыщенных валунным материалом, являющихся следствием катастрофической айсберговой разгрузки в Северной Атлантике). Там были обнаружены только единичные раковинки *Neoglobrotalia pachyderma*, изотопный состав фораминифер этого вида в данных слоях отличается на 2 % от изотопного состава

ва фораминифер этого же вида в выше- и нижележащих прослоях.

События Хайнриха получили порядковые номера, возрастающие по мере увеличения возраста. Сейчас имеется несколько различающихся схем датирования. По У. Бреккеру, события Хайнриха имеют следующий возраст: Н-5 – 54 тыс. лет, Н-4 – 40(35) тыс. лет, Н-3 – 27(27) тыс. лет, Н-2 – 21(21) тыс. лет, Н-1 – 14,5 тыс. лет [Broecker, 1993]. Дж. Эндрюс с соавторами [Andrews et al., 1998; Andrews, Barber, 2002] для района Баффиновой Земли и Гудзонова пролива приводит следующую хро-

нологию событий Хайнриха (в скобках приведен калиброванный возраст изотопных минимумов по керну GRIP [GRIP Members, 1993]): Н-1 — 14(17) тыс. лет, Н-2 — 20(24,5) тыс. лет, Н-3 — 27(29,5) тыс. лет и Н-4 — 36(38,5) тыс. лет.

Дж. Бонд с соавторами [Bond et al., 1999] сопоставил события Хайнриха с экстремальными фазами событий Дансгора—Эшгера (это короткопериодная цикличность, зафиксированная в изотопном составе ледниковых щитов). Как следует из этого сопоставления, события Хайнриха — серджи наступали в течение минимума содержания ^{18}O (холодного пика) отдельных событий Дансгора—Эшгера.

Вполне естественно думать, что такие глобальные события отражались и на ландшафтах Сибири [Лаврушин, Алексеев, 1999] и, следовательно, могут быть запечатлены на спорово-пыльцевых диаграммах.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Изменение глобальной термогалинной циркуляции — наиболее вероятное объяснение механизма воздействия событий Хайнриха [Elliot et al., 1998] на климат. Региональная реакция в Арктике, связанная с изменением глобальной термогалинной циркуляции, на события, происходившие в Северной Атлантике, концептуально и численно описана на основании данных изотопно-кислородного анализа повторно-жильных льдов. Тренд изменения их изотопного состава оказался постоянным. Сдвиг значений $\delta^{18}\text{O}$ в сингенетических повторно-жильных льдах, например, между севером Западной Сибири и севером Якутии в позднем плейстоцене, в голоцене и в настоящее время составляет 8–10 ‰, что возможно при сохранявшемся характере атмосферной циркуляции [Васильчук, 1992]. Модели циркуляции для Гренландии, северных морей и континента Евразии в целом [Sarnthein et al., 2002] показали, что атмосферная циркуляция в этих регионах действовала в режиме положительной обратной связи по отношению к изменениям термогалинной циркуляции. Это позволяет считать, что направленность климатических изменений в арктических районах Евразии совпадала с климатическими изменениями в Северной Атлантике [Mix et al., 2002].

Основной критерий отбора диаграмм — надежность ^{14}C датирования изученных разрезов, накапливавшихся достаточно быстро, чтобы можно было проследить изменения в растительном покрове Арктики, связанные с этими резкими колебаниями, происходившими в пределах 1,0–1,5 тыс. лет. Для изучения подобных колебаний особенно перспективны отложения повторно-жильных комплексов. Во-первых, отложения повторно-жильных комплексов накапливаются достаточно быстро — 0,7–2,0 м/тыс. лет, следовательно,

можно изучить реакцию растительного покрова довольно подробно. Во-вторых, в этих отложениях содержится достаточное для датирования количество органического материала. Для анализа спорово-пыльцевых спектров использовалось разделение спорово-пыльцевых спектров на локальные и субрегиональные или региональные компоненты. Берутся в основном образцы с высокой концентрацией пыльцы и спор для того, чтобы исключить случайные пики распределения пыльцы и спор отдельных видов. Подход к выявлению отражения глобальных климатических колебаний заключается прежде всего в прослеживании ритмических изменений отдельных компонентов спектров. Анализ проведен по наиболее показательным компонентам палиноспектров, как локальным, так и региональным. Участие каждого таксона выражено в процентах от суммы всех пыльцевых зерен и спор, принимаемой за 100 %. В качестве показателя ранневесеннего пыльцевого дождя в периоды интенсивного растрескивания рассматривается состав пыльцы и спор из повторно-жильных льдов. Вся пыльца или споры, попавшие в жильный лед, относятся к субрегиональному или региональному пыльцевому дождю. Поэтому колебания региональных компонентов палиноспектров, которые на диаграммах вмещающих отложений затушеваны высоким содержанием пыльцы и спор локальных видов, на диаграммах повторно-жильных льдов представлены гораздо лучше, как, например, пыльца полыни, злаков или карликовой березки (пыльца этих растений легко переносится ветром в условиях открытых тундровых пространств). Поскольку повторно-жильные льды накапливаются циклично [Васильчук, 1992], появляется возможность гораздо подробнее проследить изменения регионального пыльцевого дождя для периода интенсивного формирования жил. Один из основных компонентов палиноспектров рассматриваемых здесь спорово-пыльцевых диаграмм низовий Колымы — это недоразвитая пыльца разнотравья, которую в большинстве случаев невозможно определить даже до семейства. Такая пыльца и в настоящее время отмечается во льду арктических ледниковых шапок Канадской Арктики [Bourgeois, 1990]. В небольших количествах подобная пыльца была встречена в снегу (5 экз./л), выпавшем в августе в районе разреза Дуваный Яр на Колыме, в снежниках в зоне арктических тундр на п-ове Мамонта на севере Западной Сибири (4–5 экз./л). Обычно недоразвитая пыльца быстро разрушается, попадая на поверхность грунта. На поверхности растительной подстилки в долине Колымы недоразвитой пыльцы не обнаружено. Для того чтобы такая недоразвитая пыльца могла сохраниться, она должна была практически сразу попасть в низкотемпературные условия, что возможно в условиях нивальных луговин. Разнотравные ассоциации здесь формируются при позднем тая-

нии снежного покрова. При достаточно небольшой длительности вегетационного сезона и снегопадах в течение вегетационного сезона пыльца не успевает созреть. Недоразвитая пыльца разнотравья во вмещающих отложениях относится в основном к локальной составляющей палиноспектров. Однако она встречается также и во льду жил, что предполагает ее участие и в составе регионального пыльцевого дождя. Высокое содержание спор плаунка сибирского (*Selaginella sibirica*) отвечает широкому распространению открытых грунтов, иногда быстрому накоплению осадков. Это подтверждается не только высокими значениями содержания спор плауна *Selaginella sibirica*, но и ритмичными колебаниями содержания этих спор в позднплейстоценовых едомных разрезах.

Для низовий Колымы мы предполагаем, что наиболее неблагоприятным условиям вегетационного периода на спорово-пыльцевых диаграммах соответствуют отрезки с высоким содержанием недоразвитой пыльцы трав (т. е. время развития нивальных луговин) и низким содержанием спор зеленых мхов, плаунка сибирского и хвощей. Растительность этого типа описана А.И. Толмачевым [1939]. В таких местах находятся самые обедненные варианты растительности полигональной тундры с камеломкой, полярным маком, лапчаткой, мятликом, ожикой и некоторыми другими. Это типичная арктическая полупустыня. В восточном секторе Арктики подобные ландшафты встречаются в настоящее время на равнинах островов Анжу и Ляховских [Мухайлов, 1971].

Благоприятные условия вегетационного периода в рассматриваемый отрезок позднего плейстоцена для низовий Колымы выразились в появлении палиноспектров, отражающих растительные сообщества арктических тундр в сочетании с микротермно-криофитно-степными сообществами, распространенными на щебнистых или мелкоземистых хорошо дренированных участках. Аналогом такого сообщества может служить растительность приморских равнин о. Врангеля. Как правило, куртины *Selaginella sibirica* здесь произрастают вдоль морозобойных трещин, злаки разнообразны, но малообильны, очень разнообразна флора двудольных растений: крестоцветных, гвоздичных, лютиковых, гречишных, присутствуют полыни [Юрцев, 1981]. А.В. Ложкин с соавторами [2002] отмечает довольно высокую пыльцевую продуктивность этих сообществ, выразившуюся в высокой концентрации пыльцы и спор в озерных отложениях о. Врангеля.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Спорово-пыльцевая диаграмма полигонально-жильного комплекса Плахинского Яра. Обнажение Плахинский Яр расположено на левом берегу протоки Стадухинская и вскрывает толщу Каретовской едомы, сложенной супесью со следами

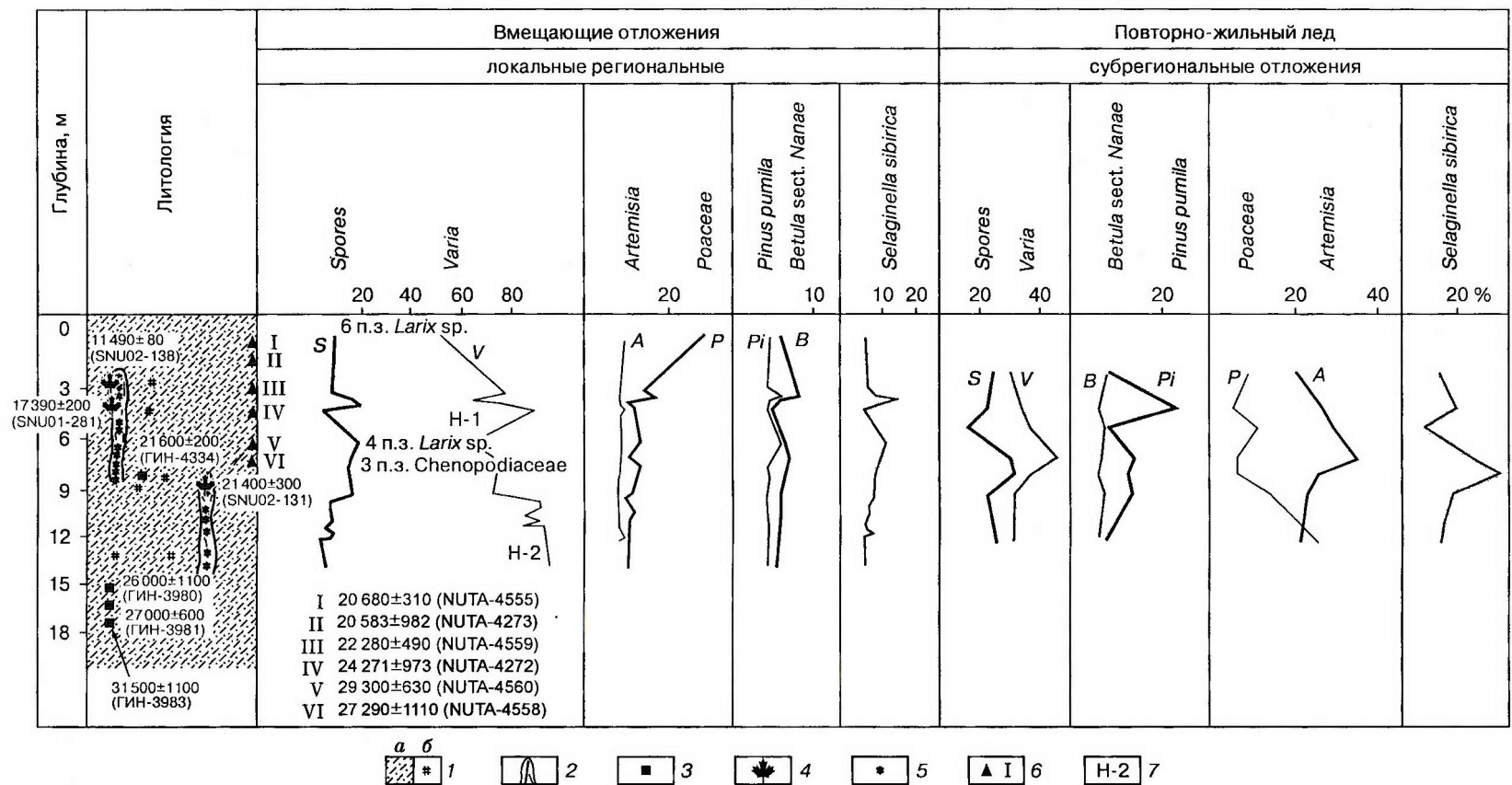
оторфованная мощностью около 14 м. Встречены два яруса лентоподобных, узких (в ширину до 1,5 м) повторно-жильных льдов. Головы жил верхнего яруса залегают на глубинах 1,2–1,8 м, нижнего — на глубине 8,5 м. Спорово-пыльцевая диаграмма построена по 46 образцам: 30 образцов из вмещающих отложений и 16 из повторно-жильных льдов. Спорово-пыльцевая диаграмма вмещающих отложений датируется в интервале от 11 до 26 тыс. лет, повторно-жильных льдов — 14–20 тыс. лет (рис. 1), согласно радиоуглеродным датировкам вмещающих отложений и повторно-жильных льдов [Васильчук А., Васильчук Ю., 2002].

Во вмещающих отложениях доминирует недоразвитая пыльца разнотравья (от 55,8 до 97,0 %). На диаграмме вмещающих отложений можно выделить два интервала, в течение которых снежный покров таял относительно поздно: 21–24 тыс. лет (на глубине 9–12 м) и 14–17 тыс. лет (3–6 м). Пыльцевые зерна лиственницы (4 экз.) встречены в прослое песка на глубине 6,3 м и на глубине 8,2–8,8 м в жилах верхнего яруса, что предполагает произрастание здесь лиственницы на расстоянии, вероятно, не более 1,5–2,0 км. Каждому максимуму пыльцы разнотравья предшествует небольшой пик содержания пыльцы полыни и кедрового стланика.

Палиноспектры из ледяной жилы верхнего яруса дают возможность проследить структуру изменений растительного покрова в региональном масштабе за период 14–17 тыс. лет (на этот период приходится первое событие Хайнриха). В нижней части диаграммы вмещающих отложений наблюдается смена доминирования пыльцы злаков пыльцой полыни на фоне высокого содержания пыльцы разнотравья (до 35 %). Выше по разрезу отмечается максимальное участие пыльцы полыни — до 36,6 %, этот пик совпадает с пиком содержания пыльцы разнотравья (42,2 %) и минимальным содержанием пыльцы карликовой березки. Еще выше по разрезу содержание пыльцы полыни падает, отмечается небольшой рост содержания пыльцы злаков — до 16,3 %, а также рост содержания спор из-за увеличения роли плаунка сибирского.

По данным спорово-пыльцевого анализа из жил и вмещающих их отложений можно выделить три фазы развития растительного покрова. Первая фаза характеризуется широким распространением растительности нивальных лугов, злаково-полынными группировками. По-видимому, были условия для произрастания лиственницы, но участие ее в растительном покрове было ограниченным. Вероятно, условия увлажнения были близки к современным.

Вторая фаза характеризуется засушливыми условиями, судя по повышению роли пыльцы полыни, и снижением температур вегетационного периода — этому отвечает максимальное содержание



А.К. ВАСИЛЬЧУК

Рис. 1. Спорово-пыльцевая диаграмма разреза Плахинский Яр по повторно-жильным льдам и вмещающим их отложениям.

1 — сусель (а), торф и растительные остатки (б); 2 — сингенетические повторно-жильные льды; точки отбора образцов для радиоуглеродного датирования: 3 — рассеянных растительных остатков, 4 — микровключений органики из повторно-жильного льда; 5 — точки отбора образцов для палинологического анализа из льда; 6 — положение радиоуглеродных датировок с индексом NUTA по [Fukuda et al., 1997]; 7 — отражение холодной фазы события Хайнриха на пыльцевой кривой.

Примечание. AMS-датировки льда по [Васильчук и др., 2002; Vasil'chuk, 2002] с дополнением.

Латинские буквы рядом с пыльцевыми кривыми — первые буквы названия соответствующего растения. П. з. — пыльцевые зерна.

пыльцы разнотравья. Третья фаза отвечает относительно менее засушливым условиям и возможному повышению температур вегетационного периода, этот вывод можно сделать на основании увеличения содержания пыльцы кедрового стланика.

Таким образом, поскольку имеется соответствие датировок между выделенным ритмом и первым событием Хайнриха (14–17 тыс. лет), мы рассматриваем смену фаз этого ритма как характеристику первого события Хайнриха. Структуру второго события Хайнриха (Н-2–21(?)–23 тыс. лет назад) можно отчасти проследить только по спорово-пыльцевой диаграмме вмещающих отложений, где есть небольшой пик содержания пыльцы полыни (4,4 %), который, впрочем, равен по величине пику содержания пыльцы полыни, относящемуся к первому событию Хайнриха.

Спорово-пыльцевая диаграмма полигонально-жильного комплекса Зеленого Мыса. Обнаженные Зеленый Мыс имеет высоту более 36 м. Верхняя его часть, мощностью около 10 м, практически лишена органического материала, пригодного для датирования, нижние 26 м представлены тремя переслаивающимися пачками с высоким и низким содержанием растительного детрита. Всю толщу пронизывают мощные повторно-жильные льды. В распределении льдистости и криотекстур по разрезу, как и в литологическом строении, отмечается трехчленная ритмичность: повышение льдистости и уменьшение толщины шпиров льда и расстояния между ними — от менее оторфованных вверх, к подошве более оторфованных горизонтов. Такое криогенное строение связано с процессом накопления толщи в субаквальной среде и промерзанием ее в стадии осушения, т. е. при формировании оторфованного горизонта [Васильчук, 1992].

Оценивая длительность преобладания субаквальных условий, когда накапливались прослой супеси, лишенной примесей органического материала, можно сказать, что в период с 37–27 тыс. лет назад трижды наступало время господства субаэральных условий, длившихся (по данным ^{14}C -датировок) по 2–3 тыс. лет. Субаквальные фазы по длительности едва ли заметно превышали 1,0–1,5 тыс. лет.

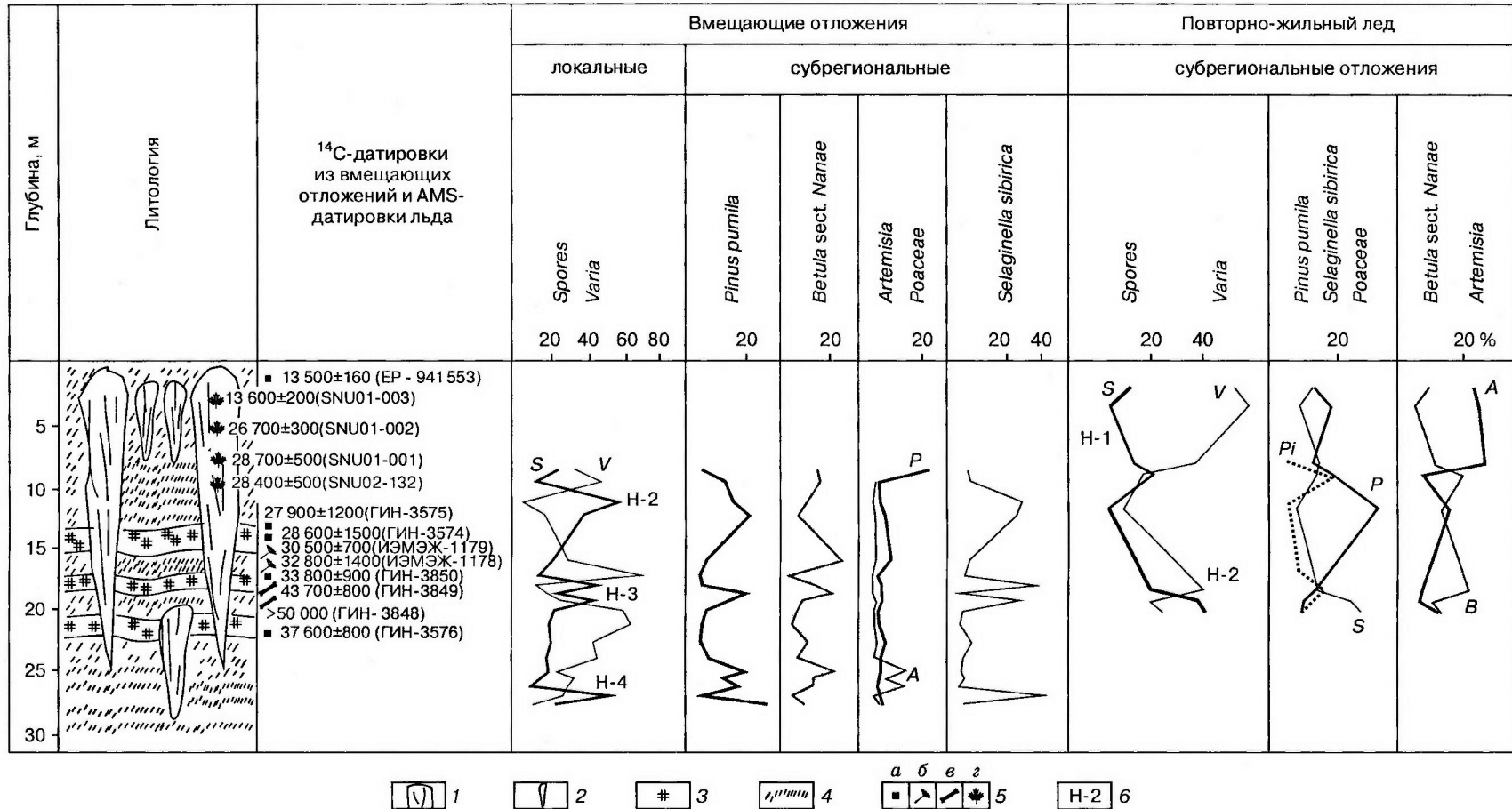
Радиоуглеродные датировки, полученные по скоплениям семян в норках (заведомо непереотложенный материал), равные 30,5 и 32,8 тыс. лет, хорошо вписываются в полученный ранее ряд [Васильчук, 1992]. Норы сусликов указывают на субаэральную фазу развития полигонального массива [Губин и др., 2001], когда ледяные жилы активно росли в ширину. Подобные находки свидетельствуют о циклическом переменном субаквально-субаэральном генезисе сингенетических полигонально-жильных комплексов.

Нами проанализированы 56 образцов, из них 45 из вмещающих отложений и 11 из повторно-

жильных льдов. Полученная спорово-пыльцевая диаграмма из вмещающих отложений датируется в интервале от 22–23 до 36–38 тыс. лет назад (рис. 2). Спорово-пыльцевая диаграмма из повторно-жильных льдов на основании радиоуглеродных датировок непосредственно из повторно-жильного льда и вмещающих отложений [Васильчук А., Васильчук Ю., 2002] относится к интервалу 13–27 тыс. лет назад. Максимумы содержания пыльцы разнотравья совпадают с минимумами содержания пыльцы кедрового стланика и спор, в основном спор плаунка сибирского. (Отметим, что пыльца кедрового стланика здесь крупнее, чем современная — например, описанная нами в районе пос. Марково на юго-западе Чукотки.) Пыльца разнотравья может быть представлена в частности пыльцой *Potentilla nivea* L., *Draba cinerea* Adam., *Ranunculus repens* L., семена этих растений были обнаружены в норках сусликов в интервале глубин от 5 до 15 м [Губин и др., 2001].

Одновременная реакция и локальных и региональных составляющих спорово-пыльцевых спектров означает, что изменения условий вегетации были обусловлены региональными факторами и связаны с определенными климатическими колебаниями в период вегетации. Максимумы содержания пыльцы сибирского кедра и спор приурочены к горизонтам, находящимся непосредственно под торфяниками, тогда как в самих торфяных горизонтах весьма высоко содержание пыльцы кустарников (в основном березы карликовой — до 26 %), хотя макроостатки кустарников в торфяных прослоях этого разреза не встречены.

На спорово-пыльцевой диаграмме вмещающих отложений выделяются три ритма, в которых чередуются локальные доминанты палиноспектров, однако в изменении содержания субрегиональных компонентов эти ритмы также отразились. В основании нижнего ритма выделяется локальный максимум содержания спор плаунка сибирского (до 40 %), выше по разрезу на фоне роста содержания пыльцы разнотравья отмечен абсолютный максимум содержания пыльцы полыни — до 14,2 %, с ним совпадает локальный максимум содержания пыльцы злаков (до 16,4) и карликовой березки (до 18,1 %). Вероятно, это отражение широкого развития полынно-злаковых растительных группировок с участием карликовой березки. К палиноспектру, отражающим холодные условия в данной точке, можно отнести только нижний пик содержания недоразвитой пыльцы разнотравья на глубине 24–22 м. Этот максимум пыльцы разнотравья отмечен в торфяном прослое и непосредственно над ним. Максимум, вероятно, отвечает наиболее неблагоприятным условиям вегетационного сезона, его небольшой длительности и позднему таянию снежного покрова. Отложения этого уровня содержат много переотложенной органики,



А.К. ВАСИЛЬЧУК

Рис. 2. Спорово-пыльцевая диаграмма разреза Зеленый Мыс по повторно-жильным льдам и вмещающим их отложениям.

1 — сингенетические крупные повторно-жильные льды; 2 — сингенетические мелкие погребенные повторно-жильные льды; 3 — рассеянные растительные остатки и корешки; 4 — супесь; 5 — точки отбора образцов для радиоуглеродного датирования: а — рассеянной органики во вмещающих отложениях, б — семян из норок грызунов, в — костей, г — микровключений органики из повторно-жильного льда; б — отражение холодной фазы события Хайнриха на пыльцевой кривой. См. прим. к рис. 1.

о чем свидетельствуют полученные здесь запредельные радиоуглеродные датировки (но переотложенных палиноморф здесь не обнаружено, хотя отмечено большое количество углистых частиц).

Выше по разрезу содержание недоразвитой пыльцы разнотравья резко падает от 87 до 19 %. При этом отмечается рост содержания пыльцы сосны до 21 и карликовой березки до 19 % на фоне двойного пика спор плаунка сибирского до 37–41 %. Возможно, что колебания состава локальных и региональных биоценозов отразили динамику климатических условий, связанных с третьим событием Хайнриха, с которым можно также связать некоторое повышение базиса эрозии. Таким образом, формирование отложений на глубине 22 м можно отнести к 29 тыс. лет назад. Отмеченный выше на спорово-пыльцевой диаграмме еще один ритм имеет несколько иную структуру. Здесь максимум содержания пыльцы карликовой березки (22,5 %) предшествует максимуму содержания пыльцы сосны (19,8 %), а при максимальном содержании спор плаунка сибирского (29,2 %) снижается содержание злаков до 1 %. Это постепенное изменение составляющих палиноспектров отражает в локальном масштабе увеличение скорости накопления отложений на фоне термического минимума и последующее улучшение условий, отраженное прежде всего в колебаниях региональных компонентов спектров.

Структура региональных изменений растительного покрова может быть прослежена по палиноспектрам из повторно-жильных льдов. Поскольку темпы аккумуляции повторно-жильных льдов отличаются от темпов аккумуляции вмещающих их отложений, спорово-пыльцевая диаграмма, по данным анализа повторно-жильных льдов, имеет иной масштаб. На глубине 20–18 м выражен пик содержания пыльцы сосны, совпадающий с пиком разнотравья, при этом максимальное содержание пыльцы злаков и спор плаунка сибирского предшествует этому пику. Согласно AMS ^{14}C -датировкам изо льда и сходству структуры субрегиональных компонентов, можно отнести палиноспектры из повторно-жильного льда в этом интервале ко второму событию Хайнриха (примерно 23 тыс. лет назад). В верхней части диаграммы выклинивается пыльца сосны и наблюдается то же самое сочетание компонентов, что и в разрезе Плахинский Яр. Таким образом, верхний пик содержания пыльцы разнотравья с предшествующим ему максимумом содержания пыльцы польни в региональном пыльцевом дожде отвечают первому событию Хайнриха. Однако заключительной фазы первого события Хайнриха на диаграмме повторно-жильного льда не зафиксировано.

Спорово-пыльцевая диаграмма полигонально-жильного комплекса Дуванного Яра. Разрез Дуванного Яра представлен преимущественно су-

песчаными отложениями, его мощность около 50 м. Аллохтонный детрит в отдельных интервалах сконцентрирован в виде линз мощностью до 0,5–0,7 м. Вся толща разреза пронизана мощными сингенетическими повторно-жильными льдами шириной в нижней половине разреза до 3,5–4,0 м, а в верхней — до 2,5 м и видимой высотой, нередко превышающей 20 м. Отмечены по меньшей мере два яруса повторно-жильных льдов.

Спорово-пыльцевая диаграмма построена по 93 образцам из вмещающих отложений и 28 — из повторно-жильных льдов (рис. 3). Спорово-пыльцевая диаграмма вмещающих отложений датирована в интервале от 14 до 31 тыс. лет, повторно-жильных льдов — 14–25 тыс. лет, согласно радиоуглеродным датировкам вмещающих отложений и повторно-жильных льдов с учетом участия значительной примеси древней органики во вмещающих отложениях [Васильчук А., Васильчук Ю., 2002].

Спорово-пыльцевая диаграмма Дуванного Яра отличается от других приведенных здесь диаграмм прежде всего практически неизменным соотношением локальных компонентов палиноспектров (см. рис. 3). Это в первую очередь означает, что при формировании этих отложений не происходило существенных изменений в условиях существования локальных фитоценозов, которые в основном были представлены разнотравьем и плаунком сибирским. Отложения накапливались относительно быстро, и вновь сформировавшиеся грунты заселялись плаунком сибирским, а в местах, где снежный покров стаивал, позже формировались нивальные луговины.

Минимумам содержания воднорастворимых солей в отложениях отвечают максимумы концентрации пыльцы разнотравья и злаков, на менее минерализованных грунтах лучше селятся травы. Это означает, что нивальные луговины прежде всего заселяются травами, а оголенные сухие поверхности, где грунты минерализованы, — плаунком.

Другое отличие данной спорово-пыльцевой диаграммы — присутствие пыльцы кедра сибирского в отложениях и отсутствие ее в повторно-жильных льдах.

Поскольку обычно региональная пыльца, к которой относится пыльца кедра сибирского, гораздо лучше представлена в палиноспектрах повторно-жильных льдов [Васильчук, 2000, 2001, 2002], то ритмические изменения содержания пыльцы сибирского кедра относятся к ритмам седиментации, а не к изменению условий вегетации. Рассматривая колебания этого компонента в качестве показателя седиментационных процессов, можно предположить, что в интервалах глубин 18–19, 9–13 и 7–8 м отложения накапливались в режиме большей обводненности.

Весьма примечательно наличие в спектрах повторно-жильных льдов пыльцы лиственницы,

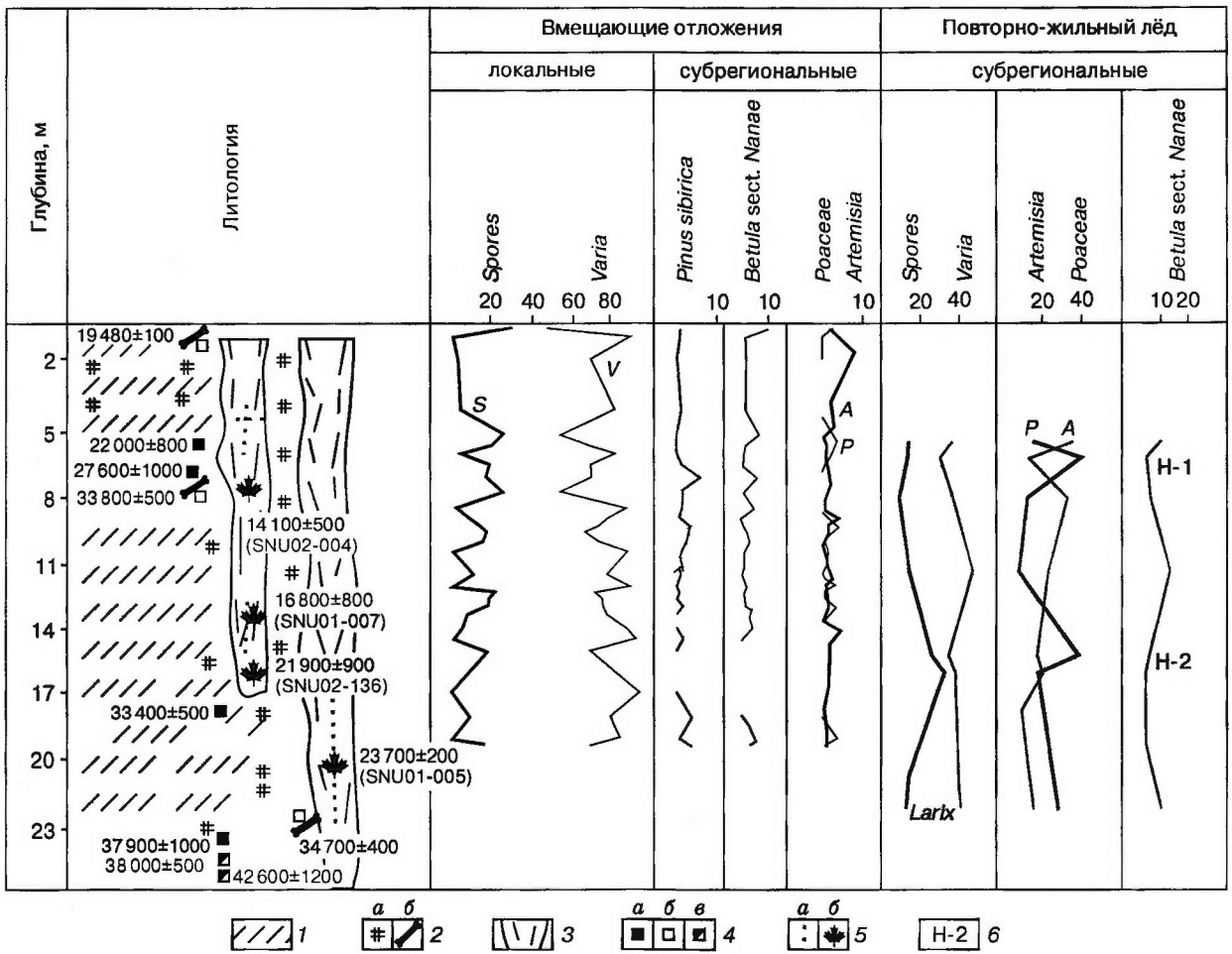


Рис. 3. Спорово-пыльцевая диаграмма разреза Дуваный Яр по повторно-жильным льдам и вмещающим их отложениям.

1 — супесь; 2 — органика во вмещающих отложениях: а — торф и растительные остатки, б — кости млекопитающих мамонтовой фауны; 3 — сингенетические повторно-жильные льды; 4 — точки отбора образцов для радиоуглеродного датирования: а — рассеянных корешков, б — костей, в — веточек; 5 — точки отбора образцов из повторно-жильных льдов: а — для палинологического анализа, б — микровключений органики для радиоуглеродного датирования; 6 — отражение холодной фазы события Хайнриха на пыльцевой кривой. См. прим. к рис. 1.

встречающейся по крайней мере дважды в разрезе жил Дуванного Яра, что означает участие лиственницы, хотя бы отдельных деревьев. Важным компонентом здесь также является пыльца полыни. Локальному максимуму содержания пыльцы полыни предшествует локальный максимум пыльцы злаков и карликовой березки. На спорово-пыльцевой диаграмме вмещающих отложений выделяются три небольших пика полыни (4,5–5,1%), которые фиксируют кратковременные периоды относительно более сухого климата. Можно предположить, что отложения в интервале 15–19 м сформировались в период 29–31 тыс. лет назад и соответствуют третьему событию Хайнриха.

Увеличение содержания пыльцы злаков можно сопоставить с теплой фазой, а пик содержания пыльцы полыни и предшествующий ему пик пыль-

цы злаков можно соотнести со вторым событием Хайнриха (21–23 тыс. лет назад). Выше по разрезу наблюдается весьма характерное распределение компонентов, что, вероятно, свидетельствует об увеличении скорости накопления отложений и в период первого события Хайнриха (17–14 тыс. лет назад).

Палиноспектры из повторно-жильных льдов, которые отражают региональные особенности изменения растительного покрова, демонстрируют два ритма. Нижний ритм этой части разреза Дуванного Яра (в интервале глубин 11,6–21,0 м) имеет структуру, аналогичную нижнему ритму, выделенному в повторно-жильных льдах разреза Зеленый Мыс. Максимуму содержания спор соответствует максимум содержания пыльцы злаков, далее наблюдаются максимум содержания пыльцы

попытки, последующее его снижение и рост содержания пыльцы разнотравья. Мы сопоставляем этот ритм со вторым событием Хайнриха. Особо подчеркнем, что события Хайнриха четче выделяются на палинологической диаграмме из жильных льдов Дуванного Яра, а на диаграмме вмещающих едомных отложений они имеют двух- и трехвершинный характер, поэтому несколько „смазаны“.

Структура верхнего ритма этой части разреза Дуванного Яра (11,6–5,5 м) сходна с изменениями основных компонентов палиноспектров в повторно-жильных льдах Плахинского Яра. Колебания содержания пыльцы злаков и полыни находятся в противофазе, после пика полыни отмечается рост содержания пыльцы карликовой березки. Этот ритм, согласно полученным датировкам из повторно-жильного льда, отражает первое событие Хайнриха (17–14 тыс. лет назад).

ДИСКУССИЯ

События Хайнриха открыты и описаны в керне донных отложений Северной Атлантики, однако их проявление обнаруживается по всему земному шару. Так, даже на режиме оз. Байкал события Хайнриха, вероятно, сказывались очень существенно. Установлено [Куимова, Шерстянкин, 2000], что в периоды похолоданий, соответствующих событиям Хайнриха, на Байкале усиливалась штормовая активность, запыленность, температура поверхности открытой воды приближалась к 1 °С, продолжительность периода открытой воды была ограничена 150–180 днями, приток воды в озеро снижался, повышалась соленость байкальских вод.

В различных районах земного шара также прослежены изменения состава растительного покрова, относящиеся к событиям Хайнриха. Первые подтверждения проявления событий Хайнриха в спорово-пыльцевых спектрах были получены по палинологическим данным из Флориды — по хорошо датированному керну Люк Тулан. Чередование сосновых лесов и лесостепных растительных ассоциаций с участием дубрав было связано с колебаниями увлажненности. Радиоуглеродное датирование дало основание сопоставить каждый пик содержания пыльцы сосны с соответствующим событием Хайнриха [Grimm et al., 1993].

Палинологические данные по юго-западному побережью Европы позволили определить характер реакции растительности и климатические особенности проявлений, соответствующих событиям Хайнриха. Реакция европейского растительного покрова на климатические изменения проявлялась особенно ярко на широте 40° с.ш. — именно до этой широты доходили айсберги в Атлантике. Вблизи атлантического побережья Испании была проанализирована скважина MD 95-2042, пробуренная в эстуарных отложениях р. Тайо с небольшим участием айсбергового материала. Палиноспектры

представлены в основном пыльцой и спорами, перенесенными речными водами, и только небольшая часть имеет иное происхождение [Goni et al., 2000]. Всего в керне MD 95-2042 за последний гляциальный период идентифицировано шесть событий Хайнриха. Согласно моделям океанической циркуляции, чередование этих событий вело к резким изменениям температуры поверхности моря и воздуха. Каждое событие Хайнриха коррелируется с сухим и холодным зимним периодом, вероятно, снижение зимних температур было обусловлено вторжениями холодных воздушных масс зимой. События Хайнриха характеризуются также резким повышением намагниченности и выраженным увеличением холодноводных морфотипов.

Палинологический анализ морского керна MD 95-2042 позволил разделить каждое событие Хайнриха на три фазы. Первая и последняя фазы характеризуются относительно высоким содержанием пыльцы европейско-сибирских видов деревьев, в основном *Quercus*, а также пыльцы верескоцветных; средняя фаза — пиком содержания пыльцы степных видов: пыльцы полыни (до 27 %), эфедры (5–6 %), маревых (7–8 %), а также максимальным поступлением айсбергового материала в осадки морей. Эта фаза и может быть скоррелирована с сердцем Лаврентийского ледникового щита.

Заметим, что согласно циклической модели формирования повторно-жильных льдов [Васильчук, 1992], повторно-жильные льды и вмещающие их отложения накапливаются неравномерно, импульсами, в отдельные отрезки времени повторно-жильные льды и вмещающие их отложения накапливаются с разной скоростью. Поэтому на спорово-пыльцевых диаграммах может быть отражен только фрагмент того или иного климатического события, при этом может возникнуть ситуация, когда информация, сохранившаяся в спектрах повторно-жильных льдов, отсутствует во вмещающих отложениях, и наоборот.

Как видно из анализа датированных по ¹⁴C спорово-пыльцевых диаграмм повторно-жильных льдов и вмещающих их отложений, региональные компоненты спорово-пыльцевых спектров отражают кратковременные ритмы изменения климатических условий. Изменения растительного покрова в региональном масштабе выделяются в одних и тех же временных интервалах. Эти временные интервалы совпадают с датировками из слоев с высоким содержанием айсбергового материала в Северной Атлантике, которые названы событиями Хайнриха. Проявления каждого такого события на севере Якутии имеют свои особенности.

На основании палинологической характеристики ритма, соответствующего первому событию Хайнриха, выделены три фазы: первая, характеризующаяся относительно высокими температурами вегетационного периода и повышенной влаж-

ностью, распространением растительности нивальных лугов и злаково-полюнных группировок с ограниченным участием лиственницы. Вторая фаза — засушливая, характеризуется низкими температурами вегетационного периода, максимальным развитием растительности нивальных лугов, в региональном пыльцевом дожде в эту фазу отмечается существенное участие пыльцы полыни. Третья фаза характеризуется некоторым повышением влажности и температур вегетационного периода. Ей отвечают развитие злаково-разнотравных ассоциаций и появление пыльцы кедрового стланика в региональном пыльцевом дожде.

Второе событие Хайнриха выражено сменой сочетания пиков пыльцы злаков и спор плаунка сибирского максимумом пыльцы разнотравья, который быстро сменился пиком пыльцы сосны. Этот ритм изменения климатических условий, отраженный в изменении растительного покрова низовий Колымы, имел асимметричную структуру. Более теплая фаза, предшествующая термическому минимуму, была довольно сухой, а фаза термического минимума в реакции растительного покрова проявилась в локальных и региональных компонентах палиноспектров по-разному: максимальное развитие растительных ассоциаций нивальных лугов происходило на фоне появления пыльцы сосны в региональном пыльцевом дожде.

Отражение третьего события Хайнриха в спорово-пыльцевых спектрах связано с последовательной сменой локальных максимумов содержания пыльцы карликовой березки и злаков совпадающих с локальным максимумом пыльцы полыни и полным исчезновением пыльцы кедрового стланика.

Палиноспектры, относящиеся к четвертому событию Хайнриха, характеризуются вначале максимальным по разрезу содержанием спор плаунка сибирского, затем на фоне снижения их содержания отмечается резкое падение концентрации всей пыльцы, и вслед за этим — двойной пик пыльцы полыни и злаков, за которым следует возрастание роли пыльцы карликовой березки.

ВЫВОДЫ

1. Изменчивость глобальных, региональных и даже локальных компонентов палиноспектров синкриогенных едомных отложений Колымы может быть связана с климатически-седиментационными ритмами средней частоты (5000, 10 000 лет), названными событиями Хайнриха. Выделенные ритмы в трех изученных разрезах хорошо согласуются.

2. Ритм, предположительно соответствующий первому событию Хайнриха, датируемому (14—17 тыс. лет назад), отражается на спорово-пыльцевых диаграммах фазой полюнно-злаковых группировок с растительностью нивальных лугов и злаково-полюнных группировок с ограниченным участием лиственницы, которая сменилась фазой мак-

симального развития растительности нивальных лугов, за которой последовало развитие злаково-разнотравных ассоциаций.

3. Ритм, предположительно относящийся ко второму событию Хайнриха (21,0—24,5 тыс. лет назад), на спорово-пыльцевых диаграммах низовий Колымы выражен сменой сочетания пиков пыльцы злаков и спор плаунка сибирского максимумом пыльцы разнотравья, который быстро сменился пиком пыльцы сосны. Максимальное развитие растительных ассоциаций нивальных лугов происходило на фоне появления пыльцы сосны в региональном пыльцевом дожде.

4. Отражение ритма, относящегося к третьему событию Хайнриха (27,0—29,5 тыс. лет назад), в спорово-пыльцевых спектрах связано с последовательной сменой локальных совпадающих максимумов содержания пыльцы карликовой березки и злаков локальным максимумом пыльцы полыни и полным исчезновением пыльцы кедрового стланика.

5. Палиноспектры, предположительно относящиеся к четвертому событию Хайнриха (36,0—38,5 тыс. лет назад), характеризуются вначале максимальным по разрезу содержанием спор плаунка сибирского, затем на фоне снижения содержания спор плаунка отмечается резкое падение концентрации всей пыльцы, и вслед за этим — двойной пик пыльцы полыни и злаков, за которым следует возрастание роли пыльцы карликовой березки.

6. На спорово-пыльцевых диаграммах повторно-жильных льдов структура изменений растительного покрова в региональном масштабе прослеживается гораздо подробнее, чем на палинологических диаграммах вмещающих отложений. Это связано с господством субэкрального режима осадконакопления во время формирования жил, когда осадки накапливаются очень медленно, а объем формирующегося льда велик.

Автор выражает благодарность профессору Ю.К. Васильчуку за помощь в полевых исследованиях и консультации по изотопным и геохронологическим аспектам, профессору Ч.Ч. Киму и Л.Д. Сулержицкому за совместное осуществление радиоуглеродных измерений.

Работа частично финансируется РФФИ (грант № 02-05-64177).

Литература

- Васильчук А.К. Изотопная геохронология // Изотопы: свойства, получение, применение / Под ред. В.Ю. Баранова. М., ИздАТ, 2000, гл. 11, с. 447—471.
- Васильчук А.К. Спорово-пыльцевые спектры голоценовых повторно-жильных льдов Западной Сибири // Материалы Второй конф. геохроологов России (6—8 июня 2001 г., Москва). Т. 3: Региональная и историческая геохронология. М., Изд-во МГУ, 2001, с. 22—28.

- Васильчук А.К.** Палиноспектры ^{14}C -датированных образцов синкриогенных пород севера Западной Сибири и Якутии // Криосфера Земли, 2002, т. VI, № 2, с. 3–21.
- Васильчук А.К., Васильчук Ю.К.** Первые радиоуглеродные датировки пылицы из сингенетических повторно-жильных льдов // Докл. РАН, 2002, т. 383, № 1, с. 111–115.
- Васильчук Ю.К.** Изотопно-кислородный состав подземных льдов (опыт палеогеокриологических реконструкций). Изд-е Отдела теоретических проблем РАН, ПНИИИС. В 2-х т. М., 1992, т. 1, 420 с.; т. 2, 264 с.
- Васильчук Ю.К., Ким Ч.Ч., Васильчук А.К.** Радиоуглеродное AMS-датирование изотопных диаграмм позднелейстоценовых повторно-жильных льдов // Докл. РАН, 2002, т. 383, № 3, с. 390–396.
- Губин С.В., Максимович С.В., Занина О.Г.** Анализ состава семян растений из ископаемых нор сусликов ледово-лессовых отложений обнажения Зеленый Мыс как показатель местных условий обитания // Криосфера Земли, 2001, т. V, № 2, с. 76–82.
- Куимова Л.Н., Шерстянкин П.П.** Особенности палеотермогалянного режима озера Байкал при событиях Хайнриха в верхнем и среднем плейстоцене // Докл. РАН, 2000 (1999), т. 368, № 5, с. 691–694.
- Лаврушин Ю.А., Алексеев М.Н.** Арктические районы // Изменение климата и ландшафтов за последние 65 миллионов лет / Под ред. А.А. Величко. М., ГЕОС, 1999, с. 21–42.
- Ложкин А.В., Андерсен П.М., Белая Б.В., Стеценко Т.В.** Отражение пылецевого дождя Чукотки в донных осадках озер // Четвертичная палеогеография Берингии. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 2002, 77 с.
- Михайлов И. С.** Анализ пространственной структуры некоторых ландшафтов арктической зоны // Проблемы физико-географического районирования полярных стран (Тр. Арктического и Антарктического НИИ. Т. 304). Л., Гидрометеоиздат, 1971, с. 147–163.
- Толмачев А.И.** О некоторых закономерностях распределения растительных сообществ в Арктике // Ботанический журнал, 1939, т. 24, № 5–6, с. 504–517.
- Юрцев Б.А.** Реликтовые степные комплексы Северо-Восточной Азии. Новосибирск, Наука, 1981, 168 с.
- Andrews J.T., Barber D.C.** Dansgaard-Oeschger events: is there a signal off the Hudson Strait Ice stream? // Quatern. Sci. Rev., 2002, vol. 21, iss. 1–3, p. 443–454.
- Andrews J.T., Kirby M., Jennings A.E., Barber D.C.** Late Quaternary stratigraphy, chronology, and depositional processes on the slope of S.E. Baffin Island, detrital carbonate and Heinrich events: implications for onshore glacial history // Geographie physique et Quaternaire, 1998, vol. 52, No. 1, p. 1–15.
- Bond G.C., Showers W., Elliot M. et al.** The North Atlantic's 1–2 kyr climate rhythm: relation to Heinrich events, Dansgaard-Oeschger cycles and the Little Ice Age // Geophys. Monogr., 1999, vol. 112, p. 35–58.
- Bourgeois J.C.** Seasonal and annual variation of pollen content in the snow of Canadian high Arctic ice cap // Boreas, 1990, vol. 19, No. 4, p. 313–322.
- Broecker W.S.** Massive iceberg discharges as triggers for global climate change // Nature, 1993, vol. 365, p. 143–147.
- Elliot M., Labeyrie L., Bond G. et al.** Millennial-scale iceberg discharges in the Irminger Basin during the last glacial period: relationship with the Heinrich events and environmental settings // Paleoceanography, 1998, vol. 13, No. 5, p. 433–446.
- Fukuda M., Nagaoka D., Saijyo K. et al.** Radiocarbon dating results of organic materials obtained from Siberian permafrost areas // Reports of Institute of Low Temperature Science. Sapporo, Hokkaido University, 1997, p. 17–28.
- Goni M.F.S., Turon J.-L., Eynaud F., Gendreau S.** European climatic response to millennial changes in the atmosphere-ocean system during the last glacial period // Quatern. Res., 2000, vol. 54, No. 3, p. 394–403.
- Grimm E.C., Jacobson G.L.Jr., Watts W.A. et al.** A 50 000-year record of climate oscillations from Florida and its temporal correlation with the Heinrich events // Science, 1993, vol. 261, p. 198–200.
- GRIP Members.** Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core // Nature, 1993, No. 364, p. 203–207.
- Heinrich H.** Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130 000 years // Quatern. Res., 1988, vol. 29, No. 2, p. 142–152.
- Hinnov L.A., Schulz M., Yiou P.** Interhemispheric space-time attributes of the Dansgaard-Oeschger oscillations between 100–0 ka // Quatern. Sci. Rev., 2001, vol. 21, p. 1215–1230.
- Mix A.C., Bard E., Schneider R.** Environmental processes of the ice age: land, oceans, glaciers (EPILOG) // Quatern. Sci. Rev., 2002, vol. 20, p. 627–657.
- Sarnthein M., Kennett J.P., Allen J.R.M. et al.** SCOR-IMAGES Working Group 117. Decadal-to-millennial-scale climate variability-chronology and mechanisms: summary and recommendations // Quatern. Sci. Rev., 2002, vol. 21, is. 10, p. 1121–1128.
- Vasil'chuk Yu. K.** Palaeopermafrost study in Siberia and Southern Korea // Proc. of Intern. Simp. Celebrating 55 th Anniversary of the Geological Society of Korea (25–26 October, 2002 г.). Kongju, Korea, 2002, p. 73–85.

Поступила в редакцию
23 июня 2003 г.