

Путешествия, открытия

УДК 551.32

doi: 10.31857/S2076673420020041

Исследование ледников Арктики во время холодной войны: продолжение истории

© 2020 г. В.Н. Михаленко

Институт географии РАН, Москва, Россия
mikhalenko@igras.ru

Exploring Arctic glaciers during the Cold War: continuation of the story

V.N. Mikhailenko

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
mikhalenko@igras.ru*Received November 19, 2019 / Revised November 27, 2019 / Accepted December 13, 2019***Keywords:** *Camp Century, Greenland, ice cores, W. Dansgaard.*

Summary

During the cold war, a secret Camp Century military base was created inside the ice sheet in the north-west of Greenland. At this station, the first deep ice core was recovered. It was a beginning of a new era in paleoclimatology – a continuous record of climatic changes over the past 100 thousand years was obtained. At the end of 2018, sediments from the bottom of the Camp Century ice core were discovered at the Niels Bohr Institute in Copenhagen. Their analysis showed that the age of the glacial stratum in this part of Greenland is about 400 thousand years. The history of the Camp Century establishment and glacier ice-core drilling is shown.

Citation: Mikhailenko V.N. Exploring Arctic glaciers during the Cold War: continuation of the story. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2020. 60 (2): 285–294. [In Russian]. doi: 10.31857/S2076673420020041.

Поступила 19 ноября 2019 г. / После доработки 27 ноября 2019 г. / Принята к печати 13 декабря 2019 г.

Ключевые слова: *В. Дансгор, Гренландия, Кемп Сенчури, ледниковые керны.*

Рассказано о строительстве внутриледниковой станции Camp Century в северо-западной Гренландии во время холодной войны, первом в мире глубоком керновом бурении ледника и о современных исследованиях, связанных с этими работами.

После окончания Второй мировой войны почти сразу началось противостояние Советского Союза и стран Запада. Бывшие союзники из США и стран Европы превратились в противников в холодной войне. Арктическому бассейну в этом противостоянии отвели особое место, поскольку кратчайший путь в Америку лежал через Северный полюс. Чтобы сократить время полёта бомбардировщиков, аэродромы всё дальше выдвигали к северу, вплоть до островов, занятых ледниками. Академик А.П. Лисицын вспоминает: «Начался этап «секретной Арктики», часть истории которой только сейчас начинает раскрываться и поражает масштабами операций. На льды Арктики в те годы садились не отдельные самолёты, а целые эскадрильи и даже полки – тяжёлые дальние бомбардировщики и скоростные истребители. Эти воздушные армады нужно было обеспечивать топливом, теплом

и питанием, связью и медициной – и всё это в условиях ледовой пустыни, за сотни километров от побережья. Все тяготы и риски вместе с военными делили полярные авиаторы. Этот этап авиационного противостояния держав в Арктике закончился только с запусками первых межконтинентальных ракет» [1].

Сотрудники Института географии АН СССР также участвовали в этих работах. С августа 1955 г. по предложению и под руководством П.А. Шумского небольшие группы сотрудников института в составе экспедиции «Север-7» отправлялись на зимовку на Землю Франца-Иосифа и Новую Землю. Главная задача заключалась в ответе на вопрос, можно ли в области питания арктических ледниковых куполов оборудовать взлётно-посадочные полосы для самолётов. На Земле Франца-Иосифа зимовали Р.Ю. Вениери, Е.Н. Цыкин, на Новой Земле, в области пита-



Рис. 1. Палаточный лагерь на леднике Розе в 1955 г. (а), реечные измерения на леднике (В.М. Котляков с рейкой) (б), С.А. Евтеев забуривает рейку (в). Фото из архива В.М. Котлякова

Fig. 1. Ice camp at the Roze Glacier in 1955 (a), V.M. Kotlyakov with snow steak (б), S.A. Evteev drills the hole for steak (c). Photos from V.M. Kotlyakov archive

ния выводного ледника Розе, – В.М. Кузнецов, С.А. Евтеев и В.М. Котляков. Они вели наблюдения за снегонакоплением и таянием по 4-километровому створу рек, измеряли метелевый перенос и исследовали характер микрорельефа снега (рис. 1). Зимовка продолжалась с августа 1955 г. до февраля 1956 г. Л.Д. Долгушин был участником высокоширотной экспедиции «Север-7», он изучал оледенение островных архипелагов Арктики и возможности использования ледников архипелага в качестве посадочных площадок для самолётов.

По другую сторону океана у потенциальных противников в холодной войне основной базой для подобных экспериментов была Гренландия. Соединённые Штаты разместили на этом острове своих военных ещё во время Второй мировой войны с целью недопустить создание баз для немецких подводных лодок. 9 апреля 1941 г.

Хенрик Кауфманн, датский посланник в США, отказавшийся признать немецкую оккупацию Дании, подписал датско-американское соглашение о защите Гренландии, которое предоставило американским военно-воздушным силам право использования баз на территории Гренландии. В послевоенные годы роль Гренландии для противовоздушной обороны многократно возросла, так как через него пролегал кратчайший путь для стратегических бомбардировщиков и ракет из СССР к американскому континенту.

В 1951 г. небольшой аэродром на северо-западе острова, в 1118 км к северу от Полярного круга, был преобразован в постоянную авиабазу военно-воздушных сил США. База Туле представляла собой один из основных элементов обороны США, прикрывая американскую территорию от возможного удара СССР через Арктику. На базе, способной размещать персонал

до 10 тыс. человек, находились стратегические бомбардировщики В-52 с ядерным оружием на борту. Здесь же была построена мощная радиолокационная станция раннего предупреждения, способная наблюдать за воздушным пространством до границ СССР (рис. 2).

В конце 1950-х годов Армейским инженерным исследовательским центром США (United States Army Corps of Engineers) был предложен проект «Ледяной червь» (Project Iceworm), согласно которому в Гренландском ледниковом щите предполагалось разместить 600 баллистических ракет средней дальности «Iceman». Этой теме посвящено большое число публикаций, например [2], поэтому здесь мы ограничимся лишь кратким изложением известных фактов. Согласно плану, стартовый комплекс для ракет предполагалось развернуть в ледниковой толще Гренландии в тоннелях протяжённостью 3000 км; по ним ракеты должны были перемещаться на небольших поездах. Обеспечивать энергией стартовые площадки и командные пункты должны были небольшие атомные реакторы. Весной 1959 г. начались работы по выбору места для будущей базы. Остановились на исследовательском полигоне Подразделения по изучению снега, льда и вечной мерзлоты армии США (U.S. Army Snow, Ice and Permafrost Establishment – SIPRE) – Site 2, позже получившем название Camp Century. На этом полигоне с конца 1940-х годов проводили научные эксперименты по изучению физических свойств снега и льда, а в 1956 и 1957 г. были получены керны льда длиной 305 и 411 м [3, 4] (рис. 3).

Станция располагалась в 350 км к востоку от Туле на материковом льду на высоте 2000 м над ур. моря. В июне 1959 г. начались первые работы по её строительству. С помощью тракторов доставили три роторные установки для рытья траншей в снегу. Строительство завершили в октябре 1960 г. В «подснежном» городе постоянно проживали до 200 человек. В последний период существования базы под снегом находились жилые помещения, кухня и столовая, туалеты и душ, зал отдыха и театр, библиотека и магазины, диспансер, лазарет на 10 коек, операционная, прачечная, научные лаборатории, часовня, парикмахерская, атомная электростанция. «Помимо жилых зданий, здесь были мастерские, лаборатории, офисы и другие рабочие места, а

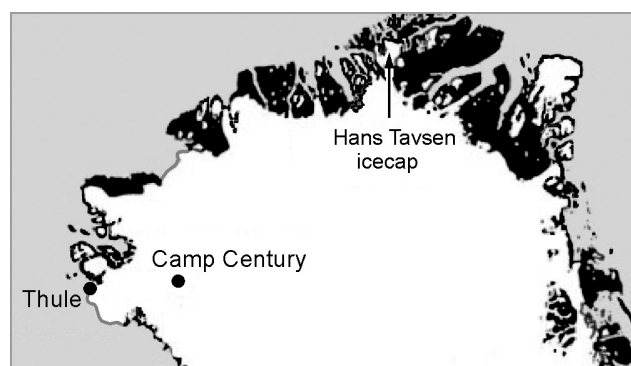


Рис. 2. Авиабазы Туле и база Camp Century на северо-западе Гренландии. Фото Niels Bohr Institute
Fig. 2. Thule U.S. military air base and Camp Century site in north-west Greenland. Credit Niels Bohr Institute

также очень хорошо оборудованные кафе, бары, тренажерный зал, библиотека и т.д., все они погребены под снегом. Американцы даже построили железную дорогу длиной в милю под снегом с единственной целью посмотреть, можно ли это сделать», – пишет датский палеоклиматолог Вилли Дансгор (Willi Dansgaard), посетивший Camp Century в 1964 г. [5] (рис. 4).

В начале 1960-х годов после запуска космических ракет ядерная доктрина США существенно изменилась. Стратегические бомбардировщики уже не рассматривались в качестве основного средства доставки ядерных боеприпасов, их сменили межконтинентальные ракеты. От размещения ядерного оружия на Camp Century, к счастью, было решено отказаться. Однако главной причиной закрытия проекта стали деформации снежной толщи на леднике. Согласно плану, лагерь должен был эксплуатироваться в течение 10 лет, до 1970 г., но к 1962 г. стало понятно, что масштаб деформаций намного превышает расчётные значения. Для поддержания тоннелей в рабочем состоянии ежемесячно с их стен удаляли до 120 т снега. Из-за возрастающего давления постоянно накапливающихся на леднике слоёв снега началась деформация возведённых в леднике строений. Одна из причин ускорения этого процесса – огромное количество энергии, вырабатываемое реактором. Обычная среднегодовая температура ($-24\text{ }^{\circ}\text{C}$) в снежно-фирновой толще окружающей постройки была на несколько градусов выше, что приводило к ускоренному сужению тоннелей и проседанию снежных сводов. В 1964 г. демонтировали



Рис. 3. Буровой лагерь на станции Site 2 в 1957 г. (а), буровая в снежной траншее (б) [4], сотрудники SIPRE достают 10-сантиметровый ненарушенный керн из бура на станции Site 2 (в). Фото из архива CRREL

Fig. 3. Surface drilling camp at Site 2 in 1957 (a), drilling site in subsurface snow trench (b) [4], SIPRE crew recovers undisturbed 10-cm diameter ice core from the drill at Site 2 (c). Credit CRREL

ядерный реактор, а в 1966 г. лагерь полностью закрыли. В течение ряда лет на Camp Century продолжали наблюдения за движением льда и оседанием снега и фирна, но к 1969 г. помещения полностью поглотил ледник (рис. 5).

С самого начала проект был сверхсекретным. О военных задачах Camp Century нигде не сообщалось. В специально снятом фильме «The story of Camp Century: the city under ice» лагерь называли идеальной арктической лабораторией. Известный американский полярный исследователь Пол Сайпл (Paul Siple), работавший в CRREL (US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory) и в честь которого впоследствии была названа станция в Антарктиде, в феврале 1960 г. прибыл в Копенгаген для получения медали Королевского географического общества. Он уверял датскую прессу, что в Camp Century нет никаких военных тайн и в лагере решают чисто научные задачи.

Одной из таких научных задач было бурение глубокой скважины в леднике с целью получения керна льда от поверхности до ложа. Для её решения инженером Лиле Хансеном (Lyle V. Hansen) специально для SIPRE была разработана буровая установка (рис. 6). Бурение вели сотрудники CRREL, а обрабатывал керн известный американский гляциолог Честер Лэнгвей (Chester C. Langway Jr.). Бурение было начато в 1960 г., но из соображений секретности на станцию не был допущен ни один иностранный учёный. Лишь в 1964 г., когда уже приняли решение о закрытии базы, В. Дансгору разрешили приехать на станцию для проведения экспериментов по датированию фирновой толщи Гренландского ледникового покрова и отбора образцов для изотопно-кислородного анализа.

Вилли Дансгор (Willi Dansgaard) (1922–2011 гг.) (рис. 7) – выдающийся датский гео-

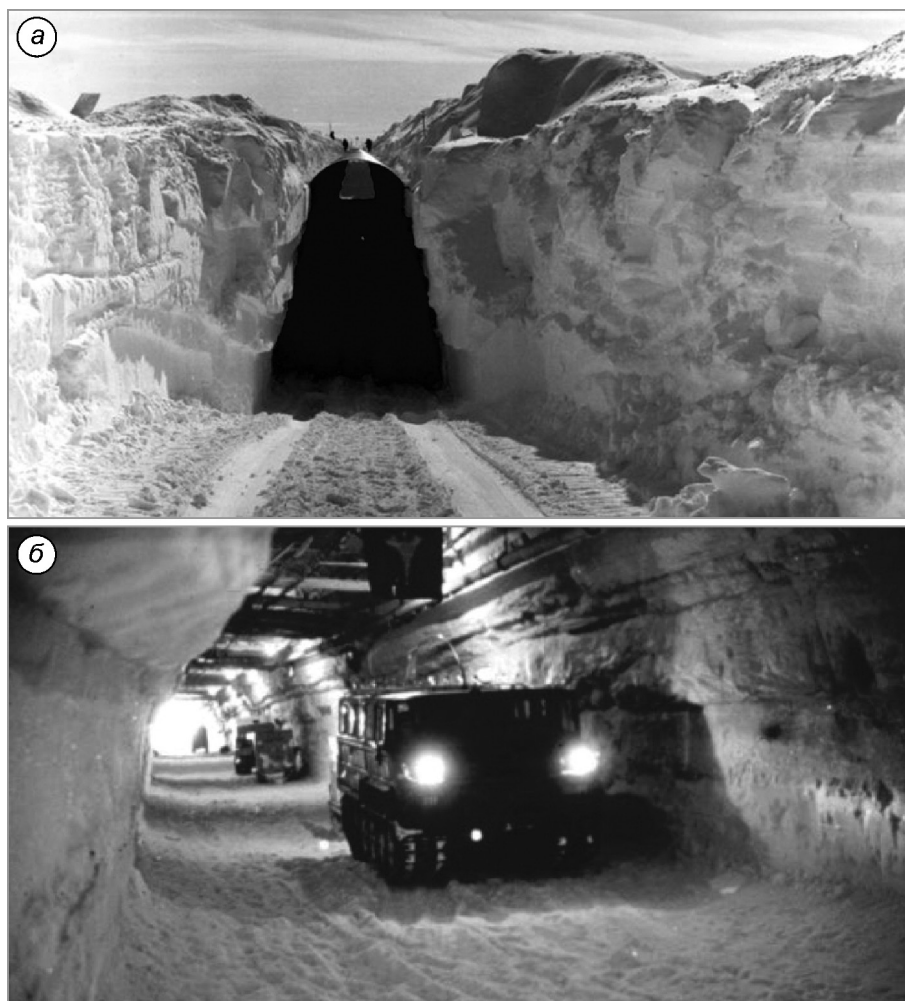


Рис. 4. Главный вход в под-снежный город на этапе строительства (а), фото из архива CRREL; главная улица Camp Century (б), фото Henrik Clausen, Niels Bohr Institute

Fig. 4. Main entrance to the sub-surface Camp Century at the construction stage (a), credit CRREL; main street of the Camp Century (b), credit Henrik Clausen, Niels Bohr Institute

физик и палеоклиматолог — начал свою трудовую деятельность в 1947 г. в Датском метеорологическом институте и отправился на год в северо-западную Гренландию, где проводил геомагнитные измерения. Однако метеорология и климатология привлекали его гораздо больше, чем геомагнетизм, и в 1951 г. Дансгор перешёл в Копенгагенский университет, где начал изучать изотопный состав атмосферных осадков. Однажды он отбирал осадки во время прохождения атмосферного фронта и обнаружил, что с изменением температуры воздуха меняется и изотопный состав кислорода дождевой воды. Это был первый шаг в становлении изотопной гляциологии, ставшей позже отдельным направлением науки. Следующий шаг — проверка наличия связи между значениями изотопного состава осадков и температурой конденсации в различных климатических условиях. В то время в глобальном масштабе это была почти невы-

полнимая задача, поскольку такой проект подразумевал создание Всемирной сети с помощью международного сотрудничества. Это было сделано почти десятилетие спустя (1960–1973 гг.), когда Международным агентством по атомной энергии при активном участии В. Дансгора была создана Глобальная сеть по сбору атмосферных осадков на метеостанциях и измерению их изотопного состава. А пока было найдено весьма необычное решение. Датская восточно-азиатская компания и её директор, принц Аксель, разослали во все свои филиалы указание отбирать образцы речной и дождевой воды с тщательным описанием условий и мест отбора. Вот что пишет сам В. Дансгор: «Через несколько месяцев у меня была хорошая коллекция свежих образцов воды, взятых непосредственно из рек или косвенно только из кранов. Вместе со снегом и льдом, предоставленными моими друзьями из Гренландии, они варьировали от тропиков до

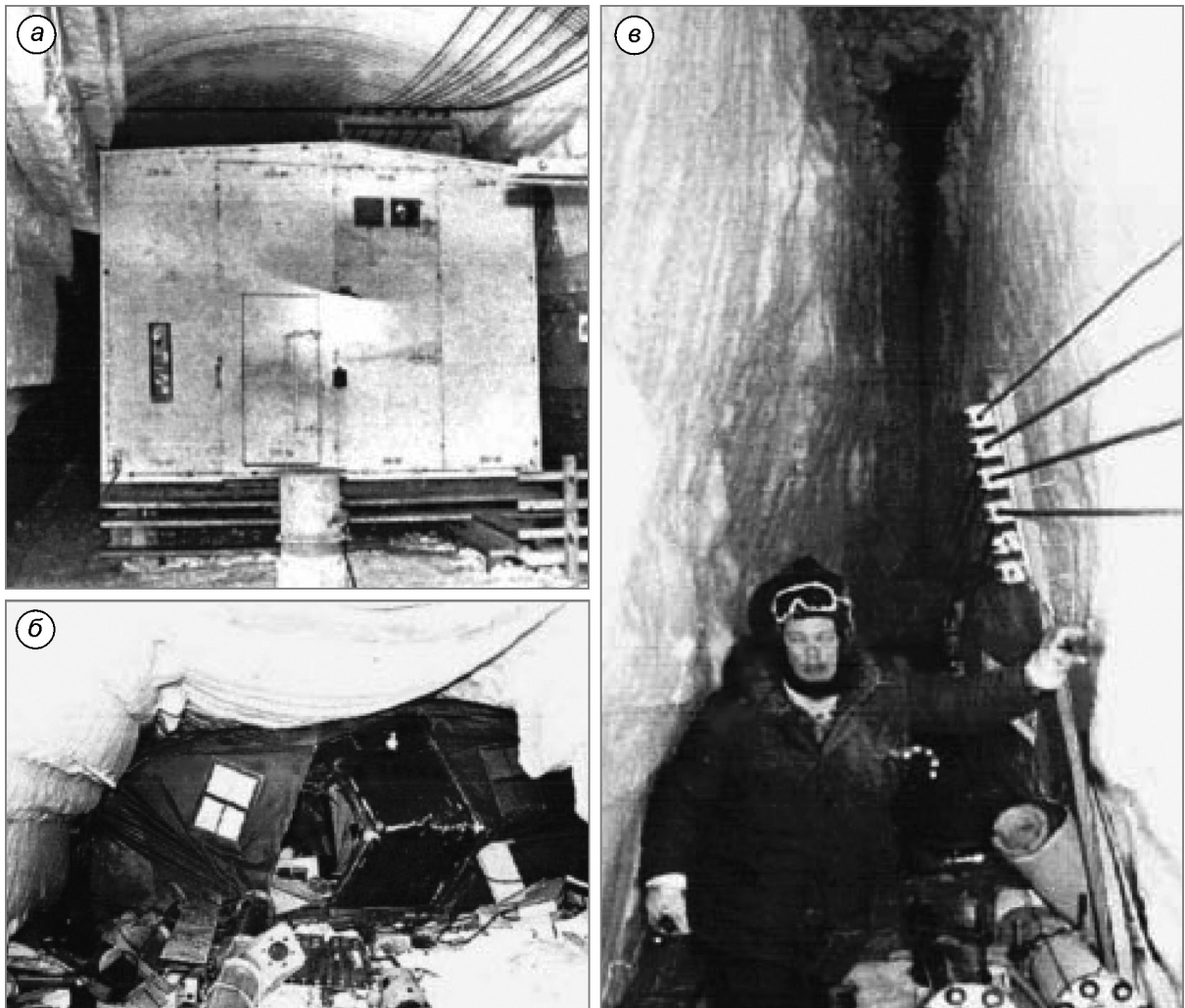


Рис. 5. Жилой отсек в 1964 г. (а) и пять лет спустя (б); С. Джонсен (S. Johnsen) посещает Camp Century в 1969 г. Первоначально эта галерея была шириной 4 м (в). Фото из работы [5]
Fig. 5. Sleeping section in 1964 (a) and 5 years later (b); S. Johnsen visited the closed Camp Century in 1969. This gallery was originally 4 meters wide (c). Credit [5]

арктического региона. В теплом климате значения изотопного состава были очень однородны и не могли быть связаны со средней температурой воздуха, но в умеренных и особенно полярных климатических условиях значения изотопного состава становились отрицательней по мере того, как климат становился холоднее» [5].

Самый важный аспект, который вытекал из анализа полученных данных, подразумевал, что «старая» законсервированная вода может отражать климатические условия во время её образования. «Теперь, где вы можете найти старую воду? В ледниковом льду. А где вы можете найти старый лед? В Гренландии. Вот почему мой интерес к Гренландии возродился в новом контексте.

Я был уверен, что это хорошая идея, может быть единственно действительно хорошая из всех, что у меня когда-либо были. Во всяком случае, я посвятил ей всю оставшуюся жизнь. Это было до появления техники глубокого kernового бурения ледников, поэтому я просто представил, что можно измерять изотопный состав старого льда, обнажающегося в краях ледников», — пишет он далее [5].

Для проверки своей гипотезы Дансгор снова отправляется в Гренландию, где отбирает образцы древнего льда из айсбергов, а в 1964 г. попадает на станцию Camp Century. Там вместе с двумя своими коллегами они занялись отбором снега из стенок 100-метровой шахты (см. рис. 7, б), предназначенной для хранения огром-



Рис. 6. Бурение глубокой скважины на Camp Century (а), фото Ч. Лэнгвея [3]; измерение плотности льда гидростатическим методом (б) и кернохранилище в подснежной траншее (в) [6].

Буровая установка, с помощью которой Л. Хансеном (Lyle V. Hansen) и его командой был получен первый в мире глубокий керн льда. После завершения бурения на Camp Century она была отправлена в Антарктиду, где на станции Бёрд (Byrd Station) в 1968 г. получили первый в Антарктиде глубокий керн льда

Fig. 6. The deep thermal coring drill at Camp Century (a) [3]; hydrostatic measurement of ice density (b) and temporary ice core storage (c) [6].

After completing drilling campaign at Camp Century, it was sent to Antarctica where the first deep ice core was recovered at Byrd Station in 1968

ных запасов талой воды. Главной задачей был отбор материала для проверки гипотезы о возможности датирования древних образцов снега и льда при помощи радиоактивных изотопов. Молодой коллега Дансгора, позже известный датский геохимик Хенрик Клаузен (Henrik Clausen), был занят отбором многих тонн снега, его расплавлением и подготовкой образцов для исследования содержания там изотопа ^{32}Si , а Дансгор отбирал образцы разновозрастного снега для изотопно-кислородного анализа.

А в это время в одном из боковых ответвлений подземного города день и ночь шло бурение глубокой скважины, откуда доставали ледниковый

керн. На все попытки Дансгора получить доступ к этим материалам они получали решительный отказ, что аргументировалось соблюдением военной тайны. Бурение льда в Camp Century продолжилось до лета 1966 г., когда бур достиг горной породы на глубине 1388 м. Нижние 25 м керна были представлены загрязнённым льдом, содержащим грубообломочный материал от пыли до мелких и крупных камней. Это указывало, что самый древний лёд контактировал с коренными породами, лежащими выше по течению ледника от Camp Century.

Полученный ледяной керн представлял собой огромную ценность и должен был содержать уни-

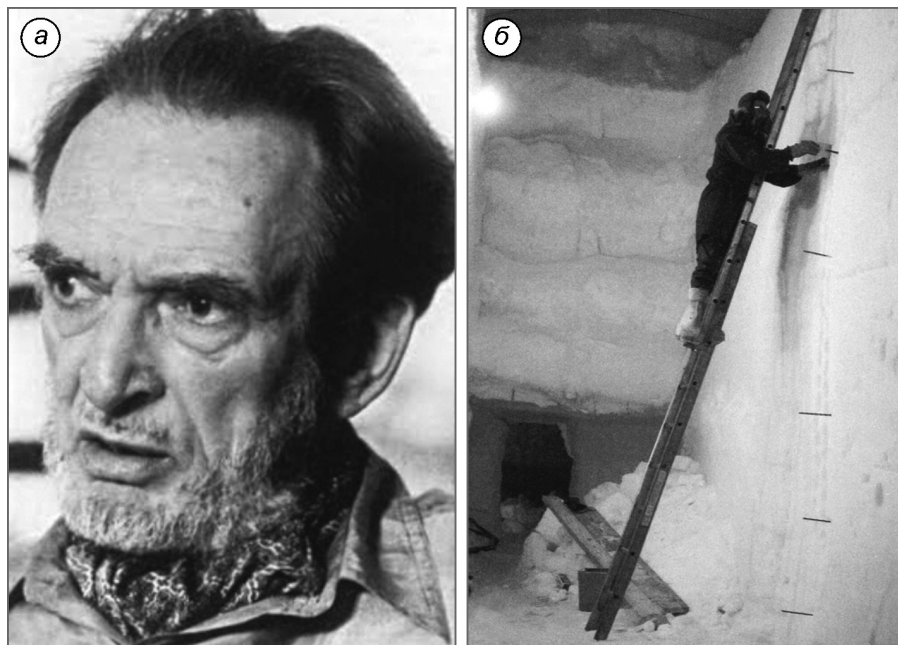


Рис. 7. В. Дансгор (а); В. Дансгор вырезает образцы снега из пятиметровой стенки (б), Camp Century, 1964 г. Фото Niels Bohr Institute

Fig. 7. W. Dansgaard (a); W. Dansgaard cuts snow samples from a 5-meter wall (b), Camp Century, 1964, Credit Niels Bohr Institute



Рис. 8. Многолетняя дружба связывала В. Дансгора (слева), Ч. Ленгвея и Х. Эшгера (справа). Их называли – три мушкетёра.

Ч. Лэнгвей рассказывает историю о том, как его опускали в шахту глубиной 80 м к водохранилищу в Camp Century и он попытался связаться по телефону с теми, кто был наверху, и сказать им, чтобы они остановились. Но связь не сработала, он стал кричать, однако люди, находящиеся наверху, решили, что он просит продолжать спуск. В результате его опустили в ледяную воду во всей полярной одежде и продержали там некоторое время

Fig. 8. Many years of friendship connected W. Dansgaard (left), C. Langway, and H. Oeschger (right). They were called – three musketeers.

At the time of this picture, C. Langway told the story of how he was lowered into a 80 m deep shaft to the Camp Century reservoir. Telephone communications with the crew on the surface were interrupted, and when he approached the water surface, they misunderstood his cry for a stop. Credit [5]

кальный материал о климатических изменениях за весь период существования ледника. Первые результаты показали, что в керне присутствуют сезонные вариации в изотопном составе льда, но

никаких дальнейших планов проводить палеоклиматические исследования не предполагалось. Тогда В. Дансгор отправил Ч. Лэнгвею, который отвечал за все полученные в SIPRE и CRREL

керны льда, оттиски своих работ с результатами многолетних исследований изотопного состава снега и льда и мыслями о том, как прошлые климатические изменения связаны с вариациями изотопов во льду. Он также предлагал измерить содержание изотопов кислорода во всём керне с необходимой детальностью. Его предложение было принято, и с этого началось многолетнее плодотворное сотрудничество между американскими и европейскими гляциологами и палеоклиматологами (рис. 8). Результаты, которые были получены при исследовании керна, иначе как сенсационными назвать нельзя. «Я действительно не помню, чего мы ожидали, но мы, конечно, не осмеливались надеяться на кривую, которая простиралась на весь последний ледниковый период и далее», — пишет Дансгор. Впервые в палеоклиматологии удалось получить непрерывную запись происходящих изменений за более чем 100-тысячелетний период времени [7].

Однако это — не конец истории. К середине 1990-х годов было выполнено много проектов по глубокому бурению, в том числе и в Гренландии. И на фоне новых полученных кернов результаты с базы Camp Century в значительной степени стали историей. В это время закончил свою университетскую карьеру Ч. Лэнгвей и, уходя на пенсию, попросил своих коллег в Дании забрать его образцы. Вскоре в Копенгаген прибыло 20 ящиков и два транспортных контейнера, заполненных льдом. В то время во всех крупных научных центрах Европы вели обработку керна льда, полученного на станции GRIP в самой высокой части Гренландии, поэтому ящики Лэнгвея поместили в хранилище и в конечном итоге забыли. В конце 2018 г., наводя порядок в своём хозяйстве, Й. Стеффенсен (J.P. Steffensen) и Д. Даль-Йенсен (D. Dahl-Jensen), первый из которых — главный хранитель ледниковых кернов в Дании, а вторая — гляциолог из Университета Копенгагена, руководившая многими крупными европейскими буровыми проектами в Гренландии и Антарктиде, обнаружили 30 стеклянных банок, в которых находились нижние три метра донных отложений керна Camp Century. Это была большая удача, поскольку лишь при бурении нескольких скважин, пройдя лёд, удалось пробурить подледниковые коренные породы. Образцы были переданы в лабораторию Колумбийского университета, где совсем не-



Рис. 9. Образец мелкозёма из нижней части керна льда Camp Century [9]

Fig. 9. The Camp Century ice bottom sample [9]

давно завершили работу по анализу придонной части другого гренландского керна — со станции GISP-2 в Центральной Гренландии, где бурение закончили в 1993 г. Анализ содержания космогенных изотопов ^{10}Be и ^{26}Al в подлёдных образцах грунта показал, что возраст современного ледникового покрова в центральной части острова не превышает 1,1 млн лет [8], но это — лишь одна точка на карте Гренландии. Первые результаты исследований найденных образцов с Camp Century (рис. 9), выполненных по той же методике, что и для GISP-2, показали, что эта часть северо-западной Гренландии могла быть свободной ото льда ещё 400 000 лет назад, в тёплую эпоху между двумя ледниковыми периодами.

Благодарности. Работа выполнена в рамках плановой темы Института географии РАН «Оледенение и сопутствующие природные процессы при изменениях климата» 0148-2019-0004 (AAAA-A19-119022190172-5).

Acknowledgments. This work was carried out within the framework of the Institute of Geography, Russian Academy of Sciences «Glaciation and associated natural processes during climate change» 0148-2019-0004 (AAAA-A19-119022190172-5).

Литература

1. *Болосов А.Н.* Полярная авиация России, 1946–2014. М.: Изд-во «Paulsen», 2014. 479 с.
2. *Lange G.R.* Deep rotary core drilling in ice // CRREL Tech. Rep. 1968. V. 94. 47 p.
3. *Langway Jr. C.C.* The history of early polar ice cores // Cold Regions Science and Technology. 2008. V. 52. P. 101–117. doi: 10.1016/j.coldregions.2008.01.001.
4. Электронный ресурс: https://lastday.club/project_ice_wyrm/.
5. *Dansgaard W.* Frozen annals: Greenland ice sheet research. Copenhagen, University of Copenhagen. Department of Geophysics of the Niels Bohr Institute, 2004. 122 p.
6. *Langway Jr. C.C.* Stratigraphic analysis of a deep ice core from Greenland // Geol. Soc. Amer. Spec. Paper. 1970. V. 125. 186 p.
7. *Dansgaard W., Johnsen S.J., Møller J., Langway Jr. C.C.* One thousand centuries of climatic record from Camp Century on the Greenland Ice Sheet // Science. 1969. V. 166 (3903). P. 377–381. doi: 10.1126/science.166.3903.377.
8. *Schaefer J.M., Finkel R.C., Balco G., Alley R.B., Caffee M.C., Briner J.P., Young N.E., Gow A.J., Schwartz R.* Greenland was nearly ice-free for extended periods during the Pleistocene // Nature. 2016. V. 540. P. 252–255. doi: 10.1038/nature20146.
9. *Voosen P.* Ancient soil from secret Greenland base suggests Earth could lose a lot of ice // Science. 2019. V. 366 (6465). P. 556–557. doi: 10.1126/science.366.6465.556.

References

1. *Bolosov A.N.* Polar Aviation of Russia, 1946–2014. Moscow: Paulsen, 2014: 479 p. [In Russian].
2. *Lange G.R.* Deep rotary core drilling in ice. CRREL Tech. Rep. 1968, 94: 47 p.
3. *Langway Jr. C.C.* The history of early polar ice cores. Cold Regions Science and Technology. 2008, 52: 101–117. doi: 10.1016/j.coldregions.2008.01.001.
4. https://lastday.club/project_ice_wyrm/.
5. *Dansgaard W.* Frozen annals: Greenland ice sheet research. Copenhagen, University of Copenhagen. Department of Geophysics of the Niels Bohr Institute, 2004: 122 p.
6. *Langway Jr. C.C.* Stratigraphic analysis of a deep ice core from Greenland. Geol. Soc. Amer. Spec. Paper. 1970, 125: 1–186.
7. *Dansgaard W., Johnsen S.J., Møller J., Langway Jr. C.C.* One thousand centuries of climatic record from Camp Century on the Greenland Ice Sheet. Science. 1969, 166 (3903): 377–381. doi: 10.1126/science.166.3903.377.
8. *Schaefer J.M., Finkel R.C., Balco G., Alley R.B., Caffee M.C., Briner J.P., Young N.E., Gow A.J., Schwartz R.* Greenland was nearly ice-free for extended periods during the Pleistocene. Nature. 2016, 540: 252–255. doi: 10.1038/nature20146.
9. *Voosen P.* Ancient soil from secret Greenland base suggests Earth could lose a lot of ice. Science. 2019, 366 (6465): 556–557. doi: 10.1126/science.366.6465.556.