А.А. Андреев, В.И. Николаев, Д.Ю. Большиянов, В.Н. Петров

РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛЕДЯНОГО КЕРНА С ЛЕДНИКОВОГО КУПОЛА ВАВИЛОВА, СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ

Институт географии РАН, ААНИИ

Статья поступила в редакцию 20 сентября 1996 г.
Представлена членом редколлегии А.Ф. Глазовским

На основе комплексного изучения ледяного керна из глубокой скважины на леднике анализируются возможности палинологического метода для палеогляциологических исследований арктических ледников.

Для высокоширотных районов Арктики редко имеется возможность использовать метод спорово-пыльцевого анализа при исследованиях отложений, накапливавшихся непрерывно в течение тысячелетий. Еще более трудно оценить возраст таких отложений. В связи с этим интересны результаты палинологического исследования ледяного керна, полученного на леднике Вавилова (о. Октябрьской Революции, Северная Земля) в феврале - марте 1988 г. Они проводились параллельно с кислородно-изотопным анализом, результаты которого позволяют судить о климатостратиграфии ледяного керна.

Для российского сектора Арктики спорово-пыльцевой анализ ледяного керна был проведен впервые. Палинологические исследования поверхностных проб льда и снега с Земли Франца-Иосифа [*Кренке и Федорова, 1961*] и поверхностных проб мелкозема с о. Октябрьской Революции [*Калугина и др., 1979*] показали высокое содержание дальнезаносной пыльцы в пробах, в том числе *Corylus, Tilia* и *Cerealea* [*Кренке и Федорова, 1961*]. Результаты улавливания пыльцы и спор из воздуха, проведенного в июне - июле 1975 г. на леднике Вавилова [*Калугина и др., 1979*], свидетельствуют о невысокой концентрации пыльцы и спор в воздухе над поверхностью ледника даже в летние месяцы. Большая часть идентифицированной пыльцы принадлежала дальнезаносным таксонам.

Палинологические исследования ледяных кернов из Канадской Арктики и Гренландии [*Bourgeois, 1986; Bourgeois et al, 1985; Fredskild & Wagner, 1874; Lithi-Fedorovich, 1975; McAndrews, 1984; Short & Holdsworth, 1985*] показали возможность корреляций колебаний климата и гляциологических событий в высокоширотной Арктике. Все авторы отмечают наличие большого количества дальнезаносной пыльцы в спорово-пыльцевых спектрах при общем доминировании пыльцы местной растительности. Интерпретация подобных спектров затруднена, но позволяет провести корреляцию локальных и общерегиональных ландшафтно-климатических изменений.

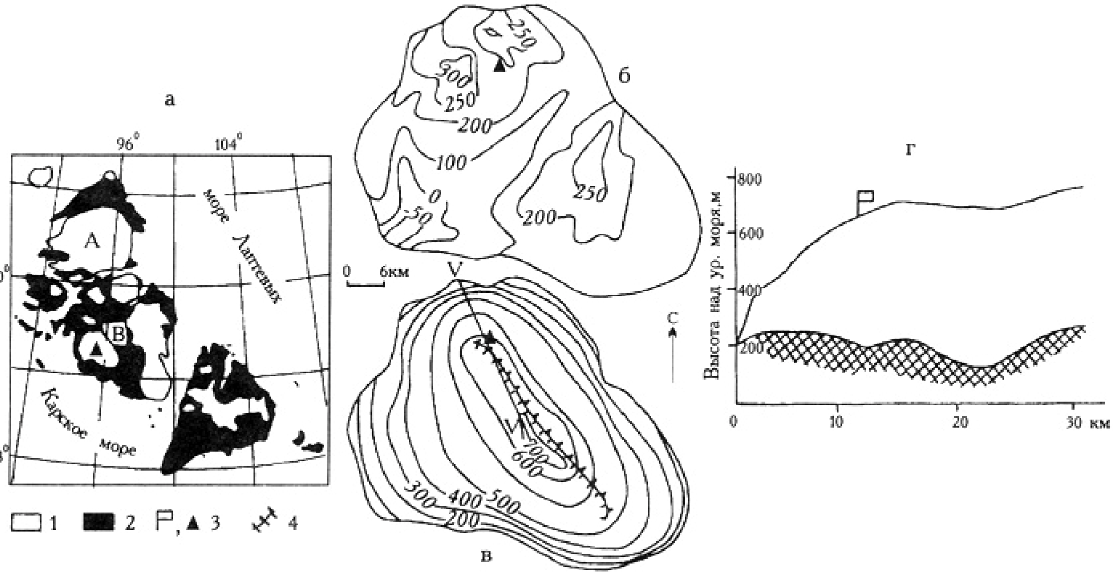


Рис. 1. Схема расположения ледника Вавилова на Северной Земле (а); топография подстилающего ледник ложа [2] (б) и его поверхности [2] (в); толщина льда вдоль разреза V-V [3] (г): 1 — ледники, 2 — суша, 3 — местоположение устья скважины, 4 — ледораздел, А — ледник Академии Наук, В- ледник Вавилова, V-V — поперечный разрез

Fig. 1. Location of the Vavilov Ice Cap on Severnaya Zemlya (a); subglacial topography of the Vavilov Ice Cap [2] (б) and its surface topography [2] (в); ice thickness along V-V section [3] (г): 1 — glaciers, 2 — land, 3 — borehole, 4 — ice divide, A — Academy of Sciences Glacier, B — Vavilov Ice Cap, V-V — transverse section

Физико-географические условия района исследований

На леднике Вавилова гляциологические исследования ведутся с 1962 г., а в 1974-1989 гг. здесь работал круглогодичный гляциологический стационар [*Барков и др., 1992*].

Площадь ледника составляет более 1820 км^2, высота достигает 728 м над ур. моря, максимальный поперечник 55 км [*Барков и др., 1992*], максимальная толщина по данным радиолокации 610 м [*Боярский и др., 1981*], самая глубокая скважина достигла ложа на глубине 556,5 м [*Морев и др., 1988*] (рис. 1). Ледник залегает на расчлененном плато высотой более 200 м, и только в юго-западной части подстилающая поверхность близка к уровню моря. Ледораздел простирается с северо-запада на юго-восток.

Отложения о. Октябрьской Революции представлены в основном палеозойскими сильно дислоцированными осадочными породами. Четвертичные отложения морского, дельтового и в меньшей степени ледникового генезиса в основном залегают в долинах. Водоразделы рек покрыты тонким прерывистым чехлом элювия и покровных суглинков [*Макеев и др., 1992*].

Климатические условия на острове крайне суровые. Средние температуры января достигают -33°С. Лето холодное, положительные средние месячные температуры отмечаются лишь в июле и августе. В теплый период на острове выделяются три локальные климатические зоны: ледниковая, перигляциальная и морская. В перигляциальной теплее на 2-3° по сравнению с морской, а в морской в свою очередь на 1,5-2,0° теплее, чем в ледниковой [*Брязгин и Юнак, 1988*]. По данным полярных станций, в морской зоне средняя температура июля меняется от -0,5°С до 2,7°С. Иногда самым теплым месяцем бывает август. Средняя годовая температура воздуха около -13, -14°С. Средняя годовая сумма осадков в ледниковой зоне (на леднике Вавилова) составляет 400 мм, в морской зоне острова 240-260 мм. Количество твердых осадков за год достигает 70% и более. Максимальное количество осадков в морской и перигляциальной зонах отмечается в сентябре, в ледниковой - в сентябре и октябре. Бесснежный период продолжается около двух месяцев. Сочетание низких

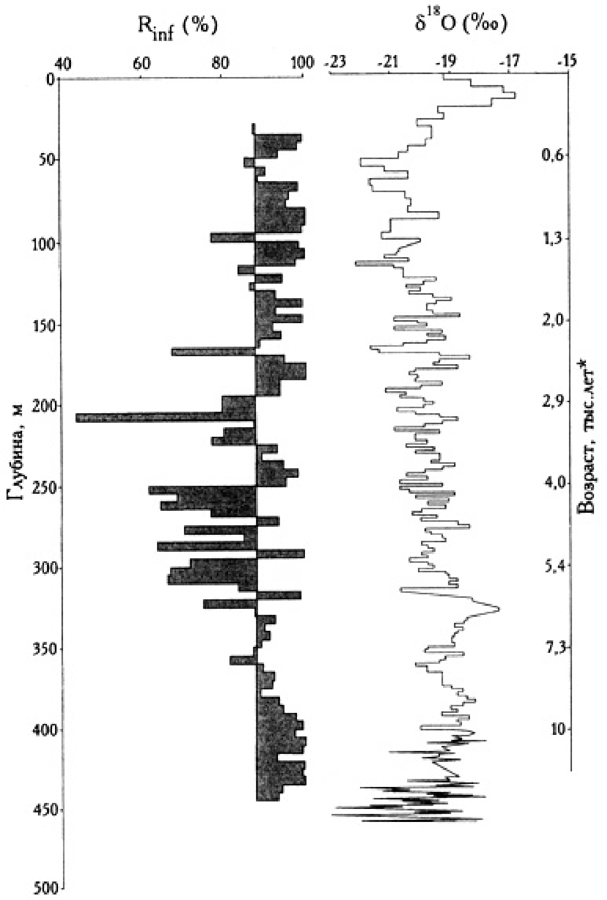


Рис. 2. Результаты структурно-стратиграфических и изотопных исследований ледяного керна с ледникового купола Вавилова: содержание инфильтрационного и инфильтрационно-конжеляционного льда R_{inf} в 5 — метровых отрезках керна в %; изотопный состав кислорода льда $\delta^{18}O$ (в ‰ относительно SMOW). Возраст льда рассчитан по модифицированной модели Ная [36] (оценка возраста льда на глубинах более 350 м малонадежна)

Fig. 2. Results of structural and stratigraphical and isotope studies of the Vavilov Ice Cap ice core: R_{inf} — content of infiltration and infiltration-congelation ice in 5-meter sections of the ice core (%); $\delta^{18}O$ — isotope composition of oxygen in the ice core (in ‰ relative to SMOW). The age was calculated by the modified Nye's model of a steady-state glacier [36]. Age estimate of ice lying below 350 m are not reliable.

температур воздуха и сильных ветров обусловливает значительную суровость погоды, достигающую на ледниках 7-8,баллов в январе [*Каталог ледников…, 1980*].

Ледник Вавилова служит орографическим барьером на пути воздушных масс, приносящих осадки с юго-запада [*Барков и др., 1992; Николаев и Колоколов, 1993*]. Гляциологические условия на леднике Вавилова неустойчивы. Аномально теплые или малоснежные периоды даже на вершине ледникового купола ведут к смене фирнового питания на ледяное. В то же время в отдельные годы здесь складываются условия, характерные для субхолодной фирновой подзоны (сочетание значительного стока и малого прогрева верхних горизонтов снежно-фирновой толщи) [*Говоруха, 1988*].

Растительный покров острова представлен травяно-моховыми, кустарничково-лишайниковыми и кустарничково-травянистыми полигональными арктическими пустынями [*Короткевич, 1958*]. Наиболее богатая растительность существует на террасах рек в центральной части острова, где встречаются такие редкие для архипелага растения, как *Artemisia borealis, Siversia glacialis, Potentilla emarginana* и ряд других. Всего на острове насчитывается 72 вида высших сосудистых растений, принадлежащих к семействам [*Сафронова, 1981*] Gramineae (15 видов), Cyperaceae (1), Juncaceae (3), Salicaceae (4), Polygonaceae (1), Caryophyllaceae (7), Ranunculaceae (2), Papaveraceae (2), Cruciferae (16), Saxifragaceae (11), Rosaceae (6), Primulaceae (1), Boraginaceae (1), Scrophulariaceae (1), Compositae (1).

По соотношению зональных географических групп флора о. Октябрьской Революции относится к высокоарктической. В ее составе господствуют преимущественно арктические (40) и аркто-альпийские (24) виды, высокоарктических видов насчитывается семь, одним видом представлены аркто-бореальные растения [*Сафронова, 1981*].

Местоположение скважины и бурение

В 1988 г. на леднике Вавилова в районе гляциологического стационара (79°27' с.ш. и 95°21' в.д., 665 м над ур. моря) электромеханическим снарядом была пробурена скважина (см. рис. 1), которая прошла 457,18 м «чистого» ледникового льда, 2,15 м мореносодержащего льда (из них 1,35 м с содержанием крупнообломочного материала) и 2,28 м мерзлых подстилающих пород. Проведено макроструктурное описание ледяного керна, отобраны образцы льда на изотопно-кислородные и спорово-пыльцевые исследования, а также пробы грунта на гранулометрический и минералогический анализы. Микроструктурные исследования проводились только на отдельных горизонтах для уточнения результатов, полученных по предшествующим скважинам [*Барков и др., 1988; Большиянов и др., 1990; Клементьев и др., 1988*]. Буровая скважина расположена в 20 км к северо-западу от вершины купола на краю современной области аккумуляции [*Барков и др., 1988*]. Ныне аккумуляция в районе скважины составляет 8 г/см^2 в год [*Брязгин, 1981*].

Результаты структурно-стратиграфических и изотопных исследований ледяного керна

Прямое датирование льда затруднено. Для этих целей обычно используют моделирование течения льда и сопоставление результатов структурно-стратиграфических исследований с надежно датированными палеогеографическими данными. Возраст льда можно рассчитать по модифицированной модели стационарного ледника Ная [*Hammer et al., 1978*], исходя из современной аккумуляции, равной 8 г/см^2 в год в районе устья скважины [*Брязгин, 1981*]. Такие расчеты довольно надежны для верхних 2/3 ледниковой толщи (лед на глубине 300 м имеет возраст 5,4 тыс. лет), (рис. 2). На основе макроскопического описания было выделено три генетических типа льда: режеляционный, инфильтрационный и инфильтрационно-конжеляционный (текстурно-структурные особенности льда подробно описаны ранее в [*Короткевич и др., 1985*]). Известно, что соотношение разных генетических типов льда в керне может служить важным климатостратиграфическим индикатором [*Короткевич и др., 1985*]. Представленное на рис. 2 процентное содержание инфильтрационного и инфильтрационно-конжеляционного льда, осредненное по 5-метровым интервалам керна, может быть интерпретировано с точки зрения температур воздуха летнего периода. При незначительном таянии или его отсутствии образуется режеляционный лед - индикатор холодных условий, инфильтрационный лед отражает условия умеренно теплого периода и инфильтрационно-конжеляционный лед образуется при сильном таянии в условиях теплого лета.

Исследования на леднике Вавилова [*Короткевич и др., 1985*] показали, что при частом чередовании теплых и холодных периодов стратиграфическая колонка дает преувеличенное представление о преобладании первых из них. Присутствие в колонке режеляционного льда свидетельствует о том, что холодные летние периоды продолжались по крайней мере несколько лет подряд. Это связано с тем, что во время теплого лета фильтрация талой воды в пористые слои фирна может полностью затушевать характерные признаки предшествующих холодных лет. Этот процесс наглядно демонстрирует верхняя часть керна (0-200 м) нашей скважины на куполе Вавилова (см. рис. 2). По мере движения льда, растекающегося от вершинной части ледника к современному положению устья скважины, во вновь отложенном снегу усиливались таяние и инфильтрация. В результате амплитуда вариаций процентного содержания инфильтрационного и инфильтрационно-конжеляционного льда в керне резко уменьшилась при существенном увеличении средних значений.

Учитывая сказанное, при корреляции климатостратиграфических данных по ледникам Северной Земли целесообразно использовать (по крайней мере для верхней части керна) холодные пики (см. рис. 2), так как в керне нашей скважины относительное содержание инфильтрационного льда близко к 100%, и установить иерархию теплых пиков не представляется возможным. Наиболее заметные холодные пики в нашем керне расположены на следующих глубинах: около 170 м (2,3-2,4 тыс. лет назад), 195-225 м (2,8-3,4 с пессимумом около 3 тыс. лет назад) и 250-310 м (4,0-5,7 тыс. лет назад). Эти данные означают, что в указанные периоды времени на леднике была пониженная летняя абляция. Первые два пика косвенно подтверждают полученные ранее данные по эволюции величины аккумуляции на ледниках Северной Земли. Ее максимум отмечается 2,5-2,7 тыс. лет назад [*Котляков и др., 1989*]. Максимум оледенения Северной Земли в голоцене, по данным распределения температуры в ледниковой толще ледника Вавилова, приходится на 2,4 тыс. лет назад [*Барков и др., 1988*]. Преимущественно холодные летние условия (4,0-5,7 тыс. лет назад) (интервал 250-310 м) прерывались кратковременными потеплениями 4,5-4,6 и 5,1-5,3 тыс. лет назад (глубина 270-275 и 290-295 м, соответственно). Ранее 5,7 тыс. лет назад (интервал 310-445 м), по данным структурно-стратиграфических исследований ледяного керна нашей скважины, отмечались сравнительно теплые летние условия.

Значения $\delta^{18}O$ ледникового льда на Северной Земле обусловлены как температурами формирования атмосферных осадков, так и температурами теплого периода определяющими процессы таяния снега. Последние сопровождаются стоком талых (изотопно более легких по сравнению с остающимся льдом) вод с ледника, т.е. происходит фракционирование изотопов. Однако для условий льдообразования, подобных исследованным, характерна статистически значимая корреляция между осредненными по десятилетиям значениями $\delta^{18}O$ льда и температуры воздуха по данным метеонаблюдений [*Котляков и Гордиенко, 1982*].

Изотопно-кислородная кривая (см. рис. 2) показывает также, как и для предшествующих кернов с Северной Земли [*Вайкмяэ и Пуннинг, 1982; Котляков и др., 1989; 1991*], значительные вариации значений $\delta^{18}O$ для верхней части керна, сравнительно стабильные условия в средней части и высокие (теплые) значения в нижней. Для нижних 25 м керна также характерны значительные колебания $\delta^{18}O$.

Средний современный изотопный состав атмосферных осадков на куполе Вавилова составляет -19‰ [*Николаев и Колоколов, 1993*]. С учетом того, что минимальное значение изотопного сдвига на рубеже плейстоцена и голоцена, по данным многочисленных исследований, составляет 5-6‰, плейстоценовый уровень изотопных значений нигде (за исключением базального слоя) в керне не фиксировался. В базальном слое льда (см. рис. 2), как уже отмечалось, зафиксировано несколько резких осцилляций, характерных для эпохи перехода от позднеледниковья к голоцену. Однако идентифицировать их с известными климатическими событиями не целесообразно, так как их образование может быть также обусловлено формированием перевернутых складок при движении льда вблизи коренных пород [*Boulton, 1993*]. В этом случае вместо «истинного» монотонного падения значений $\delta^{18}O$ на изотопной кривой будет зафиксирован пик (пики).

Таким образом, на изотопно-кислородной кривой отмечается термический оптимум (на глубинах ниже 375 м - ранее 8,5 тыс. лет назад), что подтверждает полученные ранее оценки возраста климатического оптимума голоцена Северной Земли - (8,8 - 10,8 тыс. лет назад [*Большиянов и Макеев, 1995*]) на основе изучения разрезов четвертичных отложений во внеледниковой зоне. Отмечаются также небольшое похолодание (350-375 м) и потепление (335-350 м) соответственно около 7,3-8,5 и 6-7,3 тыс. лет назад. Выше идет осложненное вариациями направленное похолодание, которое достигает экстремума 600 лет назад. По предшествующим исследованиям на североземельских ледниках [*Котляков и др., 1989; 1991*], возраст раннеголоценового термического оптимума здесь оценивается 7-9 тыс. лет назад, а соответствующих похолодания 7-6 тыс. лет и потепления 5-6 тыс. лет назад, что практически совпадает с хронологическим эталоном Северной Евразии по спорово-пыльцевым данным [*Хотинский, 1987*]. Сравнивая эти данные между собой, мы можем заключить, что точного соответствия возрастов упомянутых климатических событий нет. Однако нужно помнить, что возраст льда рассчитан при допущении стационарного состояния ледника Вавилова, в то время как даже на его вершине (в наиболее стабильных условиях) аккумуляция в голоцене варьировала и иногда достигала 140-150% современного уровня [*Котляков и др., 1991; Николаев и др., 1997*]. Тренд к похолоданию по представлениям авторов (см. также [*Котляков и др., 1991; Николаев и др., 1997*]) обусловлен направленным ростом ледниковых шапок Северной Земли в голоцене.

При бурении скважина прошла чистый лед (0-457,92 м), лед, содержащий крупнообломочный материал (457,92-459,28 м) и льдосодержащие подстилающие породы (459,28-461,61). Ледниковый мореносодержащий лед был идентифицирован как плейстоценовый благодаря значениям его изотопного состава (до δD = -187‰; $\delta^{18}O$ = -26‰) [*Николаев и др., 1996*]. Лед из подстилающих мерзлых пород преимущественно представляет собой сегрегационный + лед-цемент. Изотопно-кислородные данные свидетельствуют о том, что преобладающим источником влаги для них служат талые снеговые воды [*Nikolaev & Mikhalev, 1995*]. Изотопный состав кислорода исходных вод для наших подземных льдов $\delta^{18}O$ = -13‰. Используя значение коэффициента 0,5-0,6‰/°C для изотопного состава кислорода подземных льдов в случае январских температур [*Nikolaev & Mikhalev, 1995*], мы можем, правда довольно грубо, оценить разницу современных январских температур и температур времени формирования подземных льдов (около 10°C). Заметим, что на Северной Земле в позднем плейстоцене - голоцене январские температуры были столь же высоки (выше на 10-12°) только во время последнего межледниковья (125 тыс. лет назад) [*Atlas…, 1991*].

Таким образом, можно предположить, что изученный ледяной керн представляет собой разрез голоцена, начиная с его первых этапов, возможно, со стратиграфическими перерывами в эпохи с высокой летней абляцией (с большим содержанием инфильтрационного льда, см. рис. 2). Мореносодержащий лед представлен плейстоценовым эпизодом, а грунтовый - сформировавшимся в теплую эпоху (последнее межледниковье?) льдом.

Методика спорово-пыльцевых исследований

Для отбора образцов на спорово-пыльцевой анализ были использованы части керна, остававшиеся после отбора льда на изотопно-кислородный и другие виды анализов. Общая длина участка керна (включая фрагменты отобранные на другие виды анализов), использованного для отбора одного спорово-пыльцевого образца составляла, как правило, около 2 м, варьируя в отдельных случаях от 1,5 до 4 м. Диаметр керна составлял 8-10 см. Каждый фрагмент тщательно ополаскивался с поверхности отфильтрованной водой, чтобы избежать загрязнения заносными палиноморфами и затем растапливался. Полученная вода фильтровалась под вакуумом через мембранные фильтры фирмы «Synpor» с диаметром пор около 10 микрон. Средний объем профильтрованного материала составлял около 22 л для одного образца.

Фильтры высушивались и в лабораторных условиях растворялись в ацетоне. Затем с помощью центрифуги из полученного раствора выделялся осадок, содержащий наряду со спорами и пыльцой минеральные частицы, главным образом окатанные и не-окатанные зерна кварца и мусковита. Полученный осадок подвергался ацетолизу без предварительной обработки тяжелой жидкостью.

Таблица 1

Результаты спорово-пыльцевых исследований ледяного керна из глубокой скважины на ледниковом куполе Вавилова

Глубина, м	Общая сумма пыльцы и спор	Пыльца местных растений	Дальнезаносные пыльца и споры		
			тундровые и таежные растения	термофилы	антропофиты
снег 1	15	4	11		
снег 2	74	31	49	1	2
фирн	254	20	234		
0.00-0.20	169	29	136	1	3
2.65-4.65	302	29	267	6	
4.78-6.21	1547	1322	69	152	2
6.51-8.45	617	469	88	59	1
8.77-10.70	180	124	3	36	2
10.70-12.31	81	43	14	24	
12.61-14.60	42	26	4	12	
14.60-16.62	111	62	37	11	1
17.00-18.79	29	22	4	3	
21.65-22.82	146	109	14	23	
24.51-25.98	49	31	12	6	
26.56-28.25	10	4	5	1	
28.68-30.38	24	10	12	2	
30.38-32.41	254	187	44	20	3
32.41-34.75	123	79	35	9	
34.75-36.30	61	41	20	2	
37.75-40.05	418	317	86	10	5
40.05-41.84	265	93	159	2	11
52.26-54.00	39	19	15	4	1
62.06-65.49	206	60	134	10	2
74.05-76.10	44	13	31		
84.01-86.00	102	41	57	2	2
92.13-93.93	39	8	27	4	
93.93-96.00	75	33	36	6	
96.00-98.02	17	9	8		
113.11-115.86	60	13	46	1	
121.89-124.01	27	11	15	1	
139.06-140.82	38	8	29	1	
154.30-157.32	34	12	21	1	
168.55-171.47	53	12	40	1	
182.04-184.23	12	4	8		
198.09-201.98	107	41	63	3	
216.08-218.95	32	8	23	1	
232.03-233.84	20	6	12	2	
247.52-250.02	9	2	7		
265.89-269.05	112	32	77	1	
283.83-286.76	53	13	40		
300.22-304.79	141	51	90	2	
318.77-322.78	64	11	43	6	
336.22-340.07	128	60	64	4	2
352.10-355.84	54	25	28	1	
368.74-372.10	48	14	3	4	
385.14-388.00	42	14	25	3	
399.29-401.94	21	8	12	1	
414.01-416.84	22	5	16	1	
426.31-428.85	17	13	4		
437.17-439.60	14	5	9		
449.33-451.92	44	12	30	2	
454.43-457.07	14	5	7	2	
458.02-458.29	55	15	39	2	
458.44-458.54	113	18	92	3	
458.59-458.70	0				
459.99-460.15	7		7		
460.15-469.24	6		6		
460.24-460.41	21	6	15		
461.03-461.35	1		1		
461.35-461.46	15	8	6	1	
461.46-461.61	14	3	11		

Для сравнения состава ископаемых спектров с современным пыльцевым дождем были отобраны образцы снега, фирнового слоя и верхнего 20-сантиметрового слоя льда на леднике Вавилова, а также снега из внеледниковых частей острова. Спорово-пыльцевым анализом были исследованы все образцы (21) из верхней 42-метровой части керна, так как состав спорово-пыльцевых спектров в них оказался существенно иным, чем в лежащих ниже слоях. Палинологический анализ нижней части керна проводился через каждые 10-15 м (33 образца). Из слоя подстилающего мореносодержащего льда на глубине 458-462 м проанализировано 9 образцов.

Результаты спорово-пыльцевых исследований

Результаты палинологического анализа представлены в табл. 1.

Как видно из этой таблицы, концентрация пыльцы во льду колеблется очень значительно от образца к образцу, от 1545 зерен на глубине 4,78-6,21 м до 10 и 9 зерен на глубине 26,56-28,75 и 247,5-250,02 м, соответственно. При этом глубина залегания образцов и длина использованных отрезков керна (объемы профильтрованной воды) существенно не влияли на количество зерен, хотя наибольшие концентрации отмечаются все же в образцах из верхнего 40-65-метрового слоя, накопившегося, согласно модели распределения возраста с глубиной (см. рис. 2), за последние 500-800 лет.

Пыльца и споры, подсчитанные в каждом образце, были распределены на две условные группы: *местные* и *дальнезаносные*.

К пыльце местных растений отнесены все подсчитанные пыльцевые зерна и споры семейств и родов, представители которых отмечены в местной флоре. Это пыльца Rosaceae, содержание которой достигает 84% в некоторых спектрах, Artemisia (до 65%), Poaceae (до 15%), Ranunculaceae (до 8,6%), Salix (до 5,4%), Pofygonaceae (до 3,6%), Caryophyllaceae (до 1,6%), Brassicaseae (до 1%), Papaveraceae (до 0,6%) и споры Bryales (до 1,2%). Определенная часть палиноморф из этой группы, безусловно, результат дальнего заноса, но достоверно отделить пыльцу, продуцированную местными растениями, от дальнезаностной невозможно, поэтому формально все пыльцевые зерна этих таксонов отнесены в группу пыльцы местных растений. Косвенным свидетельством того, что большая часть пыльцевых зерен в этой группе принадлежит действительно местным растениям, служит наличие большого количества мелких, деформированных пыльцевых зерен Poaceae и Artemisia. Это говорит о том, что подобные пыльцевые зерна должны были продуцироваться в крайне неблагоприятных местных условиях.

Процентное содержание пыльцы представителей семейства Chenopodiaceae, отсутствующих во флоре островов Североземельского архипелага (пыльца которых обладает приблизительно равной с Poaceae и Artemisia, способностью к воздушному переносу и постоянно отмечается в спорово-пыльцевых спектрах), может служить надежным показателем присутствия дальнезаносных пыльцевых зерен в этой группе. Ее содержание, как правило, не превышает 3-12%. Это свидетельствует о том, что большая часть пыльцы в группе местных растений действительно принадлежит местным продуцентам.

Дальнезаносные пыльца и споры в свою очередь были разделены на следующие условные подгруппы: тундровые и таежные растения, термофилы и антропофиты.

К термофилам отнесены пыльцевые зерна теплолюбивых растений, ареалы которых удалены от острова на тысячи километров к югу и юго-западу. Эти таксоны представлены пыльцой *Cotylus avellana, Carpinus betulus, C. orientalis,* Fagus, Quercus, *Ulmus campestris, Tilia cordifolia, T. cordata,* Juglans, *Rhamnus catharctica,* Vitis, Humulus, Impatiens и Malvaceae.

Представители этой группы очень редки в составе спорово-пыльцевых спектров и, как правило, представлены пыльцой *Corylus avellana*, за исключением образцов из верхних 40-65 м разреза, где пыльца *Tilia cordifolia* (platyphyllos) встречается постоянно, иногда достигая 30% общего состава спектра. Столь значительное присутствие пыльцы этого, преимущественно западноевропейского вида липы [*Флора СССР, 1949*], цветущего в июне - июле, позволяет говорить о преобладании юго-западного переноса воздушных масс на архипелаге в летнее время за последние 500 лет. Как свидетельствуют проведенные исследования [*Барков и др., 1992; Николаев и Колоколов, 1993*], и в настоящее время ледник служит орографическим барьером на пути воздушных масс, приносящих осадки с юго-запада. Интересно отметить, что пыльца другого вида липы (*Tilia cordata*), также произрастающего в Западной Европе, но широко распространенного и в Европейской части России, и на юге Сибири, почти не встречается в спектрах.

В малочисленную группу *антропофитов* входит пыльца культурных и сорных растений: Cerealea, Malaceae, *Centaurea cyanus*, *Plantago lanceolata* и Cannabis. Представители этой группы встречаются в составе спорово-пыльцевых спектров единично и лишь в пределах верхних 85 м. Единичные находки крупных пыльцевых зерен Poaceae (Cerealea?), сделанные на глубине 336,22-340,07, могут относиться, по всей вероятности, к дикорастущим представителям родов этого семейства, продуцирующих крупную пыльцу (Agropyrum, Avena и т.д.). Согласно модели распределения возраста с глубиной (см. рис. 2), верхние 85 м накопились за последнюю тысячу лет. Такая оценка возраста этих слоев хорошо согласуется с пыльцевыми данными. Значительное увеличение содержания пыльцы Cereales и сорных растений в спорово-пыльцевых спектрах отмечается в слоях отложений разного генезиса, датируемых последним тысячелетием [*Хотинский и др., 1991; Behre, 1981; Berglund, 1985; Odgaard, 1989*].

В самую многочисленную группу тундровых и таежных растений входит пыльца и споры представителей семейств и родов широко распространенных в тундровой и таежной зонах Северного полушария. Постоянно присутствует, иногда в больших количествах пыльца деревьев *Betula* sect. Albae (до 26%), *Betula* sect. *Nanae* (до 13%), *Betula* sect. *Fruticosae* (до 3,6%), *Alnus fruticosa* (до 39%), *Alnus glutinosa* (до 5%), *Alnus incana* (до 2,6%), *Pinus* s/g *Diploxylon* (до 21%), *Pinus* s/g *Haploxylon* (до 17%), Picea (до 4,5%). Пыльцевые зерна Larix и Abies встречаются единично, что объясняется их слабой летучестью.

Среди травянистых таксонов (кроме постоянно присутствующей, иногда в очень больших количествах пыльцы Artemisia, Rosaceae, Poaceae и Ranunculaceae), входящих в группу пыльцы местных растений, но безусловно имеющих в своем составе и дальнезаносные пыльцевые зерна, почти постоянно встречаются пыльцевые зерна Chenopodiaceae (до 25%), Asteraceae (до 5,2%), Apiaceae (до 8%) и Cichoriaceae (до 3,2%). Таксоны даны в порядке убывания встречаемости. Кроме перечисленных таксонов отмечены единичные находки пыльцевых зерен Thalictrum, Lamiaceae, Polemonium, Fabaceae, Typha, Scrophulariaceae, Utricularia, Potamogeton, Valeriana, Plumbaginaceae, Myriophyllum и Ericales.

Среди дальнезаносных палиноморф обычны также споры Sphagnum (до 24%) и Polypodiaceae (до 16%). Изредка встречаются споры Equisetum, *Pteridium aquilinum, Antoceros levis, Lycopodium alpinum, Lycopodium clavatum, Lycopodium annotinum* и *Lycopodium tristachyum*.

Заключение

Палинологический анализ показал, что уникальный характер ледовых пыльцевых спектров существенно ограничивает использование спорово-пыльцевого метода для исследований ледников высокоширотной Арктики. Лишь верхние 65 м ледяного керна, благодаря присутствию пыльцы Cerealea и сорных растений в спорово-пыльцевых спектрах, можно довольно уверенно датировать последним тысячелетием. Этот вывод хорошо согласуется с моделью распределения возраста с глубиной.

Невозможна прямая корреляция «ледовых» спектров ледника Вавилова с региональными спорово-пыльцевыми спектрами из других типов отложений, так как пыльца и споры, перенесенные на громадные расстояния, здесь играют значительную роль. Тем не менее, климатостратиграфическое расчленение ледяного керна, проведенное на основе его структурно-стратиграфического и изотопного исследований, не противоречит данным пыльцевого анализа. Таким образом, ледяной керн представляет собой разрез голоцена, начиная с его первых этапов, мореносодержащий лед представлен плейстоценовым эпизодом, а грунтовый сформирован в теплую эпоху (последнее межледниковье?). При этом отметим возможность стратиграфических перерывов в эпохи с высокой летней абляцией (с большим содержанием инфильтрационного льда).

Находки экзотической пыльцы дают представление о возможностях дальнего заноса. Так, присутствие большого количества пыльцы западноевропейского вида липы *Tilia ordifolia* (platyphyllos) в верхних слоях льда позволяет говорить о преобладании юго-западного переноса воздушных масс на архипелаге в летнее время за последние 500 лет.

Проведенные нами исследования свидетельствуют, что в тех случаях, когда мы имеем дело с отложениями, сформировавшимися в районах, где растительный покров крайне разрежен, а цветение часто подавлено, присутствие дальнезаносной пыльцы в спектрах может оказать существенное влияние на результаты реконструкций. Значительный ветровой занос может и мог иметь место не только в арктических районах, но и в аридных (пустыни, районы лессообразования в плейстоцене и т.п.). Таким образом, интерпретация палинологических данных из указанных регионов должна проводится с крайней осторожностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Барков Н.И., Блинов К.В., Бугорков М.С., Дмитриев Д.Н.* Геофизические исследования в скважине глубиной 460 м на леднике Вавилова (Северная Земля). - Геогр. и гляциол. исслед. в полярных странах. Л., 1988, с. 14-24.

2. *Барков Н.И., Большиянов Д.Ю., Гвоздик О.А.* и др. Новые данные о строении и развитии ледника Вавилова на Северной Земле. - МГИ, вып. 75, 1992, с.35-41.

3. *Барков Н.И., Николаев В.И.* Письмо в редакцию. - МГИ, вып. 71, 1991, с.233-236.

4. *Большиянов Д.Ю., Клементьев О.Л., Коротков И.М., Николаев В.И.* Исследования керна мореносодержащего льда ледника Вавилова на Северной Земле. - МГИ, вып. 70, 1990, с. 105-110.

5. *Большиянов Д.Ю., Макеев В.М.* Архипелаг Северная Земля - оледенение, история развития природной среды. СПб., ГИМИЗ, 1995, 216 с.

6. *Боярский В.И., Говоруха Л.С., Федоров Б.А.* Некоторые результаты радиогляциологических исследований на Северней Земле. - Тр. ААНИИ, т.367, 1981, с. 58-63.

7. *Брязгин Н.Н.* Гляциоклиматическая характеристика купола Вавилова в период абляции.- Тр. ААНИИ, т.367, 1981, с. 38-53.

8. *Брязгин Н.Н., Юнак Р.И.* Температура воздуха и осадки на Северной Земле в периоды абляции и аккумуляции. - Геогр. и гляциол. исслед. в полярных странах. Л., 1988, с. 70-81.

9. *Вайкмяэ Р.А., Пуннинг Я.-М.К.* Изотопно-геохимические исследования на ледниковом куполе Вавилова, Северная Земля. - МГИ, вып. 44, 1982, с. 145-149.

10. *Говоруха Л.С.* Современное наземное оледенение Советской Арктики. Л., ГИМИЗ, 1988, 256 с.

11. *Калугина Л.В., Макеев В.М., Малаховский Д.Б., Сафронова И.Н.* Некоторые результаты палинологических исследований на архипелаге Северная Земля в связи с вопросом о переносе пыльцы и спор в высокоширотной Арктике. - Изв. ВГО, т.111, №4, 1979, с. 330-334.

12. Каталог ледников СССР, т. 16, Ангаро-Енисейский район, вып. 1, ч. 1. Л., ГИМИЗ, 1980, 49 с.

13. *Клементьев О.Л., Коротков И.М., Николаев В.И.* Гляциологические исследования в 1987-1988 гг. на ледниковых куполах Северной Земли. - МГИ, вып. 63, 1988, с. 25-26.

14. *Короткевич Е.С.* Растительность Северной Земли. - Ботанический журнал, т.43, № 5, 1958, с. 644-663.

15. *Короткевич Е.С, Петров В.Н., Барков Н.И.* и др. Стратиграфия центральной части ледника Вавилова (Северная Земля). - Проблемы Арктики и Антарктики, вып. 59, 1985, с. 5-21.

16. *Котляков В.М., Гордиенко Ф.Г.* Изотопная и геохимическая гляциология. Л., ГИМИЗ, 1982, 288 с.

17. *Котляков В.М., Коротков И.М., Николаев В.И.* и др. Реконструкция климата голоцена по результатам исследования ледяного керна Вавилова на Северной Земле. - МГИ, вып. 67, 1989, с. 103-108.

18. *Котляков В.М., Николаев В.И., Коротков И.М., Клементьев О.Л.* Климатостратиграфия голоцена ледниковых куполов Северной Земли. - Стратиграфия и корреляция четвертичных отложений Азии и Тихоокеанского региона. М., 1991, с. 100-112.

19. *Кренке А.Н., Федорова Р.В.* Пыльца и споры на поверхности ледников Земли Франца-Иосифа. - МГИ, вып. 2, 1961, с. 57-60.

20. *Макеев В.М., Большиянов Д.Ю., Малаховский Д.Б.* и др. Стратиграфия и геохронология плейстоценовых отложений Северной Земли. - Геохронология четвертичного периода, М., 1992, с. 133-137.

21. *Морев В.А, Клементьев О.Л., Маневский Л.Н.* и др. Гляцио-буровые работы на леднике Вавилова в 1979-1985 гг. - Геогр. и гляциол. исслед. в полярных странах. Л., 1988, с. 25-33.

22. *Николаев В.И., Большиянов Д.Ю., Жузель Ж.* и др. Изотопные исследования керна мореносодержащего льда ледника Вавилова на Северной Земле. - МГИ, вып. 80, 1996, с. 31-37.

23. *Николаев В.И., Колоколов С.Л.* Палеоклиматическая интерпретация изотопно-кислородных данных по ледяным кернам с полярных ледников: методические аспекты. - МГИ, вып. 76, 1993, с. 146-154.

24. *Николаев В.И., Саламатин А.Н., Дудкина А.В., Клементьев О.Л.* Реконструкция колебаний баланса массы и толщины куполовидного ледника в прошлом по годовым слоям льда. - МГИ. Вып. 83. 1997.

25. *Сафронова И.Н.* Флора о. Октябрьской Революции.- Тр. ААНИИ, т.367, 1981, с.142-150.

26. *Хотинский Н.А.* Радиоуглеродная хронология и корреляция природных и антропогеновых рубежей голоцена. - Новые данные по геохронологии четвертичного периода. М., 1987, с. 39-45.

27. *Хотинский Н.А., Алешинская З.В., Гуман М.А.* и др. Новая схема периодизации ландшафтно-климатических изменений в голоцене. - Изв. АН СССР, сер. геогр., 1991, №3, с. 30-42.

28. Флора СССР. М.-Л., Изд-во. АН СССР, т. 15, 1949, 739 с.

29. Atlas of Paleoclimates and Paleoenvironment of the Northern Hemisphere (Last Pleistocene - Holocene). Geographical Research Institute, Hugarian Academy of Sciences & Gustav Cischer VERLAG, Budapest - Stuttgart, 1991, 146 p.

30. *Behre K.E.* The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. - Pollen et spores, v. 23, 1981, p. 225-245.

31. *Berglund B.E.* Early agriculture in Scandinavia: Research problems related to pollen-analytical studies. - Norwegian Archaeological Review, v. 18, N 1-2, 1985, p.77-105.

32. *Boulton G.S.* Two cores are better than one. - Nature, v.366, N 6455, 1993, p. 507-508.

33. *Bourgeois J.C.* A pollen record from the Agasssiz Ice Cap, northern Ellesmere Island, Canada. - Boreas, v. 15, 1986, p. 345-354.

34. *Bourgeois J.C., Koerner R.M., Alt B.T.* Airborne pollen: a unique air mass tracer, its influx to the Canadian High Arctic. - Annals of Glaciology, v.7, 1985, p.109-116.

35. *Fredskild B., Wagner P.* Pollen and fragments of plant tissue in core samples from the Greenland Ice Cap. - Boreas, v. 3, 1974, p. 105-108.

36. *Hammer C.U., Clausen H.B., Dansgaard W.* et al. Dating of Greenland ice cores by flow models, isotopes, volcanic debris and continental dust. - Journ. of Glaciology, v. 20, N 82, 1978, p. 3-26.

37. *Lithi-Fedorovich S.* Pollen analysis of ice core samples from the Devon Island Ice Cap. - Geological Survey Canada, Paper 74-1A, 1975, p. 441-444.

38. *McAndrews J.H.* Pollen analysis of the 1973 ice core from Devon Island Ice Cap, Canada. - Quaternary Research, v. 22, 1984, p. 68-76.

39. *Nikolayev V., Mikhalev D.* An oxygen-isotope paleothermometer from ice in Siberian permafrost. - Quaternary Research, v. 43, 1995, p. 14-21.

40. *Odgaard B.* Cultural landscape development through 5500 years at Lake Skanso, Northwestern Jutland as reflected in regional pollen diagram. - Journ. of Danish Archaeology, v.8, 1989, p. 200-210.

41. *Short S.K. Holdsworth G.* Pollen, oxygen isotope content and seasonality in ice core from the Penny Ice Cap, Baffin Island. - Arctic, v. 38, 1985, p. 214-218.

SUMMARY

In February-March, 1988, the mass of the Vavilov Ice Cap (79°27'N and 95°21'E, Severnaya Zemlya Archipelago) was penetrated. The drill pierced the "pure" ice (457.18 m), debris-containing ice (2.15 m) and sank into the underlying frozen unlithified Quaternary sediments (2.28 m).

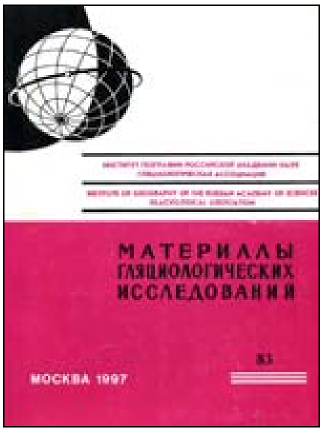
On the basis of isotopic and structural investigations we concluded that the studied core had been formed in Holocene, debris-containing ice represented a Pleistocene episode, and ground ice had taken shape during a warm period (Last Interglacial?).

Palynological analysis indicates a unique pattern of the ice pollen spectra, which reduces severely the chances of using palynological stratigraphy in investigating high-latitude Arctic glaciers. Only the upper 65 meters of the ice core can be dated to the last millennium by the presence of Cerealea and weedy pollen in the spore-pollen spectra.

Finds of exotic pollen, bringing the idea of a very long-distance transport, seem t be of great interest. For example, the presence of considerable amounts of *Tilia ordifolia* (platyphyllos), a species of West-European lime, in the upper ice layers suggests that for the last 500 years there has been prevalence of summer air from the south-west.

Our investigations indicate that when we deal with deposits formed in areas with a extremely low vegetation cover and often - with reduced flowering, the presence in the spectra of pollen brought over from a long distance is likely to have a considerable impact on the results of reconstructions Wind-blown pollen can and, in the past, could play a dominant role in the Arctic and in arid areas (deserts, periglacial landscapes, etc.). Therefore, one should be very careful interpreting palynological data from such regions.

Ссылка на статью:



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. Хроника, обсуждения. 1997. № 83. С. 112-120.