

*Д.Ю. Большианов, О.Л. Клементьев, И.М. Коротков, В.И. Николаев*  
ААНИИ, Институт географии АН СССР

## ИССЛЕДОВАНИЯ КЕРНА МОРЕНОСОДЕРЖАЩЕГО ЛЬДА ЛЕДНИКА ВАВИЛОВА НА СЕВЕРНОЙ ЗЕМЛЕ

Статья поступило в редакцию 29 марта 1989 г.  
Представлена членом редколлегии Л.Р.Серебряным

В результате исследований керна из ледниковой скважины получены новые данные о динамике холодного ледника на его контакте с подстилающими породами.

Условия на границе раздела лед - подстилающие породы до настоящего времени исследованы весьма слабо. В связи с этим каждое новое проникновение к такой границе представляет особый интерес, поскольку позволяет получить конкретные данные для выявления особенностей движения ледника. В феврале-марте 1988 г. толща ледника Вавилова на о. Октябрьской революции в архипелаге Северная Земля была пройдена электромеханическим снарядом КЭМС-112, разработанным сотрудниками Ленинградского горного института; получен ледяной керн. Эти работы стали продолжением планомерных исследований этого ледника [*Барков и др., 1988; Короткевич и др., 1985; Морев и др., 1988; Чистяков и др., 1988*].

Программой работ предусматривалось исследование керна из зоны контакта холодного ледника и его ложа: описание структуры и текстуры неориентированного керна, его фотографирование и зарисовки, определение льдистости отдельных частей, содержания крупнообломочного материала путем взвешивания, отбор образцов обломочного материала для лабораторной обработки. Льдистость породы определялась по 12 образцам, содержание крупнообломочного материала - по 29 образцам. Для лабораторных исследований - гранулометрического анализа, исследования органических остатков, спорово-пыльцевого анализа и др. - отобрана вся минеральная часть керна - 28 образцов. По результатам макроописания мореносодержащего льда в керне выбраны его наиболее интересные участки, которые затем исследованы с помощью петроструктурного метода. Изучено по 10 ледяных пластин и шлифов, проведен микроструктурный анализ по трем шлифам. Из ледникового льда, ледогрунта и ледяных линз в осадочных отложениях отобраны 24 пробы воды для исследования изотопного состава кислорода.

Глубина скважины № 8 на леднике Вавилова составила 461,61 м, мощность мореносодержащего льда 2,15 м, подстилающих отложений 2,28 м, дочетвертичных пород буровой снаряд не достиг (рис. 1). Границы между льдом и грунтом четко определяются по содержанию в керне первого и текстурным признакам. Для мореносодержащего льда характерны значительные объемы, более 70% ледяного материала и взвешенные в нем обломочные минеральные частицы размером от алеврита до щебня, а для подстилающих пород - меньшее льдосодержание, менее 50%, и типично мерзлотные шлировые, ячеистые и сетчатые текстуры. Последние представлены красно-коричневыми алевритами с большим количеством дресвы и щебня красноцветных девонских песчаников, алевролитов и аргилитов. По литологическому составу эти породы аналогичны покровным суглинкам, широко распространенным на свободной от ледников поверхности западной части о. Октябрьской Революции.

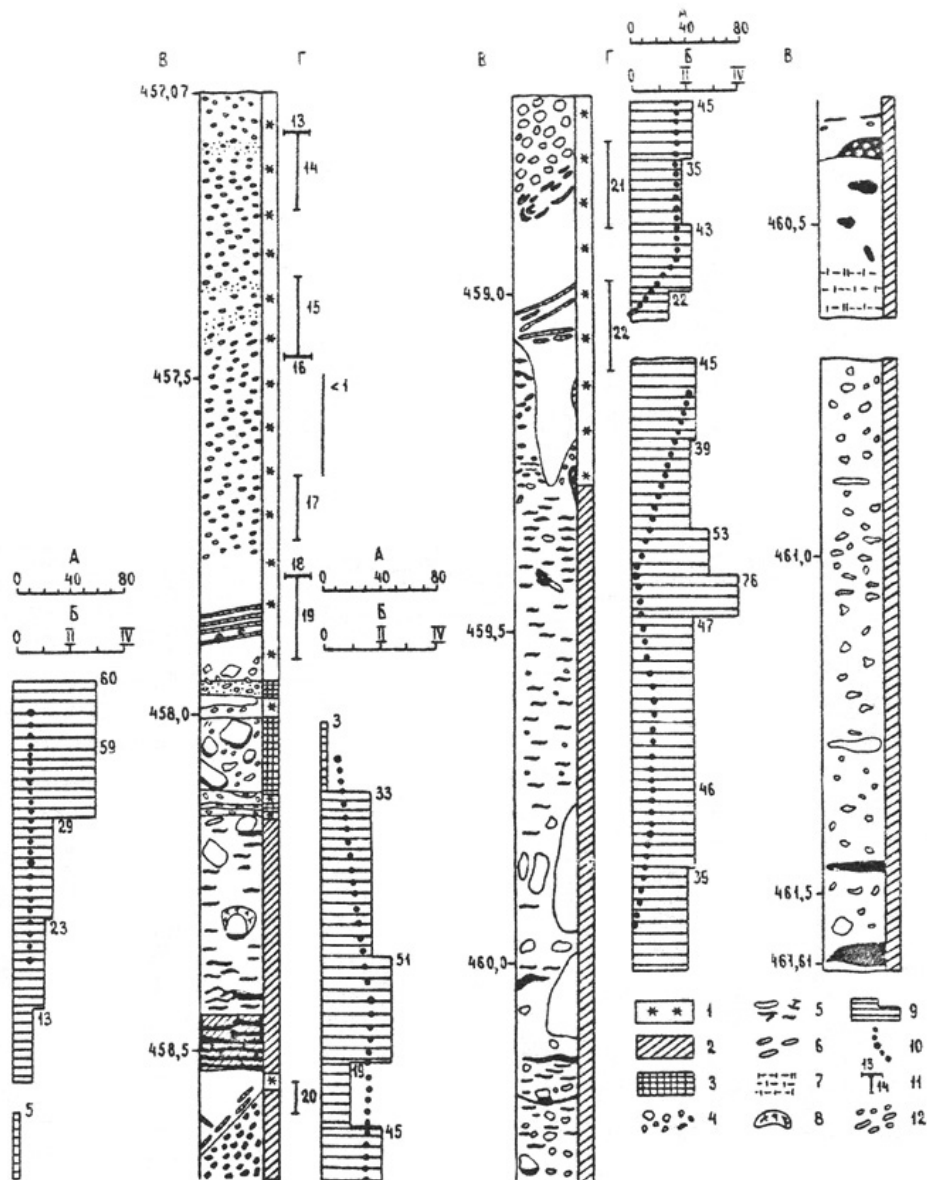


Рис.1. Керн с глубины 457,07-461,61 м из скважины № 8, пробуренной на леднике Вавилова электромеханическим снарядом. А - содержание крупнообломочного материала в 1 см, % веса; Б - класс окатанности обломков минеральной части; В - глубина скважины, м; Г - номер петрографического шлифа. 1 - лед, 2 - глинисто-алевритовая порода, покровные суглинки, 3 - песчаная порода, 4 - крупнообломочный материал,  $\geq 1$  см, 5 - линзы и шпильки льда, 6 - прослойки и линзы льда, содержащие тонкий обломочный материал, 7 - сетчатая криогенная текстура мерзлых пород, 8 - скопления мелкого растительного детрита, 9 - диаграмма содержания крупнообломочного,  $\geq 1$  см, материала в минеральной части керна, % от веса всей минеральной части, 10 - кривая окатанности крупных,  $\geq 1$  см, обломков в минеральной части керна, 11 - интервалы керна, исследованные в шлифах и номера последних, 12 - воздушные включения

Fig.1. The core obtained from the depth of 457.07-461.61 m from the borehole № 8 drilled on the Vavilov Dome by an electro-mechanical drill. A - the content of large-fragmented material in 1 cm (% of the weight); Б - The class of roundness of fragments of the mineral part; В - the depth of the borehole, m, Г - the number of petrographic section

Крупнообломочный материал, т.е. более 1 см в поперечнике, - местный, эрратических обломков практически нет, во всем керне обнаружена лишь одна мелкая галька кварца. Крупные обломки в мореносодержащем льду не имеют определенной ориентировки, лишь в нижней части керна длинные оси обломков, включенных в покровный суглинок, часто параллельны горизонтальной плоскости. В мореносодержащем льду обломки относятся к 0-1 классам окатанности по пятибалльной системе (0-IV), в покровных суглинках они окатаны лучше и соответствуют II и даже III классам (см. рис. 1).

Двучленное строение разреза зоны контакта нарушается в верхнем слое мореносодержащего льда на глубинах 457,95-458,70 м несколькими блоками мерзлых пород мощностью до 0,6 м, для которых характерны мерзлотные текстуры и незначительное содержание льда. Один из этих отделенных от подстилающих пород блоков содержит органический материал в виде мелкого растительного детрита,

облекающего обломок песчаника (см. рис. 1). Граница льда, содержащего минеральные включения, и подстилающих пород на глубине 459,07-459,30 м проходит по вертикальной плоскости и скорее характерна не для ледникового, а для жильного льда.

Первое заметное скопление мелкого обломочного материала в виде рассеянных во льду алевритовых частиц и их агрегатов встречено на глубине 457,17-457,19 м. Выше прозрачный лед насыщен пузырьками воздуха изометричной формы, а ниже они принимают вытянутую форму, при этом их длинные оси размером до 4 мм наклонены к горизонтальной плоскости под углом 5-7°. На глубине 457,37-457,49 м угол наклона воздушных включений увеличивается до 25°, их ориентировка совпадает с наклоном прослоев льда, содержащих алевритовые частицы и их агрегаты. Размеры агрегатов по длинной оси составляют 4-5 мм. Разрозненные скопления минеральных частиц образуют прослойки толщиной от доли миллиметра до нескольких миллиметров. Содержание обломочного материала в них незначительно - десятые доли процента от веса и объема ледяной породы. Песчано-алевритовые агрегаты включены в эти прослойки или взвешены в чистом льду, разделяющем их. Ориентировка всей системы плоскостей прослоев согласуется с направлением воздушных включений.

Петроструктурные исследования ледяной породы (см. рис. 1, шлифы 14 и 15) показали, что до глубины 457,39 м развит крупнозернистый лед - средний размер зерен 58,8 мм<sup>2</sup> - с неправильной удлинённой формой зерен, их длинная ось совпадает с горизонтальной плоскостью. Погасание кристаллов почти одновременное от прямого до волнистого. Для данного типа льда характерны структуры течения от аллотриоморфнобластовой до лепидо-гранобластовой.

В интервале глубин 457,39-457,46 м порода представлена мелкозернистым льдом - средний размер зерен 4,6 мм<sup>2</sup>. Большинство из них имеет удлинённую, реже неправильную или овальную форму. Границы зерен изменяются от прямолинейных до извилистых, погасание одновременное. По удлинению зёрна совпадают с простираем прослоев льда, содержащих минеральные и воздушные включения. Структура льда лепидогранобластовая.

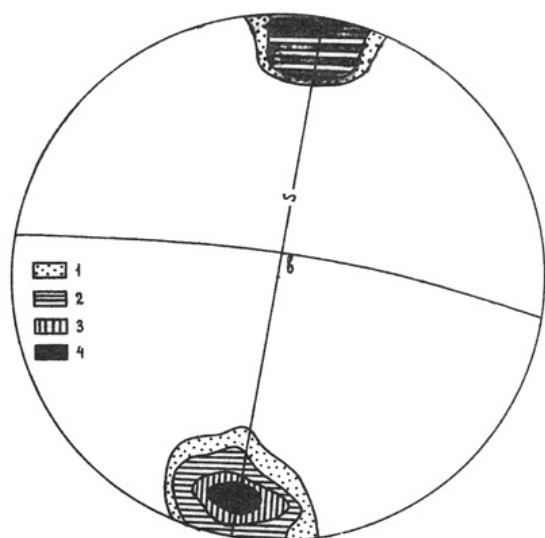


Рис.2. Диаграмма ориентировки оптических осей кристаллов льда в шлифе 15 (см.рис.1). 1 - плотность точек от 1 до 10%, 2 - 10-20%, 3 - 20-40%, 4 - более 40%

Fig.2. The diagram of the orientation of optical axes of ice crystals in the section № 15 (see Fig.1). 1 - the density of points from 1 to 10%, 2 - 10-20%, 3 - 20-40%, 4 - over 40%

Микроструктурный анализ 7-сантиметрового прослоя мелкозернистого льда показал, что заключенная в этом отрезке ледяная порода - тектонит. По ориентировке кристаллов он относится к s-типу, что доказывается наличием одного отчетливого максимума на диаграмме ориентировки оптических осей (рис. 2). Это означает, что ледяная порода претерпела деформации с разрывом сплошности, т.е. деформации сдвига. Плоскости скольжения, расположенные на глубинах 457,39-457,46 м, наклонены к горизонту под углом до 25°. На их границах со вмещающей ледяной породой наблюдается интенсивная деформация льда и волнистое погасание кристаллов.

При проведении микроструктурного анализа вмещающего крупнозернистого льда установлено, что

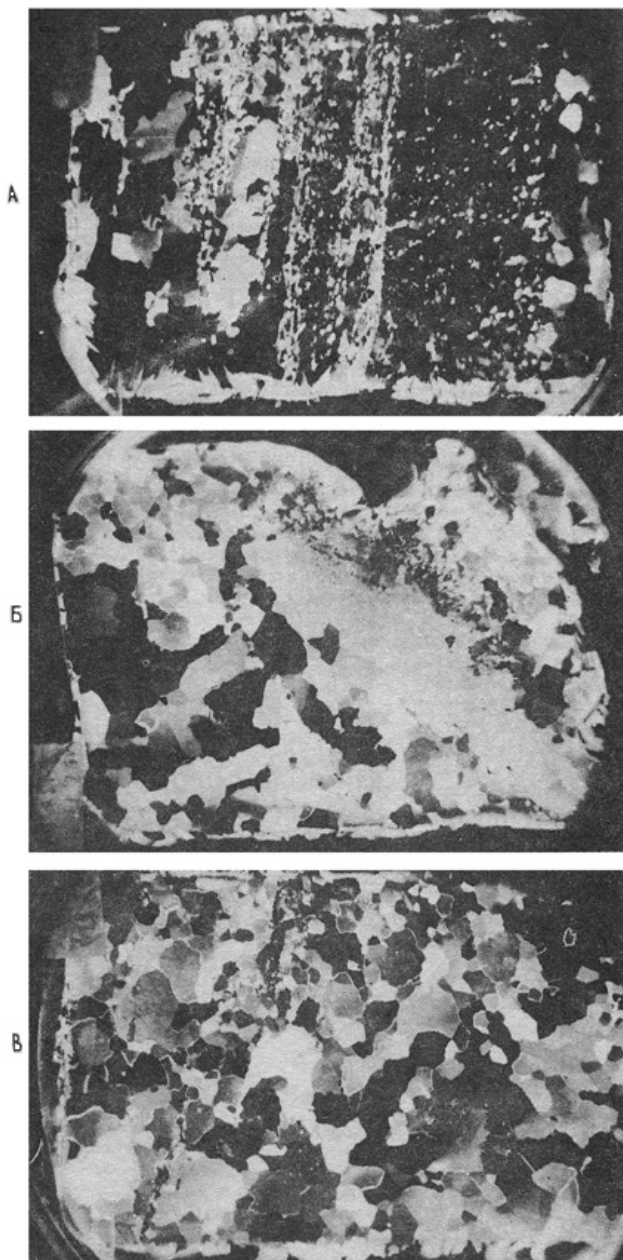


Рис.3. Петрографические шлифы: А - с глубины 457,80-457,93 м; Б - 458,77-458,90 м; В - 458,98-459,11 м  
 Fig.3. Petrographic sections: A - from the depth of 457.80-457.93 m; Б - 458.77-458.90 m; В - 458.98-459.11 m

обломочный материал. Ниже контакта лед представлен крупнозернистой разновидностью с хорошо выраженной структурой течения лепидогранобластовой. На глубине 457,93 м на границе со льдом, содержащим грубообломочный материал - дресву и щебень, какие-либо сдвиговые деформации отсутствуют.

Наиболее интересная структура, доказывающая наличие вязко-пластических деформаций во льду, расположена на глубине 458,77-458,90 м. Это замковая часть изоклиальной складки, крылья которой ориентированы под углом 35-40° к горизонтальной плоскости. Визуально складка обнаруживается по содержащемуся в крыльях и замке взвешенному алевритовому материалу. При петроструктурных исследованиях в шлифе 21 (рис. 3Б) выяснилось, что лед представлен крупнозернистой

положение базисных плоскостей всех кристаллов близко к горизонтальному - наиболее устойчивому в процессе вязкопластических деформаций.

На глубине 457,85-457,90 м значительно возрастает количество алевритовых и песчаных частиц и они образуют «слоеный пирог», состоящий из послойно взвешенных во льду обломочных частиц. Прослойки толщиной до 1 мм, состоящие из минеральных частиц и воздушных включений, то разрежены, то близко контактируют друг с другом. Между ними и в их пределах взвешены песчано-алевритовые агрегаты длиной до 5-8 мм и зерна гравия. Содержание обломочного материала в слое льда толщиной 1 см составляет 10% веса. Вся пачка наклонена к горизонтальной плоскости под углом 5-8°.

Петроструктурные исследования шлифа 19 (рис. 3А) показали наличие на этих глубинах зоны деформации, аналогичной описанной для шлифа 15. Однако в рассматриваемом случае деформации сдвига проявляются более интенсивно, что подтверждается меньшими размерами зерен льда, составляющими в среднем 0,8 мм. Границы с вмещающей крупнозернистой ледяной породой четкие и ровные. Нижняя граница зоны дробления совпадает с границей прослоя, содержащего

разностью - средний размер зерен  $45,8 \text{ мм}^2$ , с неправильной формой кристаллов. Границы между ними извилистые, овальные, иногда с глубоким проникновением одного кристалла в другой, что указывает на сложное взаимопрорастание зерен. Их погасание почти одновременное в пределах  $20^\circ$ , у отдельных зерен волнистое. На верхнем крыле складки находятся зерна вытянутой до параллелепипеда формы, по удлинению они совпадают с простиранием крыла микроскладки. Границы между кристаллами прямолинейные, иногда слабоизвилистые. Погасание всех зерен одновременное. В параллелепипедаобразных зернах погасание, как правило, блоковое. Размер зерен в среднем  $44,6 \text{ мм}^2$ , структура лепидогранобластовая. На диаграмме ориентировки оптических осей четко выражены два максимума, что указывает на две плоскости течения, расположенные относительно друг друга под углом  $40^\circ$  (рис. 4).

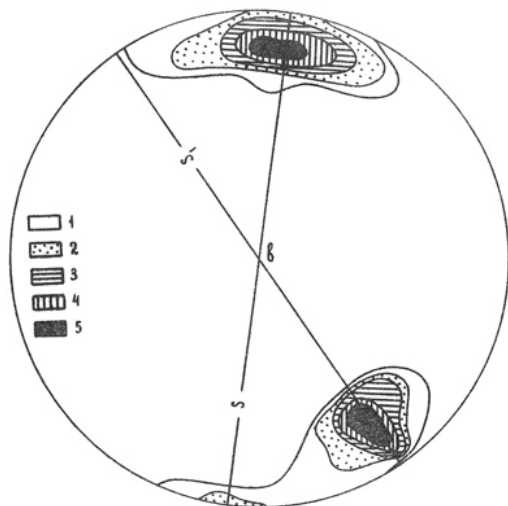


Рис. 4. Диаграмма ориентировки оптических осей кристаллов льда в шлифе 21 (см. рис. 1). 1 - плотность точек менее 1%, 2 - 1-5%, 3 - 5-10%, 4 - 10-15%, 5 - 15-20%

Fig. 4. Diagram of the orientation of optical axes of ice crystals in the section № 21 (see Fig. 1). 1 - the density of points less than 1%, 2 - 1-5%, 3 - 5-10%, 4 - 10-15%, 5 - 15-20%

иногда овальная, средний размер  $30 \text{ мм}^2$ . Их границы извилистые, редко прямолинейные. Погасание зерен варьирует в широких пределах, структура льда аллотриоморфнобластовая (см. рис. 3В). По данным микроструктурного анализа - шлиф 22 - ориентировка оптических осей менее упорядочена. Их отклонение от вертикали достигает  $40^\circ$ , а в отдельных случаях  $70^\circ$ . Это свидетельствует о существенном уменьшении интенсивности деформации в рассматриваемом интервале по сравнению со льдом с глубины 458,77-458,90 м.

Изотопные анализы кислорода проведены по отрезкам керна длиной от 5 до 30 см (рис. 5). На изотопном профиле придонной части ледника Вавилова и подстилающего субстрата выделяются несколько существенных скачков содержания  $\delta^{18}\text{O}$ . Два из них, верхние, приурочены к границам льда и мерзлых осадочных пород. Скачок на глубине 457,93 м происходит на границе, ниже которой не обнаружено признаков сдвиговых деформаций во льду, т.е. на границе между ледниковым льдом и льдом, примерзшим к ложу. Наиболее низкие значения  $\delta^{18}\text{O}$  приурочены к ледогрунту на глубине 458,77-458,90 м, где находится зона развития складки, выше и ниже ее значения  $\delta^{18}\text{O}$  повышаются. Два существенных скачка обнаружены в однородной мерзлой породе со шпировой текстурой.

Проведенные первичные исследования керна выявили следующие особенности строения нижней части ледника. 1. Мощность мореносодержащего льда в пробуренной

На верхнем и нижнем крыльях микроскладки отмечены небольшие зоны дробления кристаллов, в которых размер зерен часто составляет менее  $1 \text{ мм}^2$ . Зоны дробления насыщены мелкозернистым обломочным материалом, удлиненные кристаллы длинной осью ориентированы согласно с простиранием крыльев складки. Зоны дробления, возможно, указывают на наличие сдвиговых деформаций, имевших место при формировании складки течения.

В нижней части мореносодержащего льда, в интервале 458,9-459,3 м, воздушных включений чрезвычайно мало. Прослойки, содержащие обломочный материал, падают под углами от  $5$  до  $30^\circ$  и, в отличие от верхней части описываемого керна, их плоскости отличаются разными азимутами падения. Форма зерен неправильная,

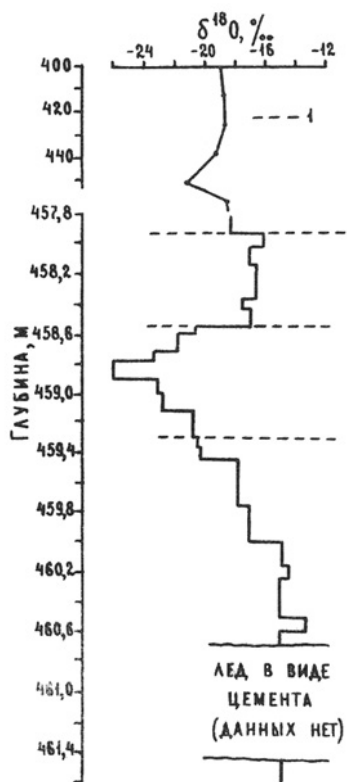


Рис.5.Изменение изотопного состава  $\delta^{18}O$  придонного льда и льда в подстилающих рыхлых отложениях ледника Вавилова по данным изучения керна из скважины № 8. 1 - граница раздела между льдом и горной породой  
 Fig.5. The changes in isotope composition  $\delta^{18}O$  of the basal ice and ice in the underlying loose deposits of the Vavilov Glacier from the data of ice core studies in the borehole № 8. ; 1 - the boundary between ice and mountain rock

скважине, находящейся в районе гляциологического стационара ААНИИ, составляет 2,15 м. 2. В мореносодержащем льду развиты пликативные деформации, связанные с вязкопластическим течением льда, и деформации сдвига, обусловленные скольжением блоков льда относительно друг друга. Интенсивность деформаций максимальна в верхней части исследованного керна на глубине до 457,9 м и минимальна - в нижней его части - на глубине 458,5-459,3 м [Морев и др., 1988]. В верхней части керна плоскости прослоек льда, содержащие мелкозернистый обломочный материал, ориентировка длинных осей воздушных включений и базисные плоскости кристаллов льда совпадают по направлению. 4. Деформации сдвига расположены во льду на глубинах 457,65-457,90 м, но их нет на границах между льдом к горной породой - глубины 457,95 и 458,30 м. Следовательно в данной точке ложа отсутствует скольжение льда по подстилающим отложениям, что отвечает представлениям об условиях на дне холодных ледников [Патерсон, 1984]. 5. Лед, поднятый с глубин более 457,90 м, вероятнее всего, имеет иное происхождение или возраст по сравнению с вышележащим. Этот вывод не противоречит результатам изотопно-кислородных исследований.

## 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) // География и гляциол. исслед. в полярных странах. Л., 1988. с. 14-24.
2. Короткевич Е.С., Петров В.Н., Барков Н.И. и др. Стратиграфия центральной части ледника Вавилова (Северная Земля) // Проблемы Арктики и Антарктики, 1985, вып. 59, с. 5-21.
3. 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. 25-32.
4. Патерсон У.С.Б. Физика ледников. М., «Мир», 1984, 472 с.
5. Чистяков В.К., Шкурко А.М., Земцов А.А. и др. Экспериментальные буровые работы на Северной Земле в 1975-1985 гг. // Геогр. и гляциол. исслед. в полярных странах. Л., 1988, с. 33-42.

## SUMMARY

A 461.61 in-deep borehole was drilled in 1988 on the Vavilov Dome, Severnaya Zemlya, by an electro-mechanic drill КЭМС-112 designed in Leningrad Mining Institute. The drill reached the depth of the underlying mountain rocks. The core of ice, debris-containing ice and 2.28 m of underlying deposits, was selected completely. On the basis of core descriptions, petrostructural studies of ice, selection of ice samples and undertaken analyses, it became

possible to reveal the following peculiarities of glacier structure in the zone of its contact with the glacier bed. The thickness of debris-containing ice in the borehole makes up 2.15 m. It has well developed plicated dislocations, related to viscous-plastic ice flow, shift deformations, caused by the sliding of ice blocks. The shift deformations were established at the depths of 457.37-457.49 and 457.85-457.90 m, but they are lacking at the contacts of ice with mountain rocks - at the depths of 457.93 and 459.30 m. This testifies to the absence of ice sliding along the underlying frozen deposits at a given point. The results of petrostructural studies and the studies of isotope composition of the ice oxygen testify to the fact, that the ice obtained from the depths over 457,9 m, evidently, has another origin and age, as compared with the above-lying ice.

**Ссылка на статью:**



*Большаинов Д.Ю., Клементьев О.Л., Коротков И.М., Николаев В.И. Исследования  
керна мореносодержащего льда ледника Вавилова на Северной Земле //*  
Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. 1990. № 70. С. 105-  
110.