

УДК 551.324

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИАЦИОННО-ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕВЕРНОГО ЛЕДНИКОВОГО КУПОЛА

^{1,2}Чернов Р.А., ^{1,2}Кудиков А.В., ²Мирошников А.Ю.

¹Институт географии РАН, Москва, e-mail: rob31@mail.ru;

²Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Москва, e-mail: almir@igem.ru

Гляциологические и радиологические исследования на Северном ледниковом куполе дали первые сведения о ранее неисследованном ледниковом районе Новой Земли. На основе маршрутных измерений на северном склоне купола выявлено понижение границы питания, её высотное положение оказалось наиболее низким для ледников Новой Земли в текущем году. В связи с этим произошло увеличение площади области питания ледника, которое достигло величины 1470 км². Наши наблюдения показали значительное снегонакопление на куполе. На плато купола толщина снежного покрова изменялась от 90 до 200 см, а не стаявший остаток снега составлял в среднем 110 см. Средний снегозапас в снежном покрове был равен 65 г/см², что соответствует среднему годовому накоплению слоя льда мощностью 75 ± 10 см. На основании данных бурения ледника была получена средняя величина годового накопления льда на уровне границы питания равная 30 см. Таким образом, расчетная глубина залегания радиационно-загрязненного слоя в холодной фирновой зоне и на границе питания может быть равна 25–30 и 15–20 метров соответственно.

Ключевые слова: ледниковый купол, снегонакопление, граница питания, скважина

FIRST RESULTS OF RADIATION-GLACIOLOGICAL STUDIES OF THE NORTHERN ICE CAP

¹Chernov R.A., ¹Kudikov A.V., ²Miroshnikov A.Yu.

¹Institute of Geography RAS, Moscow, e-mail: rob31@mail.ru;

²Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS,
Moscow, e-mail: almir@igem.ru

Glaciological and radiological studies in the Northern ice cap gave the first information on the previously unexplored area of the ice of the New Earth. On the basis of route of measurements on the northern slope of the dome showed a decrease of the equilibrium line, its position was the most high-rise low for the New Earth glaciers in the current year. In this regard, an increase square area of a glacier, which reached values of 1,470 square kilometers. Our observations have shown significant snow accumulation on the dome. On the plateau of the dome thickness of the snow cover varied from 90 to 200 cm, and not the rest of flock of snow averaged 110 sm. average snow cover in the snow cover was equal to 65 g/cm², corresponding to an average annual accumulation of ice layer capacity of 75 ± 10 sm. On based on a glacier drilling data was obtained by the average value of the annual ice accumulation at the level of the equilibrium line of about 30 cm. Thus, the estimated depth of the radiation-contaminated layer in cold firm zone and on the border of the power may be equal to 25–30 and 15–20 meters respectively.

Keyword: ice cap, snow accumulation, the boundary of the power, bore

На Северном испытательном полигоне Новая Земля в период 1957–1962 гг. было произведено 85 ядерных испытаний в атмосфере, 9 из которых имели траектории движения продуктов взрывов над поверхностью ледников Северного острова либо под небольшими углами к его осевой линии. В результате испытаний в атмосфере образовалось от 2,6 до 4,0 млн Ки ¹³⁷Cs [6, 10], часть которых поступала на поверхность ледяного покрова. Не менее 200 кКи радиоцезия только от одного 10-мегатонного взрыва, произведенного 19.09.1962 г., выпало на покровный ледник Северного острова, занимающий площадь около 20 тыс. км², что привело в результате миграции радионуклидов к образованию зон повышенной активности радиоцезия (ЗПА) в донных

отложениях Баренцева и Карского морей с обеих сторон острова [5, 7]. Оценка радиационного состояния Северного ледникового купола, как вторичного источника ранее накопленной радиоактивности, является задачей начатых исследований.

Географические исследования покровного оледенения Новой Земли, относящиеся к 20-му веку, обнаруживают противоречивые суждения относительно его динамики. Ряд исследователей отмечают деградацию ледников Новой Земли, обусловленную отсутствием фирновой области питания, более поздние исследования показали существование обширной области фирна на ледниковом покрове [8]. Основной причиной противоречий остается слабая изученность области питания ледников Новой

Земли – центральной области покровного оледенения. Фактически «белым пятном» среди ледников Новой Земли является северная часть ледникового покрова – Северный ледниковый купол. Кратковременное пересечение купола отрядом М.М. Ермолаева в 1932 г. не оставило каких-либо сведений о леднике в научной литературе. Вплоть до конца XX в. данные об этой территории носили лишь оценочный характер. В 2007 г. группа российских ученых выполнила дистанционную радиолокационную съемку выводных ледников купола, которая дала сведения о толщине льда выводных ледников и величине их айсбергового стока [3]. Однако для оценки баланса массы ледникового купола необходимы фактические данные об условиях снегонакопления. Новейшая информация, полученная из космических снимков, показывает несоответствие рельефа в центральной части купола в сравнении с топографическими картами, построенными в 1950-х гг. Различия по высотам, достигающие 200 м, могут быть связаны как с ошибками при составлении карт, так и с улучшением условий питания ледника. Первые результаты, дающие фактический материал об условиях питания в этой области ледникового покрова, были получены в сентябре 2015 г. полевой группой отряда

радиогеохимии и гляциологии, работавшей в составе комплексной экспедиции Института Океанологии РАН в 63-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш».

Материалы и методы исследований

Северный ледниковый купол (СЛК) является продолжением покровного оледенения Новой Земли, вытянувшегося с юго-запада на северо-восток более чем на 400 км [1, 9]. Купол имеет в плане округлую форму, его возвышенная центральная часть вытянута к северу и смещена в сторону Карского моря. Выводные ледники купола: Иностранцева, Павлова, Вера, Бунге и Петерсона – ориентированы на западную сторону и обеспечивают значительный расход льда в виде айсбергового стока [2, 3]. Восточные и северные склоны спускаются на плоское каменистое плато на высоте около 300 м. Центральная часть ледникового купола в виде обширного снежного плато удалена от восточного побережья на 30–40 км и является областью питания, занимая большую часть его площади. Климатические условия на СЛК отличаются от основного ледникового покрова Новой Земли, как по количеству осадков, так и по температурам, что соответственно должно оказывать влияние на процессы снегонакопления и таяния [9]. Современные климатические изменения оказывают заметное влияние на сокращение выводных ледников купола [3]. Исследование процессов накопления снега и льда на куполе является ключом к пониманию динамики оледенения и радиоактивного загрязнения.

С 4 по 21 сентября 2015 г. гляциологический отряд проводил маршрутные исследования в районе полярной станции «Мыс Желания». Непосредственно у края

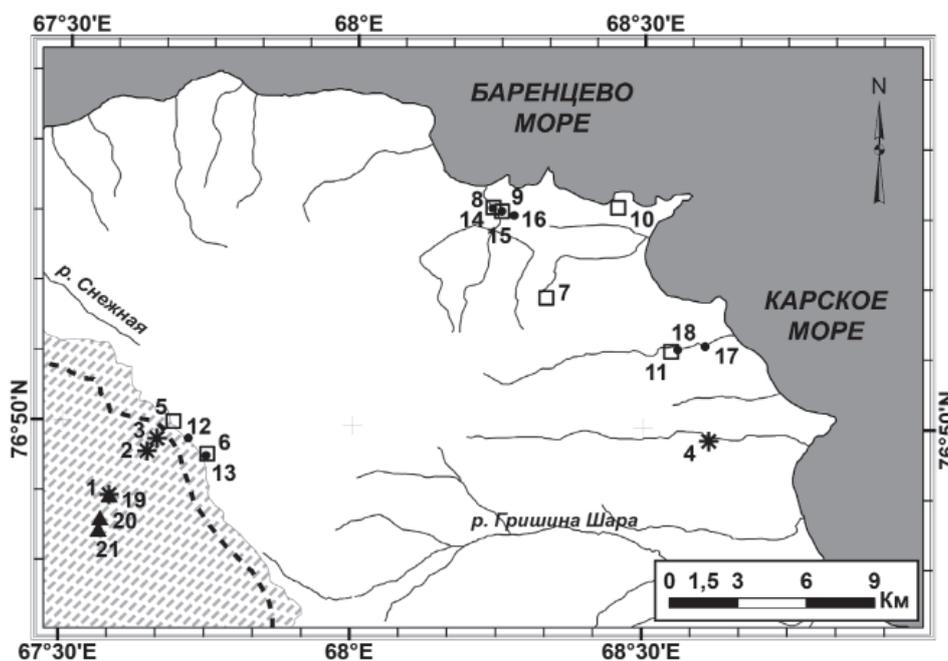


Рис. 1. Схема расположения точек наблюдений в районе мыса Желания и на Северном ледниковом куполе: 1 – 4 проб снега, фирна и льда; 5 – 11 почвенных проб; 12 – 18 наилков; 19 – 21 заложения шурфов. Заштрихованная область – ледник, пунктир – граница питания ледника

ледника был организован базовый лагерь, который располагался на каменистом плато в верховьях р. Снежной. Было проведено описание поверхности ледника и выполнено пробное бурение льда с отбором керна из скважин, расположенных на различной высоте. От края ледника по профилю длиной 5,8 км в направлении вершины купола с шагом 200 м была проведена снегомерная съемка. На плато купола было заложено два шурфа (ТН-21 и ТН-20) на расстоянии 511 м друг от друга (рис. 1). Координаты для шурфов и скважин были определены по результатам снегомерной съемки, в ходе которой было установлено положение границ ледника, зоны питания, а также фирновой линии.

С помощью GPS приемника Garmin Etrex 10 и Garmin Etrex 20 были определены местоположения: границы ледника, границы питания, фирновой линии, точек бурения и шурфования и др. Бурение проводилось колонковым буром Kovacs Coring System Mark-II (США) диаметром 90 мм. Измерения температуры льда в скважинах выполнялись термокосой ТК (Kriolab, Россия), с точностью измерений 0,01 °С. Мощность снега измерялась рейкой с точностью 1 см, определение плотности снега проводилось с применением весов и цилиндрического пробника с точностью 0,01 г/см³. Из полученного керна отбирались образцы снега и льда с шагом в 10 см для изотопных исследований ($\delta^{18}\text{O}$), а керн частями по 20 см упаковывался в герметичную пластиковую тару.

Скважина 1 была пробурена на глубину 2,35 м на высоте 535 м в области максимального снегонакопления. Описание керна показало, что в этой точке находится в основном сезонный метелевый снег, фирнизированный снежный покров и наложенный лёд. Скважина 2 бурилась ниже по профилю на высоте 437 м в области ледяного питания. Глубина бурения составила 535 см. Анализ структуры поднятого керна в совокупности с результатами термометрии скважины и измерений плотности льда привел к заключению, что полученный материал отражает последние 15–20 лет. Следовательно, продолжать бурение было целесообразно ниже по склону в области абляции. Скважина 3 была заложена на высоте 386 м в 200 м от границы питания. Предварительные расчеты, произведенные на месте, позволяли предположить, что радиационно загрязненный горизонт находится в этой точке на глубине около 15 м. Однако после того, как было получено 1,92 м керна, произошло заклинивание бура и все попытки освободить его не принесли успеха.

Таким образом, было пробурено 3 скважины: в зоне аккумуляции (выше фирновой линии), в зоне ледяного питания (на границе фирновой линии) и в зоне абляции (рис. 1). Всего было отобрано 49 проб ледяного и снежного керна по 20 см. Полученные пробы помещались в герметичные толстостенные пластиковые пакеты и после таяния переливались в герметичные пластиковые флаконы. Активность ¹³⁷Cs и ²¹⁰Pb измерялась методом гамма-спектрометрического анализа в лаборатории радиохимии НИЯФ МГУ (аналитик Р.А. Алиев) на детекторах из сверхчистого германия GLP-36360/13P4 и GEM30P4-76 (ORTEC, США). Минимально детектируемая активность для ¹³⁷Cs составляла 4 мБк/л для пробы объемом 5 л.

Результаты исследования и их обсуждение

В период проведения работ склон ледникового купола был покрыт снежным покровом,

не стаявшим за лето, за исключением его краевой части. Северо-восточный склон купола имел равномерный уклон 5 градусов от края ледника на высоте 300 м до бровки плато. В этот период наблюдалось активное таяние и интенсивный сток талой воды на поверхности ледника. Температура воздуха в дневные часы была положительной, осадки выпадали преимущественно в виде дождя на уровне края ледника и мокрого снега выше по склону.

Мощность снежного покрова на склоне увеличивалась на 60 см на каждые 100 м профиля, достигая максимума в 203 см на бровке плато на высоте 550 м, и затем снижалась до 110–120 см. В снежной толще наблюдались многочисленные ледяные корки, их суммарная толщина не превышала 40 мм на 1 метр толщины снежного покрова. По всей толщине снежный покров имел температуру равную 0 °С, а в слоях снега наблюдались признаки инфильтрации талой воды. В основании снежного покрова лежал слой наложенного льда толщиной до 15 см. Этот слой льда обнаруживался также ниже по склону ледника и являлся водяным упором для талой воды, фильтрующейся через снежный покров. Несколько выше границы питания сток талой воды насыщал снежный покров и образовывал обширные пространства снежных болот. Их верхняя граница маркировала максимальное положение зоны ледяного питания, которое соответствовало уровню 480–490 м над у.м. Выше этого уровня были заложены снежные шурфы и проведены измерения снегозапаса. Строение снежной толщи указывало на признаки фирново-ледяной зоны льдообразования, которое характерно для области питания ледников Новой Земли на высоте 500–600 м [9, 4].

Средняя плотность снега, измеренная в двух шурфах на плато купола, заложенных в фирново-ледяной зоне льдообразования, составляла 0,44 г/см³, что согласуется с сезонными наблюдениями на леднике Шокальского [4]. Величина водозапаса, заключенного в снежном остатке и наложенном льду, составила 65 г/см². Погрешность измерений водозапаса находилась в пределах 8 г/см², которую можно отнести к ошибке в определении толщины наложенного льда. Таким образом, в текущих условиях годовой прирост льда на плато был не менее 75 ± 10 см.

Зона абляции в нижней части склона имеет протяженность по склону около 950 м, поднимаясь от края ледника на 80–100 м по вертикали. Граница питания установлена

на высоте 390 м, а фирновая линия на 405 м. Положение этих границ являлось максимальным в текущем балансовом году, так как сезон таяния на момент проведения работ заканчивался. Фактически с 12 сентября на леднике началось накопление снега, которое обозначило наступление нового сезона аккумуляции. Около границы питания ледника было проведено керновое бурение льда. Результаты измерения плотности льда, сделанные по ледяным кернам скважин, представлены на рис. 2, на котором температурная кривая построена только для скважины 2, т.к. значения измеренных температур в скважинах 1 и 3 были нулевыми.

Скважина 1, пробуренная в фирново-ледяной зоне, вскрыла слои наметённого снега, сезонного снежного покрова, части фирнизированного слоя предыдущего года и верхнего горизонта наложенного льда. Плотность снежного покрова увеличивалась с глубиной от 0,22 до 0,45 г/см³ и возрастала до 0,78 г/см³ внизу, в горизонте наложенного льда. Скважина 2 вскрыла 8 слоев льда и оказалась наиболее информативной. Верхние 1,5 метра, имеющие слоистое строение, были представлены матовым инфильтрационным и прозрачным конжеляционным льдом, включая один прослой фирна. Мощность годовых слоев составляет около 30 см, иногда достигая 40 см. Строение льда в верхнем слое ледни-

ка указывает на смену условий питания, что выражено в отмеченном чередовании слоев льда. К сожалению, скважина 3 не принесла ожидаемых результатов. Керна, полученный с интервала 0–192 см, был представлен однородным матовым льдом с плотностью 0,85–0,90 г/см³, не имеющим годовой слоистости. Пузырьки воздуха продолговатой формы и различных размеров были равномерно распределены по всему объему керна, что характерно для структуры глубинного инфильтрационного льда.

Активность ¹³⁷Cs во всех измеренных пробах льда, полученного из скважин, не превышала значимый для детектора уровень фонового сигнала, следовательно, радиационно загрязненный слой не был вскрыт бурением.

Вероятно, в связи с потеплением климата условия питания купола в последние годы могли стать более благоприятными, на что указывает понижение фирновой линии, значительное снегонакопление и температура льда в верхнем слое ледника. Это выражено в увеличении твердых осадков и расширении границы питания. Так, площадь области аккумуляции в 2015 г. достигла величины 1470 км², что составляет 74% всей площади ледника, ее увеличение оказалось больше на 9% в сравнении с данными начала 2009 г. [8]. Понижение границ льдообразования

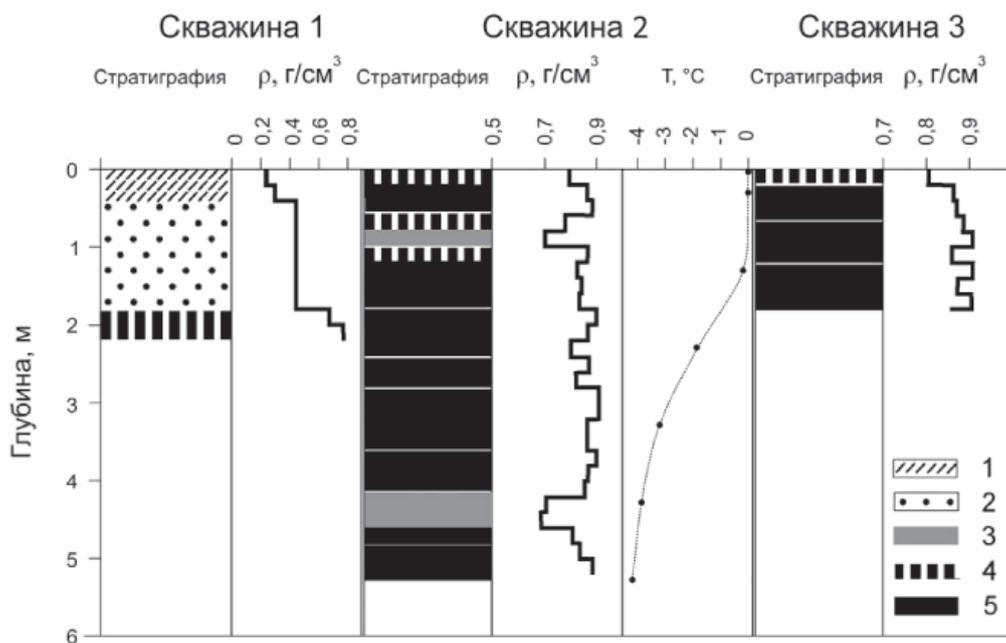


Рис. 2. Стратиграфия, плотность и температура льда в скважинах. Обозначения стратиграфии: 1 – метелевый снег, 2 – фирнизованный снег, 3 – фирн, 4 – наложенный лед, 5 – инфильтрационный лед

на леднике привело к покрытию и бронированию тех слоев льда, которые стали вытаивать ниже границы питания в конце XX и в начале XXI в. Вероятно, слой льда 1962–1963 г. оказался перекрыт новыми слоями льда и фирна, а его расчетная глубина залегания по данным снегонакопления в области аккумуляции составляет не менее 30 м от поверхности купола в области питания.

Заключение

Гляциологические и радиоэкологические исследования на СЛК позволили получить самые первые сведения о ранее неизученном ледниковом районе Новой Земли. Опираясь на впервые осуществленные в этом районе прямые замеры, выявлено понижение границы питания и расширение области аккумуляции, положение которой оказалось наиболее низким для ледников Новой Земли в 2015 г. В связи с этим произошло увеличение площади аккумуляции, которое достигло величины 1470 км². Установлено значительное снегонакопление на куполе, на плато которого не стаявший остаток снега составлял в среднем 110 см, а снегозапас был равен 65 г/см². Эта величина соответствует годовому слою льда мощностью 75 см. Полученное значение более чем в два раза превысило расчетные оценки, сделанные по наблюдениям на леднике Шокальского в 1957–1959 гг. [9].

Несмотря на то, что при бурении ледника не удалось получить пробы радиационно загрязненного слоя, выявленные параметры гляциологических зон позволяют обоснованно предположить, что расчетная глубина его залегания может составлять 25–30 м в холодной фирновой зоне и около 15–20 м на границе питания.

Полученные данные имеют огромное значение для целенаправленного продолжения начатых работ.

Работа выполнена в ФГБУН ИГЕМ РАН при финансовой поддержке гранта РНФ № 14-17-00764.

Авторы благодарны сотрудникам НП «Русская Арктика» за помощь в проведении работ и выражают особую признательность сотруднику МЧС России Л.С. Радуну за обеспечение безопасности полевых исследований.

Список литературы

1. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира: Т. 2. Книга 1 / под ред. В.М. Котлякова; ИГ РАН. – М., 1997. – 264 с.
2. Бузин И.В., Глазовский А.Ф. Айсберги и ледники Баренцева моря: исследования последних лет. Часть 1 // Проблемы Арктики и Антарктики. – СПб., 2008. – Вып. 78. – С. 66–80.
3. Глазовский А.Ф., Мачерет Ю.Я. Гляциологические исследования в Российской Арктике осенью 2007 года // Земля и вселенная. – 2010. – № 2. – С. 66–74.
4. Зингер Е.М., Энгельгардт В.В. Снегонакопление и стайвание на леднике Шокальского и прилегающей к нему части Новоземельского ледникового щита // Материалы гляциологических исследований. – 1961. – Вып. № 3. – С. 19–26.
5. Иванов Г.И. Методология и результаты экогеохимических исследований Баренцева моря. – СПб.: ВНИИ Океангеология, 2002. – 153 с.
6. Израэль Ю.А., Цыбань А.В., Вакуловский С.М. Радиоактивное загрязнение морей и океанов // Метеорология и гидрогеология. – 1994. – № 10. – С. 15–23.
7. Мирошников А.Ю. Закономерности распределения радиоцезия в донных отложениях Карского моря // Геоэкология. – 2012. – № 6. – С. 516–526.
8. Никольский Д.Б. Разработка профилно-площадной методики спутникового зондирования островных ледников Российского Заполярья: дис. ... канд. тех. наук; МИИГАиК – М., 2013. – 221 с.
9. Оледенение Новой Земли / О.П. Чижов, В.С. Корякин, Н.В. Давидович и др. – М.: Наука, 1968. – 338 с.
10. Strand P. Radioactive contamination in the Arctic Seas // Marine pollution: proceedings of a symposium held in Monaco, 5–9 October 1998 / IAEA TECDOC-1094, IAEA. – Vienna, 1999. – P. 690.