

**Гляциологическая конференция**  
**«Прошлые, текущие и будущие изменения климата и гляциосферы»**  
**25 – 27 октября 2023 г.**

**СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ**

**ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ**  
Российской академии наук



основан в 1918 году



Институт географии РАН  
Москва

Мероприятие проводится Институтом географии РАН при финансовой поддержке Мегагранта (соглашение № 075-15-2021-599).

Предварительная версия сборника тезисов даёт возможность ознакомиться с тезисами докладов, заявленных зарегистрированными участниками. В окончательной (официальной) редакции сборника, которая выйдет после окончания конференции, будет несколько отличий:

1. В официальную редакцию сборника войдут тезисы докладов, представленных на симпозиуме.
2. Сборнику тезисов будет присвоен номер ISBN.

## **Изменения ледников Алтая на примере бассейна Актру за 2017–2022 гг.**

В. А. Абашина

Факультета географии и геоинформационных технологий НИУ ВШЭ

varvara.abashinaa@gmail.com

В докладе представлены результаты анализа современных изменений ледников Алтая по данным Каталога ледников СССР, Каталога ледников России, литературным данным и спутниковым данным за 2022 г.

Для предварительного выделения областей оледенения были вычислены индекс NDSI и соотношение каналов  $red/swir-1$ , как основной метод работы для минимизации ошибок в определении контуров ледников использовалось ручное дешифрирование по снимкам Sentinel-2 MSI (Геопортал «Sentinel Hub») за 27.07.2022.

По результатам работы был отредактирован контур ледника Левый Актру за 2017 г. в Каталоге ледников России.

Анализ полученных данных выявил продолжение сокращения площади оледенения, которое закономерно прослеживается по наблюдениям с 1955 г. до настоящего времени. При этом с начала XXI в. скорость дегляциации Горного Алтая увеличилась вдвое, по сравнению со второй половиной XX в.

За период 2017–2022 гг. наибольшие изменения затрагивают ледник Левый Актру, наименьшие — Малый Актру, в котором ранее наблюдался даже положительный баланс массы. В целом такая динамика коррелирует с историей развития самого ледникового района — деление Большого Актру на Левый и Правый в середине XIX в. и дальнейшее заметное уменьшение их площади.

Сокращение оледенения Горного Алтая происходит на фоне положительной динамики температуры в теплый период (май–сентябрь) и суммарной солнечной радиации при мало изменяющемся режиме осадков.

## **Особо опасные случаи схода лавин в Приэльбрусье.**

Р.Г. Аветисова<sup>1</sup>, М.Д. Докукин<sup>1</sup>, О.В. Остапцов<sup>2</sup>, И.Н. Комаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «ВГИ», г. Нальчик, <sup>2</sup>ФГБУ «Северо-Кавказская военизированная служба»

Эльбрусский военизированный противолавинный отряд, г. Нальчик

ruvella\_1709@mail.ru

*Ключевые слова: сход лавин, негативные последствия, долина реки Баксан, Приэльбрусье.*

В статье рассматриваются катастрофические снежные лавины в Приэльбрусье Кабардино-Балкарской республики. Представлены обобщенные данные о сходах снежных лавин с негативными последствиями за период с 1936 г. по 2023 г. На основе данных маршрутных обследований, дешифрирования космических снимков (Sentinel-2С) с 2015 по 2023, аэрофотоснимков с 1957 г. по 1988 г. были определены приблизительные границы зоны поражения лавин в долине р. Баксан. На основе сопоставления схем распространения лавин на территории долины реки Баксан А.В. Рунича, В.С. Читадзе, М.Ч. Залиханова и С.В. Кузнецова составлена современная карта-схема с общей нумерацией лавинных очагов (СКВС) и лавиносборов.

Приведенные негативные последствия в долине реки Баксан свидетельствуют о том, что материальный ущерб и человеческие жертвы наблюдаются практически каждый год и будут повторяться в будущем, так как большое количество рекреационных объектов расположены в лавиноопасной зоне. Необходимо усовершенствовать систему защиты от лавин и соблюдать правила катания на горнолыжных трассах.

**OSL- и <sup>14</sup>C-хронология оледенений и ледниково-подпрудных озер в бассейне Катунь (Русский Алтай) в плейстоцене.**

А.Р. Агатова, Р.К. Непоп

Институт Геологии и Минералогии СО РАН, Новосибирск  
rnk@igm.nsc.ru

Применение геохронологических (OSL, <sup>14</sup>C) методов в ходе многолетних комплексных исследований отложений и форм рельефа, созданных ледниками, ледниково-подпрудными озерами и паводками при их спусках в бассейне Катунь (Русский Алтай), позволило установить, что хребты Юго-Восточного Алтая подвергались крупному оледенению уже в среднем плейстоцене, однако ледниково-подпрудный водоем, оставивший максимально высокие (до 2100 м н.у.м.) береговые линии на склонах Чуйской и Курайской впадин, существовал не ранее 90-80 тыс. л.н., то есть в позднем неоплейстоцене. Подтверждено существование крупного, с уровнем не ниже 1730 м н.у.м., ледниково-подпрудного озера в МИС 2 в Курайской впадине, спущенного не позднее 16 тыс. л.н., и синхронное его спуску начало накопления дилювиально-озерных циклитов в устье Ини.

Установлено, что аккумуляция сальджарской толщи в долине Катунь между устьями Чуи и Семы происходила длительно, в течение всей МИС 2, в результате не только паводковых, но и постепенных гидрологических процессов.

## Увеличение скорости сокращения ледников Центрального Кавказа

З.П. Агафонова<sup>1</sup>, С.А. Никитин<sup>2</sup>, Г.А. Носенко<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>НИУ ВШЭ, Москва zpagafonova@edu.hse.ru

<sup>2</sup>Институт географии РАН, Москва,  
gnosenko@gmail.com

Исследование процессов глобального потепления приобрело большое значение особенно в настоящее время, когда одним из наиболее заметных проявлений изменения климата является таяние ледников и связанные с этим негативные последствия. Результаты оценок скорости изменений размеров ледников Кавказа, выполненных в работах предыдущих исследователей, показывают постепенный рост скорости сокращения площади ледников на протяжении последних десятилетий. Цель данной работы – подтвердить устойчивость этой тенденции на примере ледников Центрального Кавказа и оценить величину скорости сокращения их площади на коротком временном интервале - с момента создания последнего Каталога ледников России (2018 г.) до настоящего времени (2022 г.).

Для исследования произошедших изменений использовались космические снимки Sentinel-2 полученные в конце периода абляции 2022 года. Границы ледников дешифрировались ручным методом в программной среде ArcGIS и сравнивались с данными Каталога 2018 г. Однородность использовавшихся массивов данных и методов их обработки обеспечивала сопоставимость полученных результатов. Оценка величины погрешности дешифрирования проводилась методом повторных оцифровок и буферным методом. Выполненное исследование позволило оценить величину изменения площади ледников Центрального Кавказа с 2018 по 2022 г. Площадь 985-ти ледников составила  $669,9 \text{ км}^2 \pm 42,34 \text{ км}^2$ , сокращение за четыре года (2018-2022 г.) достигло 5,11% или  $1,28\% \text{ год}^{-1}$ .

Сравнение полученных результатов с данными предыдущих инвентаризаций позволяет сделать вывод об увеличении скорости сокращения ледников на Центральном Кавказе за последние 4 года. Возможные причины этого феномена заключаются в наблюдаемом росте летних температур воздуха, при сохранении практически неизменных зимних осадков; в увеличении радиационного баланса за счёт коротковолновой составляющей; в уменьшении альбедо поверхности ледников, увеличивающем интенсивность таяния и происходящем из-за эпизодических (но мощных) выпадении пыли из пустыни Сахара, а также образующейся в результате ветровой эрозии склонов, поверхность которых увеличивается за счёт сокращения площади ледников.

Полученные результаты свидетельствуют также о необходимости проведения повторных инвентаризаций с более коротким периодом, чем предыдущие, чтобы не пропустить момент исчезновения ледников и быть готовым к возможным последствиям этого события.

## **Модель снижения рисков, связанных со сходом снежных лавин.**

А.Х. Аджиев, А.Б. Ашабоков

ФБГУ Высочогорный геофизический институт, Нальчик

Azret.Ashabokov.1994@mail.ru

Обсуждаются проблемы, возникающие на пути построения модели снижения рисков, связанных со сходом снежных лавин. К ним относятся проблемы информационного обеспечения решения таких задач, как определение времени и места схода лавин и их характеристик, оценка их последствий и формирование множества действий для их снижения и т.д. Особенности информационного обеспечения решения этих и других задач делают более перспективным рассмотрение проблемы разработки отмеченной модели в рамках теории принятия решений. Изложена разработанная в рамках данной теории модель снижения рисков, связанных со сходом снежных лавин. В качестве множества состояний лавинной опасности в модели используется основанная на дальности выброса лавин четырехбальная шкала. Предполагается, что соответствующие им вероятности определяются достаточно надежно, а возможности формирования множества действий (создание защитных сооружений, эвакуация людей и т.д.) определяются объемом имеющихся финансовых ресурсов. Выбор оптимального действия для снижения последствий схода лавин (оптимальной структуры защитных сооружений с точки зрения используемого критерия) осуществляется с помощью модели оптимизации структуры защитных сооружений с учетом подверженности различных частей лавиносбора и уязвимости расположенных на них объектов снежными лавинами. Модель записана в рамках линейного программирования. Обсуждаются пути усовершенствования информационного обеспечения проблемы снижения рисков, связанных со сходом снежных лавин.

## **Новые оценки состояния ледников гор Бырранга, полуостров Таймыр, на фоне изменения климата.**

М.Д. Ананичева  
Институт географии РАН

На п-ове Таймыр, в горах Бырранга находится самый северный район материкового оледенения России, открытый в конце 1940-х - начале 1950-х гг. В 1843 г. Горы Бырранга исследовал А.Ф.Миддендорф и впервые нанес это название на карту. Горные хребты имеют ЮВ простирание и достигают наибольшей высоты на СВ, >1200 м н.у.м, и ниже на ЮЗ на высоте 500–900 мн.у.м. В пределах наиболее высокой, СВ части гор было обнаружено > 90 ледников общей площадью 30 км<sup>2</sup>, самый крупный — ледник Неожиданный 4,3 км<sup>2</sup> (Каталог ледников СССР). Преобладали каровые, карово-долинные ледники, имеются переметные, долинные, висячие, присклоновые морфологические типы. Средняя высота концов ледников – 600-900 м н.у.м.

Со времени Каталога ледников СССР следующие оценки изменения площади ледников гор Бырранга были сделаны по спутниковым снимкам Landsat (2003), которые сравнивались с площадями ледников из Каталога (аэрофотосъемка 1967 г.). В целом, ледники гор Бырранга сократились по площади за период 1967-2003 на примерно 17% (Ананичева, Капустин, Лед и снег, 2010). По снимкам более высокого разрешения Sentinel-2 (10 м) были произведены измерения размеров ледников этого района для электронного каталога «Ледники России», датированные 2019 г. Обнаружено 213 ледников общей площадью 29,94 км<sup>2</sup>.

Целью настоящей работы было определение гляциологических характеристик ледников Бырранга по самым новым снимкам Sentinel-2 за 2022 г., сравнение их с предыдущими оценками, обновление Каталога «Ледники России» этого арктического региона и оценка климатических изменений в районе по данным метеостанций. Нами были идентифицированы 204 ледника, занимающих 24,425 км<sup>2</sup>. Использование последней версии ArcticDEM позволило уточнить линии водоразделов в переметной долинной системе из ледников №13, 19, 47 (Номера по Каталогу ледников СССР, Ангаро-Енисейский район, том 17, ч. 2, 1980). Все ледники были отсортированы и анализировались по бассейнам р.Преградной, р.Толля-Клюевки, р. Ледниковой, р. Рыбной, р.Географа, море Лаптевых, р. Малахайтари и р. Сочавы, оз.Таймыр, р. Ленинградская, Карское море и некоторые др. Больше всего современных ледников северных румбов – 67,65%, Южных – 16,8%, Восточного – 16,8%. Большинство ледников Бырранга принадлежит к малым формам оледенения (по М.В. Трону, 1954), сейчас находящиеся в стадии деградации, поэтому сложно определить по снимкам точно их морфологический тип. По нашим оценкам, преобладающий тип сейчас – карово-висячий (28,4%) и присклоновый (17,6%). По сравнению с состоянием ледников на конец 1960х, современные ледники сократились на 52%.



## Результаты изотопно-гидрологических исследований в долине ледника Большая Талдура (Южно-Чуйский хребет, Центральный Алтай)

Банцев Д.В.<sup>1</sup>, Овсепян А.А.<sup>1</sup>, Козачек А.В.<sup>1,2</sup>, Чихачев К.Б.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург  
bancev-d@yandex.ru

В современных нестационарных климатических условиях большое значение приобретает оценка вклада современного оледенения в сток горных рек, особенно на территориях с недостаточным увлажнением. В настоящий момент крупные центры оледенения Алтая охвачены гидрологическими исследованиями недостаточно, поэтому существует необходимость применения новейших методов, таких как использование стабильных изотопов воды ( $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$ ).

В докладе будут представлены результаты изотопных исследований в долине реки Талдура, берущей свое начало у одного из крупнейших ледников Алтая – ледника Большая Талдура. В июле-августе 2023 года был организован отбор проб воды на двух временных гидрологических постах: нижний на расстоянии 35 км от края ледника и верхний на расстоянии 2 км от края ледника. Помимо отбора проб и измерения расходов воды также фиксировалась температура воздуха и измерялось количество осадков. Осадки отбирались для определения их изотопного состава. Кроме образцов воды, отбирались поверхностные пробы льда из зоны аккумуляции ледника и снег из шурфов около границы питания. С помощью полученных данных будут оценены изотопные характеристики льда и снега ледника Большая Талдура, а также определены вклад талых ледниковых вод в питание р. Талдура и вклад атмосферных осадков в сток в зависимости от их количества. Будет прослежено изменение роли ледниковой составляющей в стоке р. Талдура по мере ее течения на протяжении 35 км. Будут определены зависимости между температурой воздуха и изотопным составом осадков и между изменениями в стоке реки и ходом метеорологических параметров.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда № 23-27-00173

## **О наступании ледников в условиях изменения климата**

М.Ю. Беккиев, М.Д. Докукин, Р.Х. Калов  
Высокогорный геофизический институт  
inrush@bk.ru

В современный период изменения климата происходит интенсивная деградация оледенения, отличающаяся особенно высокими темпами в последние 5-10 лет. Это создаёт серьёзные проблемы, так как ледники являются важным источником пресной воды. Вместе с тем в высокогорной зоне активизируются опасные природные процессы (ледово-каменные и каменные лавины, прорывы ледниковых озёр, селевые потоки и др.). Эти процессы оказывают влияние на динамику ледников и в некоторых случаях вызывают их наступание и подвижки, которые могут иметь негативные последствия для функционирования объектов в горах и рекреационных зон.

На основе анализа разновременных архивных аэрофотоснимков и космоснимков Landsat, Sentinel-2, космоснимков сервиса Google Earth и др. зафиксированы наступания и подвижки ледников в период с середины XX века до настоящего времени с разной скоростью движения. После обвала 1959 г. левый поток ледника Бартуйцете (бассейн р. Урух) постепенно наступил на расстояние более 600 м и вышел к краю языка в 2010 г. с незначительным продвижением вперёд самого языка ледника. Многочисленные обвалы в 2002 г. спровоцировали сход ледника Колка, который постепенно восстанавливается: за 2010-2022 гг. наступил на расстояние около 400 м (в среднем более 30 м в год) и теперь отстоит от положения в 2002 г. на 1300 м. Бывший правый приток Девдоракского ледника (ледник Шантор) после обвала в 2014 г. с горы Казбек наступил в период с 14 августа 2015 г. по 12 апреля 2017 г. на 410 м (максимальная скорость наступания превышала 1 м/сут). Наступания ледников Мижирги (бассейн р. Черек Безенгийский) и Чегеткарачиран (бассейн р. Баксан) в начале XXI века составляли до 110-140 м.

Наступания ледников в основном были вызваны обвалами скальных пород и льда, но были случаи с отсутствием влияния обвалов. Бывший правый приток ледника Алибек (бассейн р. Аманауз, Западный Кавказ) наступил на 90 м в июне 2018 г. со скоростью движения до 2 м/сут в условиях отсутствия следов обвалов в цирке ледника, но со следами обвалов на других ледниках района в разное время.

Аккумуляция обвальных масс на поверхности ледников может вызвать ускорение движения ледников, что в свою очередь приводит к сходу ледово-каменных и ледяных лавин с участков ступеней коренного рельефа. После обвала в июне 2019 г. на поверхность ледника Шантор со скального обрыва, до которого дошёл ледник, в 2021-2023 гг. стали сходить ледяные и ледово-каменные лавины. Длина пути лавин превышала 2 км.

Наступания ледников могут происходить под влиянием вулканических процессов. С 1949 по 2022 гг. ледник Эрмана в долине р. Крутенькая в районе вулкана Ключевской наступил на расстояние более 3700 м (в среднем 50 м/год). Причём скорость движения ледника в 2022 г. на расстоянии 200 м от конца языка превышала 100 м/год. Наступали и другие ледники со склонов вулкана Ключевской (Богдановича, Обвальный, Влодавца, Шмидта).

На основе анализа многочисленных случаев сходов ледников в разных горных районах мира сделан вывод о вероятных в будущем сходах ледников на Кавказе.

Для своевременного предупреждения о возникновении чрезвычайных ситуаций, связанных с аномальной динамикой ледников, и принятия мер для снижения рисков и ущерба необходим постоянный мониторинг за динамикой ледников и опасными процессами в высокогорной зоне.

## Инвентаризация ледниковых озер Центральной Азии (на примере Киргизии, Таджикистана и Узбекистана)

С.А. Бондарев<sup>1\*</sup>, Д.А. Петраков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия  
sergeybondarev97@gmail.com

Периодическая инвентаризация ледниковых озер, прорыв которых может привести к образованию селевых потоков, является важной задачей. В настоящей работе при помощи данных дистанционного зондирования создан актуальный каталог ледниковых озер Киргизии, Таджикистана и Узбекистана. Необходимость инвентаризации обусловлена тем, что предыдущие данные либо устарели, либо носят выборочный характер.

Был проведен анализ: космоснимков Sentinel-2 (разрешение 10 м, весна и лето 2020 г.) в виде отдельных снимков (в панхроматическом виде) и в формате сплошной мозаики (в натуральных и псевдоцветах); космоснимков GoogleMaps, MicrosoftBingи Яндекс Карт. Дешифрирование проводилось в автоматическом и ручном (визуальном) режимах. Данные об абсолютных высотах получены благодаря ЦМPSRTMc разрешением 30 м.

Суммарно выделено 4094 ледниковых озера на территории Таджикистана (1703 озера), Узбекистана (43 озера) и Киргизии (2348 озер) в интервале высот от 1100 до 5150 м.

Зафиксированы 306 каскадных озер, расположенных в одной или в двух соседних горных долинах. Их прорыв может привести к увеличению объема селея.

При прорыве дополнительно выделенных 129 трансграничных озер селевые потоки могут быть направлены из какого-либо соседнего государства в сторону государств исследуемого региона. Опасность представляют 108 озер Афганистана, 13 озер Казахстана и 8 озер Киргизии.

В рамках инвентаризации проанализировано 197 озер Таджикистана, для которых проведена оценка суммарной (8,5 млн м<sup>2</sup>) и средней величин (43 тыс. м<sup>2</sup>) площади. Согласно методике [3] погрешности за счет качества изображения при ручном дешифрировании в среднем составляет около 5% от полученной площади. Для дешифрирования ледниковых озер исследуемого региона был выбран порог площади 2000-4000 м<sup>2</sup>. Озера с меньшей площадью водного зеркала учитывались в случае, если они расположены в каскаде других озер и/или если озеро является трансграничным.

Объем анализируемой выборки ледниковых озер Таджикистана оценивался по методикам [1,2]. По методике [2] выполнена оценка суммарного (140 млн м<sup>3</sup>) и среднего (710 тыс. м<sup>3</sup>) объема озер. По методике [1] проведены аналогичные расчеты суммарного (130 млн м<sup>3</sup>) и среднего (660 тыс. м<sup>3</sup>) объема озер.

Настоящий каталог озер отличается от предыдущей выборочной инвентаризации, зафиксировавшей лишь 122 ледниковых озера в Таджикистане [4]. Также увеличение количества озер, вероятно, связано с быстрым отступанием ледников, отмечающимся в регионе.

Работа выполнена в рамках проекта ЮНЕП «Развитие потенциала и передача технологий для улучшения получения и использования данных и информации в поддержку мониторинга окружающей среды в Центральной Азии» (Номер проекта 40-11)

### Список использованной литературы

- 1) Кидяева В.М. Оценка потенциальной опасности при прорывах горных озёр. Диссертация на соискание ученой степени к.г.н. МГУ имени М.В. Ломоносова. Москва, 2014
- 2) Huggel C., Haeblerli W., Käb A., Bieri D., Richardson S. An assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps. Canadian Geotechnical Journal, 2004, 41(6), pp. 1068-1083 (DOI: 10.1139/t04-053)
- 3) O'Gorman, L. Subpixel precision of straight-edged shapes for registration and measurement. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18 (7), pp. 746 – 751 (DOI: 10.1109/34.506796)
- 4) [https://nsidc.org/data/HMA\\_GLI/versions/1](https://nsidc.org/data/HMA_GLI/versions/1) - сайт проекта инвентаризации ледниковых озер Центральной Азии «High Mountain Asia Near-Global Multi-Decadal Glacial Lake Inventory». Дата обращения 10 июня 2023 г.

**Толщина льда и внутреннее строение ледников Слакбрин и Съяктбрин по данным георадиолокации (Земля Норденшельда, арх. Шпицберген)**

А.Л. Борисик

ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт»  
alexborisik@gmail.com

В докладе будут представлены результаты георадиолокационных исследований, выполненных весной 2021 года. Объектами изучения являются ледники Слакбрин и Съяктбрин, входящие в единую систему и расположенные в юго-восточной части Земли Норденшельда на высотах от 180 до 950 м. Всего, в пределах изучаемой площади было выполнено более 58 км профилей, образующих относительно равномерную сеть наблюдений. Полученные данные являются первым известным примером измерений толщины этих ледников методом георадиолокации и позволяют оценить объем ледников, определить их внутреннее строение, а также оконтурить фирновые зоны, выделенные в верховьях изучаемых ледников.

## **Математическое моделирование развития активного внутриледникового озера Долк (Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида)**

Боронина А.С.<sup>1,2</sup>, Попов С.В.<sup>3,2</sup>, Суханова А.А.<sup>4</sup>, Банцев Д.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>ООО «Первая Геотехническая Компания», Санкт-Петербург, Россия

Российские антарктические станции и полевые базы являются ключевыми объектами инфраструктуры, на которых проводятся круглогодичные или сезонные научные исследования. Характерные для них интенсивные логистические операции требуют особого внимания к вопросам изучения опасных гидрологических и гляциологических процессов. Внутриледниковые водоёмы, изменение состояния которых непредсказуемо и зачастую сопровождается катастрофическими последствиями в виде прорывных водных потоков и просядок поверхности ледника, являются одними из наиболее интересных и актуальных объектов для исследования. В оазисе Холмы Ларсеманн (Восточная Антарктида) таковым является недавно обнаруженное внутриледниковое озеро Долк. Оно расположено в теле одноимённого выводного ледника рядом с российской полевой базой Прогресс-1. О существовании озера Долк стало известно 30-го января 2017 г., когда на его месте образовалась обширная депрессия. Её формированию предшествовал прорыв ледниковых озёр Болдер и Ледяное, вода из которых привела к переполнению внутриледникового водоёма и его последующему опустошению. Спустя три года озеро Долк полностью восстановилось в результате повторного прорыва озёр Болдер и Ледяное. К 1-ому февраля 2020 г. образовавшийся водоём покрылся тонким слоем льда, а начиная с 2021 г. вновь перестал прослеживаться с поверхности. Несмотря на то, что озеро Долк визуально находится в стабильном состоянии, исключать повторных прорывов и просядок поверхности ледника нельзя.

Настоящее исследование посвящено изучению современного состояния внутриледникового озера Долк и моделированию возможных сценариев его дальнейшего развития. Основой являются данные полевых работ, выполненных после восстановления водоёма в январе 2021 г. и 2023 г., а также математическое моделирование. Комплекс полевых исследований включал в себя георадарное профилирование, геодезическую съёмку, керновое и шнековое бурение, термометрические измерения и отбор проб льда на изотопный анализ. В результате получены данные о строении этого участка ледника Долк, рельеф поверхности, современные границы водоёма, толщины снежно-фирнового слоя, льда и воды, вертикальное распределение температуры в каждой из сред. Эти использовались и при моделировании. В основе математической модели лежит решение одномерной многофазной задачи Стефана. Сценарные расчёты вероятного развития озера Долк на ближайшие пять лет отличались друг от друга особенностью аккумуляции и уплотнения снега на его ледовой поверхности. Первый сценарий предполагал неизменность толщины снежно-фирнового слоя и его плотности за расчётные года. Второй - равномерное увеличение толщины снежно-фирнового слоя при его определённой плотности. А третий сценарий предполагал равномерное увеличение мощности снежно-фирнового слоя, но его плотность в течение года изменялась от значений, соответствовавших свежеснеговому снегу, до значения, измеренного по керну. Согласно выпаленным расчётам, при любом из трёх сценариев озеро Долк постепенно промерзает. Его повторные прорывы возможны либо при увеличении притока водных масс из соседних водоёмов, или при изменении динамики ледника. При условии сохранения существующей тенденции можно ожидать, что озеро Долк полностью промёрзнет примерно через 40 – 45 лет.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда № 22-27-00266.

## **Различие характеристик снежного покрова западной и восточной частей архипелага Шпицберген как следствие условий его формирования**

И.И. Василевич  
ФГБУ «ААНИИ»  
vasilevich@aari.ru

Снежный покров играет значительную роль в водном балансе водных объектов архипелага Шпицберген. Накопление снежного покрова неоднородно по архипелагу и зависит от совокупности метеорологических и геоморфологических факторов.

Отдел гидрологии ФГБУ «ААНИИ» проводит исследования снежного покрова на архипелаге Шпицберген с 2001 года. Объекты исследования – водосборы рек, впадающих в залив Гренфьорд, находящийся в западной части архипелага. В 2022 году с целью получения данных о характеристиках снежного покрова восточной части архипелага были проведены снегомерные работы в долине Агард. По результатам работ следует, что снежный покров восточной части архипелага существенно отличается от снежного покрова западной. Средние высота, плотность и механическая твердость снежного покрова долины Агард выше, чем у долин западной части вследствие различий метеоро-орографических условий формирования.

## **Изучение гранулометрического состава и формы ледяного шлама, полученного при бурении снежно-фирновой толщи вблизи станции Восток**

Васильев Д.А., Большунов А.В., Игнатъев С.А., Ракитин И.В., Ожигин А.Ю.<sup>5</sup>

Лаборатория Технологии и техники бурения скважин в условиях станции Восток, Санкт-Петербургский Горный университет

Комплексное и всестороннее изучение ледников Антарктиды и Гренландии невозможно без бурения скважин. Буровые работы, вне зависимости от их конечных целей, будь то добыча кернов древнего льда, отбор проб подледниковых пород или вскрытие подледникового озера, начинаются с бурения снежно-фирновой толщи. Сегодня проводятся обширные исследования снежно-фирновой толщи Антарктиды и Гренландии, в том числе посвященные изучению генезиса, стратиграфии и особенностей снегонакопления, реконструкции палеоклимата и т.д. [1-3]. В то же время, прикладных исследований направленных на совершенствование технологий бурения снежно-фирновой толщи практически не ведется.

В течении летних сезонов 68-й и 69-й Российских Антарктических Экспедиций (РАЭ) сотрудниками Санкт-Петербургского Горного университета были проведены экспериментальные исследования [4], направленные на изучение свойств бурового шлама, полученного при бурении снежно-фирновой толщи вблизи станции Восток. Идея исследований заключалась в установлении размера, формы и насыпной плотности продуктов разрушения снежно-фирновой толщи, а также, как данные параметры изменяются в зависимости от глубины бурения.

С этой целью были пробурены две неглубокие скважины VK-22 (30 м) и VK-23 (36 м) с отбором керна и образцов ледяного шлама на каждом интервале бурения. Ледяной керн, выход которого составил 100% начиная с глубины 5,5, был использован для построения профиля плотности и был отправлен в лабораторию изменения климата и окружающей среды (ЛИКОС) института Арктики и Антарктики (АНИИ) для дальнейшего анализа. Изучение ледяного шлама включало в себя гранулометрический анализ методом рассева на лабораторных ситах, микроскопический анализ формы ледяных частиц, а также измерение насыпной плотности.

В результате были получены закономерности, свидетельствующие об изменении среднего размера, формы и насыпной плотности ледяного шлама по глубине скважин VK-22 и VK-23. С увеличением глубины бурения средневзвешенная крупность ледяного шлама снижается в два раза, шлам становится более мелкозернистым. Форма ледяных частиц изменяется от изометрической к вытянутой пластинчатой. Снижение насыпной плотности шлама подтверждает вышеуказанные зависимости.

Полученные данные планируется использовать при создании новых технологий бурения льда, также, найденные закономерности изменения свойств ледяного шлама возможно будут полезны для специалистов из смежных областей знаний, например, гляциологов или реконструкторов климата и окружающей среды.

### **Литература**

1. Екайкин А.А., Чихачев К.Б., Верес А.Н. и др. Профиль плотности снежно-фирновой толщи в районе станции Восток, Центральная Антарктида // Лёд и Снег. 2022. Т.62. № 4. С. 504-511. DOI: 10.31857/S2076673422040147.
2. Верес А.Н., Екайкин А.А., Липенков В.Я. и др. Первые данные о климатической изменчивости в районе ст. Восток (Центральная Антарктида) за последние 2000 лет по результатам изучения снежно-фирнового керна // Проблемы Арктики и Антарктики. 2020. Т. 66. № 4. С. 482–500. DOI:10.30758/0555-2648-2020-66-4-482-500.
3. Екайкин А.А., Владимирова Д.О., Тебенькова Н.А. и др. Пространственная изменчивость изотопного состава и скорости накопления снега на снегомерном полигоне станции Восток (Центральная Антарктида) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2019. Т.65. № 1. С.46-62. DOI: 10.30758/0555-2648-2019-65-1-46-62.
4. Игнатъев С.А., Васильев Д.А., Большунов А.В. и др. Экспериментальные исследования процесса транспортирования ледяного шлама воздухом при бурении снежно-фирновой толщи // Лёд и Снег. 2023. Т. 64. № 1.

**Летопись вулканических извержений за последние 2200 лет по данным фирновых кернов станции Восток, Центральная Антарктида**

А.Н. Верес, А.А. Екайкин, Л.П. Голобокова, Т.В. Ходжер, О.И. Хуриганова, А.В. Туркеев  
ФГБУ «ААНИИ»

Продукты вулканических извержений, обнаруженные в снежно-фирновой толще полярных ледяных щитов являются ценным источником информации о влиянии вулканической активности на климатическую систему в недавнем или отдаленном прошлом. С другой стороны, слои, содержащие следы известных извержений, служат маркерами абсолютного возраста, что позволяет построить хроностратиграфическую шкалу снежно-фирновой толщи. В этом исследовании мы представляем новые данные о концентрации сульфатов и электропроводности (ЕСМ) из трех неглубоких (до 70 м) фирновых кернов в районе станции Восток (центральная часть Восточной Антарктиды). В профилях неморских сульфатов и ЕСМ мы смогли идентифицировать 68 пиков, которые можно интерпретировать как следы вулканических событий. 22 из этих пиков можно однозначно отнести к известным извержениям вулканов (в том числе Тамбора 1815 г. н.э., Уайнапутина 1601 г. н.э., Самалас 1257 г. н.э., Илопанго 541 г. н.э. и др.), что позволило построить надежную возрастную шкалу для этих кернов. 37 событий имеют аналоги в других ядрах Антарктики, но не могут быть соотнесены с хорошо датированными извержениями. Наконец, 9 пиков не имеют аналогов в других кернах, т. е. они могут быть следами неизвестных до сих пор вулканических событий. Согласно вновь построенной хроностратиграфической шкале наиболее глубоко изученные слои фирна (70,20 м) датируются 192 г. до н.э.



## Прогноз лавинной активности в связи с изменением климата на Полярном Урале в пределах ЯНАО к середине XXI века

М.А. Викулина, И.В. Железнова, А.Р. Аляутдинов

<sup>1</sup>Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Географический факультет  
masanna2003@mail.ru

Изменения климата, которые мы наблюдаем в настоящее время и которые ожидаются в дальнейшем, оказывают влияние на опасные природные процессы, в том числе и на сход лавин. Для ЯНАО на середину XXI века был выполнен прогноз изменения экстремальности температуры и осадков на основе 42 моделей проекта СМIP6. Полученные значения среднемесячных температур и количества осадков использовались для определения динамики характеристик лавинной активности, таких как повторяемость лавин и продолжительность лавиноопасного периода.

В пределах ЯНАО области схода лавин расположены на восточном макросклоне Полярного Урала, где лавиноопасный период составляет порядка 200-220 дней. На данный момент больше половины рассматриваемой территории (около 60%) занимают районы со значительной степенью лавинной активности, которые отмечаются в осевой зоне восточного макросклона Полярного Урала и в его северной части, а также в массиве г. Ханмей. В таких районах из каждого лавиносбора в среднем сходит 2-3 лавины за год, объемом от 10000 до 100000 куб. м. Предгорья восточного склона и северные низкогорья, где абсолютные высоты не превышают 400 м, отнесены к районам со слабой степенью лавинной активности. Лавины здесь возможны только в многоснежные зимы. Остальные районы характеризуются средней степенью лавинной активности.

При определении средней многолетней повторяемости лавин в лавинном очаге использовалась зависимость данного параметра от среднего многолетнего значения максимальной декадной высоты снежного покрова ( $H_{cp}$ ).  $H_{cp}$  рассчитывается по методу, разработанному для мелкомасштабной оценки лавинной активности, где это функция от толщины снежного покрова, суммы осадков холодного периода и средней температуры самого холодного месяца. К 2050 году на Полярном Урале ожидается увеличение высоты снежного покрова, что, по-видимому, связано с ростом количества осадков и недостаточным увеличением температуры к этому времени, поэтому значительная часть осадков будет выпадать в твердом виде. Исходя из значений  $H_{cp}$  и среднемесячной температуры января нами была получена расчетная повторяемость лавин, которая увеличивается на протяжении всего хребта на 10 %, а в осевых частях Полярного Урала на 20%. В юго-восточных районах повторяемость лавин останется на современном уровне.

Для расчета продолжительности лавиноопасного периода нами была использована известная зависимость данного показателя от числа дней со снежным покровом и  $H_{cp}$ . Число дней со снежным покровом в свою очередь зависит от суммы температур октября, января и апреля, и суммы осадков всего холодного периода. Ожидается, что на большей части Полярного Урала продолжительность лавиноопасного периода не изменится и останется в рамках современных значений. В осевых и северных горных районах произойдет незначительное увеличение продолжительности лавиноопасного периода на 5 - 10%.

Таким образом, к середине XXI века прогнозируется увеличение степени лавинной активности, так как ожидается повышение повторяемости лавин практически на всей территории Полярного Урала, кроме того в некоторых районах также произойдет и увеличение продолжительности лавиноопасного периода.

## **Структурно-стратиграфические и геохимические исследования неглубокого ледяного керна вулкана Ушковский**

М. А. Воробьев<sup>1</sup>, В. Н. Михаленко<sup>1</sup>,  
А. Г. Хайрединова<sup>1</sup>, Ю. Н. Чижова<sup>1,2</sup>,  
М. М. Виноградова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, отдел гляциологии, Москва

<sup>2</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,  
Москва, m.vorobyev@igras.ru

Ледяные керны являются прекрасными архивами, которые содержат различную информацию о климате прошлого. Они позволяют создавать продолжительные палеоклиматические реконструкции с высоким разрешением (вплоть до сезонной изменчивости).

Множество работ посвящено таким реконструкциям для различных регионов Земли. Но для северо-восточной Азии существует лишь несколько, основанных на ледниковых кернах вулканов Ушковский[1] и Ичинский[2], пробуренных в 1998 и 2006 годах соответственно.

В этом докладе мы представляем результаты структурно-стратиграфического, ионного и изотопного анализов неглубокого ледяного керна (14 м), также пробуренного в кальдере вулкана Ушковский (высота 3900 м) на Камчатке в 2022 году. Эти результаты могут дополнить предыдущие, полученные из керна, пробуренного в 1998 году.

Наблюдается частичное совпадение колебаний значений стабильных тяжелых изотопов воды и концентрации ионов кальция и аммония. Для корректировки датирования мы использовали анализ тефры, объединенный с изотопным составом и химическим составом. На основании полученных данных мы сделали попытку реконструировать динамику морского льда.

Поддержано грантом РФФ-22-17-00159

- 1) T. Shiraiwa, F. Nishio, T. Kameda, A. Takahashi, Y. Toyama, Y. Muravyev, A. Ovsyannikov, *Journal of the Japanese Society of Snow and Ice*, **61**, 25-40 (1999),
- 2) S. Matoba, S. Ushakov, K. Shimbori, H. Sasaki, N. Yamasaki, A. Ovshannikov, A. Manevich, Zhideleeva T., S. Kutuzov, Y. Muravyev, T. Shiraiwa, *Bulletin of Glaciological Researcher*, **24**, 79-85 (2007).

## Современное сокращение ледников Южно-Чуйского хребта

Ганюшкин Д.А., Банцев Д.В., Горбунова Ю.А., Деркач Е.С., Грига С.А.  
Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург  
d.ganyushkin@spbu.ru

Цель работы - анализ изменений ледников Южно-Чуйского хребта после максимума малого ледникового периода (МЛП) на основе дешифрирования космических снимков Sentinel-2 24.08/2021, WorldView 25/08/2021, Landsat7 07.08.2000, Corona 28.07.1962, Landsat 3 08.08.1980, Landsat 5 12.08.1993, Landsat 7 27.08.2007, Landsat 8 04.09.2013, Landsat 8 30.07.2023, и результатов полевых работ 2022 и 2023 гг. Использовались данные Каталога Ледников СССР (1952 г.).

На максимум МЛП площадь оледенения оценена в 312,05 км<sup>2</sup>. К 2000 году она сократилась до 159,21 км<sup>2</sup>, исчезло 166 ледников. На 2021 год площадь ледников составила 122,59 км<sup>2</sup>, исчезло еще 32 ледника. Сокращение площади оледенения с максимума МЛП (61%) близко к среднему для юга Алтая (59%) [Ganyushkin et al., 2022] и аналогично сокращению ледников Северо-Чуйского хребта [Ganyushkin et al., 2023].

Относительное сокращение площади оледенения (табл. 1) ускорилось примерно в 2 раза в 1952-2000 гг. и продолжило возрастать после 2000 г. Сокращение оледенения бассейнов рек с преобладанием малых ледников (Тархата, Бара, Ирбисту, Кок-Узек) шло быстрее, резко ускорившись в 1952-2000 гг. Наименьшие относительные скорости сокращения происходили в бассейнах рек с наиболее крупными ледниками (Талдура, Аккол), они резко возросли только после 2000. При схожих площадях ледников и высоте гор в долинах северных экспозиций (Карагем, Елангаш) ледники сокращались медленнее, чем на юго-западном склоне (Джазатар).

Таблица 1. Относительное сокращение ледников Южно-Чуйского хребта по бассейнам.

Экспозиция	Бассейн	Максимальная высота гор, м	Средняя площадь ледников на 1850, км <sup>2</sup>	Период времени, гг.		
				1850-1952	1952-2000	2000-2021
				Среднее относительное сокращение, %/год		
ССЗ	Карагем	3936	0,70	0,36	0,54	1,24
СВ	Талдура	3936	2,03	0,22	0,38	0,86
	Аккол	3868	1,33	0,21	0,38	0,81
ССВ	Кара-Оюк	3922	0,91	0,25	0,56	1,10
	Елангаш	3967	0,60	0,36	0,58	0,81
	Ирбисту	3967	0,36	0,24	0,94	1,48
СВ	Кок-Узек	3521	0,36	0,39	0,85	1,52
В	Тархата	3345	0,11	0,55		4,76
ЮЗ	Джазатар	3936	0,65	0,33	1,00	1,81
	Бара	3345	0,43	0,20	1,29	2,75
СЗ	Карасу	3328	0,64	0,23	1,29	2,43
Среднее, %/год				0,28	0,58	1,10

Ускорение сокращения крупных ледников после 2000 г. иллюстрирует распад Большого Талдурина ледника, начавшийся около 2000 года, когда его западный поток стал самостоятельным ледником (№149 по каталогу 2021 года). К 2007 году в западной части последнего обособился каровый ледник (№148). К 2013 году потеряли связь центральный и восточный потоки ледника (ледники №152 и №154). К 2023 г. обособились висячие ледники

(№ 150, 151, 153). Распад ледника сопровождается ускорением сокращения суммарной площади ледниковой системы (табл. 2).

Таблица 2. Сокращение площади системы Большого Талдуринского ледника.

Годы	Средняя скорость сокращения, км <sup>2</sup>	Средняя скорость сокращения, %/год
1850-1897	0,01	0,03
1897-1950	0,05	0,17
1950-1962	0,00	0,00
1962-1980	0,05	0,19
1980-1993	0,12	0,45
1993-2000	0,10	0,40
2000-2007	0,17	0,70
2007-2013	0,15	0,63
2013-2023	0,16	0,73

ПоддержаноРНФ, проект 22-67-00020.

Литература.

1. Ganyushkin D. et.al. Glacier Recession in the Altai Mountains after the LIA Maximum // Remote Sensing. 2022. Т. 14. № 6
2. Ganyushkin D. et.al. Post-Little Ice Age Glacier Recession in the North-Chuya Ridge and Dynamics of the Bolshoi Maashei Glacier, Altai // Remote Sensing. 2023. Т. 15. № 8.

**Условия на ложе и поверхности ледникового купола Вавилова при его подвижке  
(по данным аэро радиозондирования)**

А. Ф. Глазовский\*<sup>1</sup>, Н. А. Кабанов<sup>2</sup>, Ю. Я. Мачерет<sup>1</sup>, А. М. Солдатенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, <sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В.  
Ломоносова

\*e-mail: glazovsky@igras.ru

Приведены результаты анализа данных аэро радиозондирования, выполненного 15 сентября 2014 г. в западной части ледникового купола Вавилова (Северная Земля) во время ее подвижки, начавшейся в 2012 г. с образованием в 2016 г. выдвинувшейся в море на 11 км сильно трещиноватой лопасти площадью 140 км<sup>2</sup>, которая двигалась со скоростью до 9,2 км/год в обрамлении более медленно (2 км/год) движущегося льда. Для измерений использовался моноимпульсный радиолокатор ВИРЛ-7 с центральной частотой 20 МГц и длительностью зондирующего импульса 5 мкс, подвешенный на деревянной ферме под фюзеляжем вертолета Ка-32, базировавшегося на борту научно-исследовательского судна «Академик Трешников».

По данным измерений времени запаздывания и амплитуды отражений от поверхности иложаледника определены коэффициенты отражения от этих границ. Для их калибровки по мощности использованы данные измерений амплитуды отражений от поверхности моря при полетах на разных высотах. По величине этих коэффициентов оценены степень трещиноватости льда и диэлектрические свойства и характер подстилающих пород. Снимки со спутника Landsat-7 были использованы для определения поверхностной скорости движения льда внутри и вне ледяной струи. Сравнение с данными аэро радиозондирования показало высокую положительную корреляцию между коэффициентами отражения от ложа (PRCs) и поверхностными скоростями движения льда в области со скоростью более 1000 м/год. В этой области величины PRCs на 20 дБ выше, чем в соседних менее быстро движущихся областях. Такое различие может быть обусловлено наступанием ледяного потока на морские мягкие отложения с более высокой диэлектрической проницаемостью и проводимостью и более высокими PRCs. Их оцененный диапазон соответствует породам ложа с диэлектрической проницаемостью от 5 до 10 и проводимостью от  $10^{-5}$  до  $10^{-2}$  См/м, типичными для влажных глин, песка, песчаника и сланца.

Исследование было выполнено в рамках проекта РНФ № 22-27-00699.

## **Условия в толще и на подошве шельфового ледника Матусевича, Северная Земля, по данным аэроадиозондирования**

А. Ф. Глазовский\*<sup>1</sup>, Н. А. Кабанов<sup>2</sup>, Ю. Я. Мачерет<sup>1</sup>, А. М. Солдатенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, <sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

\*e-mail: glazovsky@igras.ru

Шельфовые ледники в Арктике и Антарктиде представляют собой важные элементы взаимодействия ледниковых систем с морем. Шельфовый ледник Матусевича находится на острове Октябрьской Революции на Северной Земле, в фьорде Матусевича, расположенном между ледниковыми куполами Русанова и Карпинского. После его интенсивного разрушения, начавшегося в 2012 г., осталась только его северо-западная часть площадью около 27,6 км<sup>2</sup> (на 16 августа 2023 г.), питаемая выводными ледниками № 23 и Журавлева, стекающими с купола Русанова, а бухта Сказочная в результате распада шельфового ледника теперь напрямую соединилась с фьордом Матусевича.

Нами анализируются данные радиолокационных измерений, полученные 21 августа 2014 г. в северо-западной части шельфового ледника с применением моноимпульсного радиолокатора ВИРЛ-7с центральной частотой 20 МГц, смонтированного на подвеске под фюзеляжем вертолета Ка-32.

Задачей исследований было оценить условия на подошве и в толще шельфового ледника Матусевича. Поскольку шельфовый ледник Матусевича полностью находится на плаву в морском заливе, но имеет разную толщину льда, это дало возможность выполнить эксперименты по оценке коэффициента затухания радиоволн в ледниковой толще по однократным и двукратным отражениям от ложа, независимой калибровке коэффициента отражения по мощности от поверхности раздела «подошва ледника / морская вода» и от раздела «воздух / ровная плоская поверхность шельфового ледника». Появилась также возможность сравнить данные 2014 г. с данными предыдущего аэроадиозондирования 1997 г. этой части шельфового ледника.

Исследование было выполнено в рамках проекта РНФ № 22-27-00699.

## **Структура современного оледенения Южно-Чуйского хребта**

Ю. А. Горбунова

НИЧ Института Наук о Земле СПбГУ

st085052@student.spbu.ru

Южно-Чуйский хребет является одним из крупнейших центров современного оледенения горного Алтая, включающим более 400 ледников общей площадью 125 км<sup>2</sup>. В работе проведено дешифрирование по космическим снимкам (2021 года) ледников Южно-Чуйского хребта, составлена схема расположения ледников и на основе полученных данных проанализированы бассейновые, морфологические, экспозиционные и другие особенности оледенения. На территории хребта встречаются ледники различных морфологических типов, бóльшую суммарную площадь занимают долинные ледники. Оледенение распределено неравномерно: преобладающая часть ледников принадлежит северному макросклону хребта. По бассейновым особенностям распределения ледников также наблюдаются существенные различия. Также современное оледенение сопоставлено с состоянием оледенения середины XX века по каталогам ледников СССР (Душкин М.А., Ревякин В.С.).

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 22-67-00020 «Изменения климата, ледников и ландшафтов Алтая в прошлом, настоящем и будущем как основа модели адаптации населения внутриконтинентальных горных районов Евразии к климатообусловленным изменениям среды».

## Особенности зарастания молодых морен ледника Большой Маашей (Северо-Чуйский хребет, Центральный Алтай)

Е.С. Деркач<sup>1,2</sup>, Д.А. Ганюшкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург  
katya.d96@bk.ru

В настоящее время на Алтае наблюдается повсеместное сокращение ледников, являющихся природными индикаторами изменения климата. В работе Ганюшкина и соавторов (2023) рассмотрена динамика сокращения ледников Северо-Чуйского хребта с малого ледникового периода (далее МЛП) по настоящее время, подробно описано сокращение ледника Большой Маашей. Исследования проводились дистанционно и в полевых условиях (сентябрь 2022 года) в долине реки Маашей. Было закартировано распространение различных типов растительных сообществ на молодых моренах ледника Большой Маашей. В таблице 1 представлены данные о зарастании молодых морен.

Таблица 1. Характеристики молодых морен в верховьях долины реки Маашей

Время освобождения ото льда	Характерные особенности (по полевым и дистанционным данным)
С 2013 года по настоящее время	Распространен следующий тип растительных сообществ: пионерные мелкотравные сообщества ( <i>Epilobium alpinum</i> , <i>Kochia sp.</i> ), при этом <i>Epilobium alpinum</i> появляется примерно в 65-70 м от края современного ледника. На космических снимках метрового разрешения (далее КСМР) ледниковые отложения имеют характерный сероватый цвет и зернистую структуру, пионерная растительность на КСМР не видна.
С 2004 года по 2013 год	Распространены пионерные мелкотравные и пионерные травяно-кустарничковые ( <i>Epilobium alpinum</i> , <i>Myricaria davurica</i> , <i>Castilleja pallida</i> ) в низкой пойме и ивовые ( <i>Salix sp.</i> ) сообщества (далее ИС) в высокой гривистой пойме. Среди ИС на месте края ледника в 2004 году встречен первый экземпляр лиственницы высотой около 1 м. На КСМР можно наблюдать однородные пятна красно-бурого цвета – стелящиеся ИС, и разреженные «комковатые» зеленые пятна – пряморастущие кустарники.
С 1968 года по 2004 год	Также распространены пионерные мелкотравные, травяно-кустарничковые и ИС, однако доля вторых в общей площади значительно возрастает. По мере продвижения вниз по долине увеличивается проективное покрытие видов (с 10% до 30%).
С МЛП (1850 год) по 1968 год	Выделены три типа растительных сообществ: 1) пионерные травяно-кустарничковые и ИС (описаны выше). 2) разреженные ИС с единичными лиственницами. 3) сомкнутые ИС с единичными лиственницами. Вторые два типа растительных сообществ приурочены к концу языка ледника на максимум МЛП, первый тип тяготеет к боковым валам. Ивы генерально можно разделить на стелящиеся кустарники (в пойме и на невысоких частично размытых моренных валах), и пряморастущие (на склонах моренных валов). Проективное покрытие кустарничкового яруса возрастает от 10-30% в пионерных сообществах, до 60-70% в разреженных



ивнях, и более 70% в сомкнутых ивнях. На КСМР разреженные ИС выделяются более насыщенным и однородным зеленым цветом по сравнению с пионерными ИС, текстура однородная. Сомкнутые ИС с листовницами имеют еще более темный зеленый цвет с пятнами теней отдельно стоящих листовниц.
--

Основные полученные выводы представлены в таблице. Молодые морены вблизи ледника подвергаются размыву и переработке талыми текучими водами, что влияет на распространение растительности и дифференциацию ее в зависимости от увлажнения и рельефа.

Работа поддержана грантом РФФИ № 22-67-00020.

Список литературы:

1. Ganyushkin D., Bantsev D., Derkach E., Agatova A., Nepop R., Griga S., Rasputina V., Ostanin O., Dyakova G., Pryakhina G. et al. Post-Little-Ice Age Glacier Recession in the North-Chuya Ridge and Dynamics of the Bolshoi Maashei Glacier, Altai // Remote Sensing. 2023. Vol. 15, 2186. <https://doi.org/10.3390/rs15082186>

**Современный рост снегонакопления в районе станции Восток (Центральная Антарктида) беспрецедентен за последние 2000 лет**

Екайкин А.А., Верес А.Н.

ФГБУ «ААНИИ»

ekaykin@aari.ru

По данным изучения нескольких фирновых кернов в районе станции Восток нам удалось реконструировать изменчивость скорости снегонакопления за последние 2200 лет. Показано, что до начала 19 века этот параметр испытывал тенденцию к понижению, а среднее его значение составляло около 18 мм в.э./год. В начале 19 века скорость аккумуляции начала резко увеличиваться, достигнув к настоящему моменту 22,5 мм в.э./год. Этот вывод подтверждается данными инструментальных наблюдений на снегомерном полигоне станции Восток. Рост скорости снегонакопления (количества осадков) объясняется повышением температуры воздуха, причем чувствительность аккумуляции к температуре составляет 2,4 мм в.э./°С (11%/°С). Полученные результаты могут быть использованы для прогноза реакции Антарктического ледяного щита на дальнейшее повышение температуры воздуха в Южном полушарии.

## **Моделирование баланса массы ледников Эльбруса с 1984 по 2022 с помощью физико-математической модели с распределенными параметрами**

Н. Э. Елагина <sup>1</sup>, Е. П. Рец <sup>2</sup>, И. А. Корнева, И. И. Лаврентьев <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт Географии Российской Академии Наук;

<sup>2</sup> Институт Водных Проблем Российской Академии Наук

nelly.e.elagina@gmail.com

Баланс массы горных ледников напрямую зависит от метеорологических переменных служит хорошим индикатором изменения климата. Гора Эльбрус - самая высокая на Кавказе (5642 м н. у. м.) с общим ледниковым покровом ~109 км<sup>2</sup> в 2017 г., или ~10% от общего ледникового покрова Кавказа и Ближневосточного региона. С ледниками Эльбруса связано развитие рекреации. Сток рек, берущих начало на ледниках Эльбруса, используется для орошения сельскохозяйственных земель на недостаточно увлажненных равнинах Предкавказья.

В работе проводится реконструкция баланса массы ледниковой системы Эльбруса с 1984 по 2022 год с помощью физико-математической модели с распределенными параметрами A-Melt, разработанной Е. П. Рец. Модель основывается на уравнениях теплового баланса и позволяет рассчитать компоненты баланса массы в каждом узле заданной пространственной сетки. В работе также оценивается чувствительность баланса массы к изменению основных метеопараметров, таких как температура воздуха и количество осадков. Результаты моделирования показали, что кумулятивный баланс массы ледниковой системы Эльбруса составил более 35 м в. э., причем с 2004 года баланс массы находится в стабильно отрицательном состоянии. Наибольшие потери массы демонстрируют ледники, ориентированных на восток и юг. Баланс массы ориентированного на восток ледника Джикиуганкез (28% всего объема льда ледниковой системы Эльбруса) уменьшался с наибольшей средней скоростью (-1,3 м в.э. год<sup>-1</sup>). В работе впервые получены о характере и паттернах распределения снежного покрова на площади всей ледниковой системы.

Подход к моделированию баланса массы был разработан в рамках темы № FMWZ-2022-0001 Государственного задания ИВП РАН и гранта РНФ «Развитие параметризации горного оледенения для моделей земной системы» № 23-17-00247.

## Интеллектуальная система поддержки принятия решений об уровне лавинной опасности

Есиков Я. Г.

АО «Минимакс-94»

Резюме: предложена концепция интеллектуальной системы поддержки принятия решений об уровне лавинной опасности. Проведены испытания отдельных функциональных блоков. Показана реализуемость и применимость подхода для задач противолавинных служб.

В настоящее время «важнейшим фактором, влияющим на точность прогнозов и скорость их представления, является опыт конкретного специалиста службы лавинной безопасности» [1, с.246]. Для составления заключения об уровне лавинной опасности специалист может использовать личные наблюдения, данные, собранные из различных источников и специализированное программное обеспечение (далее – ПО). Автор данной статьи имел удовольствие в 2013-2015 гг. пользоваться АРМ (автоматизированным рабочим местом), созданным под руководством П.А. Черноуса. Первичная информация о принципах работы этого ПО указана в [2, с. 72-75]. АРМ учитывает постоянные и переменные факторы лавинообразования. Это позволяет осуществлять мониторинг обширной территории (рис).

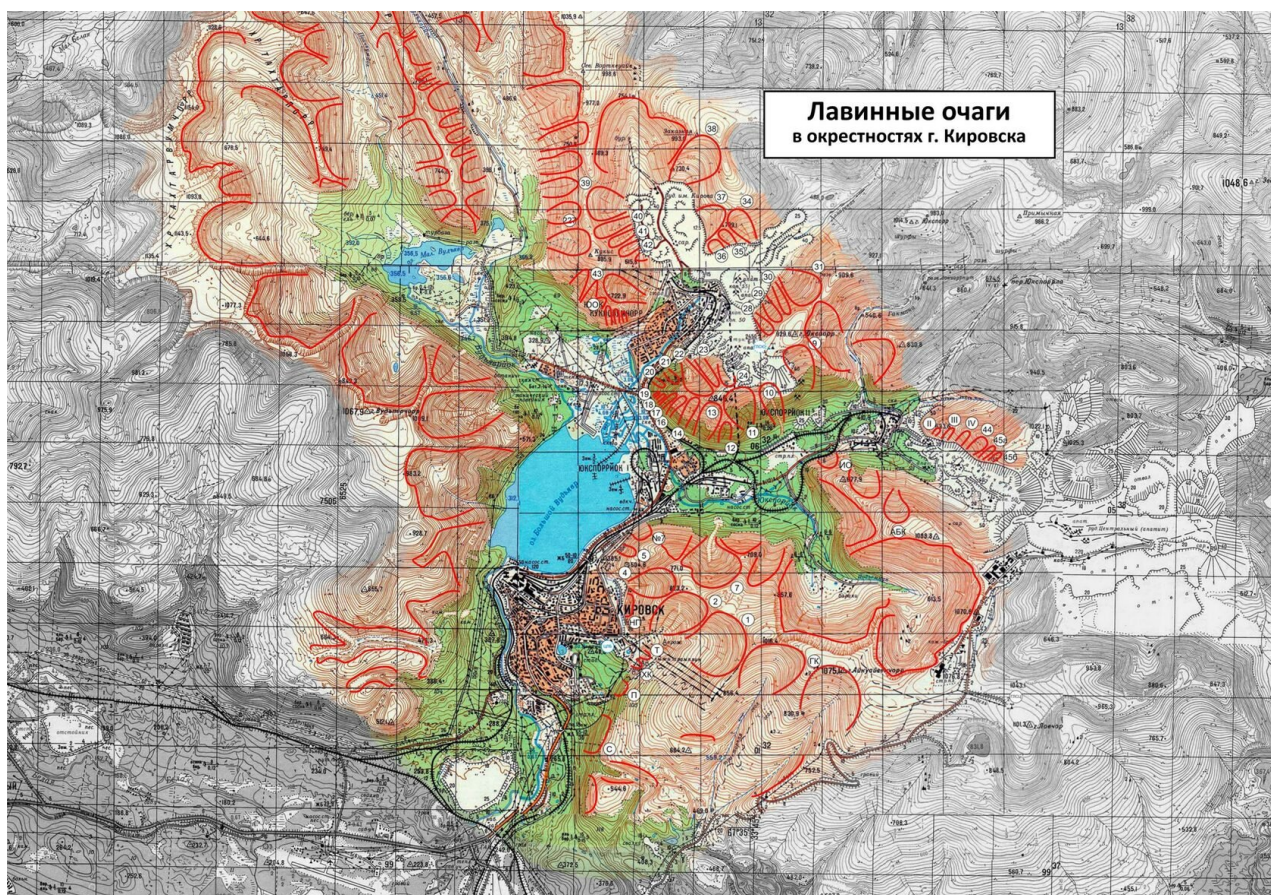


Рисунок. Схема лавинных очагов в районе г. Кировска

Однако, у любого специализированного ПО есть недостаток: им пользуются только профильные специалисты, а менеджерский состав организаций не имеет к нему никакого отношения. Проблему разрыва коммуникаций позволяет решить предлагаемая нами

интеллектуальная система поддержки принятия решений об уровне лавинной опасности (ИСППР).

Мы имеем успешный опыт решений аналогичных проблем в других отраслях. Так, нами была создана автоматизированная система метеорологического обеспечения (далее – АСМО) «ЦУСАД». ЦУСАД расшифровывается как центр управления содержанием автомобильных дорог. Системой пользуются специалисты и руководители Росавтодора почти на всей территории России. Внедрение ЦУСАД позволило на 15-30 % сократить число ДТП по регионам, сохранить жизнь и здоровье 3-5 человек на каждые 100 км, снизить число используемой спецтехники на 15 %.

Опираясь на этот опыт, мы сформулировали цель работы: предложить цифровую платформу для взаимодействия между специалистами противолавинных служб и управленческим звеном.

Задача работы: убедиться в жизнеспособности метеооборудования и ПО производства АО «Минимакс», непрерывности сбора, передачи и визуализации данных.

Структура ИСППР: метеооборудование, ПО, система питания, каналы связи.

Методика работы: изготовление оборудования, в том числе и специального, разработка ПО, установка датчиков, обеспечение питанием. Некоторые датчики дублировали с целью оценки работоспособности и адекватности показаний. Часть технологий отбросили. Например, мы убедились в том, что измерения высоты снежного покрова при помощи ультразвукового датчика не дают стабильных значений.

В сезон 2022-2023 гг. были получены первые положительные результаты работы. Опытную эксплуатацию проходили четыре метеостанции в разных регионах (Хибины, Кавказ, Кузнецкий Алатау). Мы убедились в жизнеспособности метеооборудования, обеспечили непрерывный сбор и передачу метеоданных.

Дальнейшее направление проводимой нами работы заключается в опытной эксплуатации метеостанций и ПО в сезоне 2023-2024 гг. Число пилотных станций увеличится до 6-8. Учёт метелемерных наблюдений, вероятно, будет осуществлён путём интеграции импортных метелемеров в работу ИСППР в 2024-2025 гг.

Автор благодарит за огромное количество ценных советов Павла Александровича Черноуса, Александра Валерьевича Волкова и Максима Анатольевича Панкова.

#### Литература

1. Пупцев Р.И. Разработка системы автоматизированного составления прогноза лавинной опасности с применением современных систем ИКТ и аппарата нейрокognитивных архитектур // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2022. Т. 4. Вып. 3. С. 244-254. DOI: 10.34753/HS.2022.4.3.244.
2. Мокров Е.Г., Перликов А.М., Черноус П.А. Автоматизированное рабочее место прогнозиста снежных лавин // Материалы гляциологических исследований. 1998. Вып. 84. С. 72-75.

## Непрерывные температурные измерения у ледника Северный Перетолчина (Восточный Саян)

Иванов Е.Н.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, ego190@bk.ru

Ледник Северный Перетолчина расположен на склоне высочайшей вершины горной системы Восточный Саян – Мунку-Сардык (3491 м. над ур. м.). В настоящее время представляет собой присклоновый ледник площадью 0,28км<sup>2</sup>и длиной около 800 м. Верхняя граница практически выходит на саму вершину и перевал. Нижняя граница открытой части в 2022 году зафиксирована на высоте чуть ниже 3000м над ур. м. Зона аккумуляции представляет собой узкую полосу в верхней части шириной до 100 м. В научной литературе ледник впервые охарактеризован в 1906 году [1]. С 1906 года ледник сократился на 66% по площади, на 46% в длину и на 73% в объеме (до 0,007 км<sup>3</sup>) [2].

Ближайшая к вершине Мунку-Сардык метеостанция расположена в 20 км южнее 2200 метров ниже, в п. Монды. Для измерения влияния температурного фактора на функционирование ледника Северный Перетолчина и окружающих геосистем с 2008 года устанавливается сеть температурных датчиков – термохронеров [3]. Сейчас датчики установлены на 8 высотных уровнях. На вершине и вдоль ледника датчики размещены у поверхности. Ниже ледника – на «метеорологической» высоте 200 см. Устройствам обеспечен естественный уровень влажности и затененности. Шаг измерений датчиков -4 часа. Показания снимаются ежегодно летом и включаются в единый временной ряд.

На уровне современного конца языка ледника на высоте 2900 м. над ур. м., в дополнение к установленному в 2013 г. термохронеру, продолжается ежегодная фиксация показаний минимального термометра, заложенного в 1900 году С.П. Перетолчиным, «заверяя» друг друга (табл. 1).

Таблица 1. Осредненные значения минимальной температуры у конца языка ледника Северный Перетолчина по периодам.

Период	Cp.tmin°С
1900-1907 (первые измерения)	-34,58
2006-2013 (возобновление ежегодных измерений)	-34,63
2014-2022 (измерения с параллельной заверкой термохронером)	-31.83

Осредненные экстремумы минимальной температуры по периодам схожи. Относительное «потепление» последнего периода вызвано 2021-2022 годами, когда минимальная температура не опускалась ниже -27.1°С.

С 2021 г. датчик установлен непосредственно на вершине Мунку-Сардык. Сравнение первичных данных по высотным уровням уже позволяет видеть разницу температурного режима на высотных уровнях, в том числе температурную инверсию по высотным уровням. Так, за период с июля 2021 по июль 2022 г. средняя температура на вершине – -10.5°С, вблизи нижней части языка - -6.9°С. При этом осредненная температура периода аккумуляции ледника, когда выпадали только твердые осадки (с сентября по май) составила на вершине - 15.5°С, у нижней границы -13.2°С, а периода абляции (июнь-август) соответственно, + 2.0 и +5.5°С. По-видимому, температурный фактор не является основным для таяния этого ледника. Не менее важны осадки, а также запас холода, накапливаемый в зимнее время, обуславливающий инерционность ледниковых процессов. Такие измерения представляют основу для дальнейшего мониторинга, а также служат важной сравнительной характеристикой для комплексных исследований данного горного района.

1. Перетолчин, С.П. Ледники хребта Мунку-Сардык // Известия Томск. техн. ин-та. – 1908. – Т.9. – С.1-47.

2. Kitov A. D. et al. Georadar Monitoring of the Peretolchin Glacier (Eastern Sayan) // Geography and Natural Resources. – 2020. – Vol. 41, No. 3. – P. 278-283.

3. Иванов, Е. Н. Современные методы наземного изучения горных ледников юга Восточной Сибири // Известия ИГУ. Серия: Науки о Земле. – 2018. – Т. 25. – С. 54-65.

## **Современное состояние ледника Федченко**

А.К. Каюмов

Академик МАНЭБ, профессор, директор Государственного научного учреждения «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана»  
abdkaumov@mail.ru

Цель исследования – оценить современное состояние ледника Федченко в условиях изменения климата.

Была проведена оценка состояния ледника Федченко за период 1977-2020 годов с помощью снимковых спутников Landsat – 2, 7 и Sentinel – 2А, а также был проведен ретроспективный анализ с 1933г. Научная новизна работы заключается в том, что за последние 50 лет впервые проводится подробное описание ледника и его состояние в ходе глобального потепления, что позволяет определить стратегии и перспективы исследования на л. Федченко. В статье показано, что в зоне абляции наблюдается серьезная деградация и выявляются крупные ледниковые озера. Прогнозы на основе моделей вызывают озабоченность. Автором подчеркивается, что необходимо возобновить систематические экспедиционные и стационарные изучения ледника Федченко.

**Баланс массы ледника Зулмарт (№139) в условиях изменения климата**  
А.К.Каюмов, Х.К.Кабутов, Т.Сакс  
Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников Национальной  
академии наук Таджикистан  
abdkaumov@mail.ru

Целью работы является определение годового баланса массы ледника №139 за период 2018-2022 гг. Полученные результаты показывают, что Наибольшая абляция наблюдается на высотах 4600-4700 м. где в среднем составляет 1500мм. водного эквивалента, а на высоте 5000 метров в среднем абляция ледника составляет 200мм в.э.

Результаты измерения за период 2018-2022 гг. показал, что баланс массы ледника Восточного Зулмарта отрицательный, в среднем -250мм в.э, а наибольшее значение (-310мм в.э.) наблюдали в 2021-22 гг.



## **Анализ формирования селевого потока в селение меденвед шахдаринского района, ГБАО, Таджикистан в июле 2023**

А.К. Каюмов

Академик МАНЭБ, профессор, директор Государственного научного учреждения  
«Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана»  
abdkaumov@mail.ru

Сели – одно из характерных явлений природы, свойственных Памиру. Здесь они широко распространены и оказывают всестороннее воздействие как на самого человека, так и на домохозяйства и социальные объекты. На Памире селевые потоки формируются в результате выпадения обильных осадков и прорыва ледникового озера. В последние годы практически все селевые потоки относятся к ледниковому происхождению.

По данным средства массовой информации в июле 2023 года в выше села Меденвед Рошткалинского района ГБАО на высоте 3500 и выше метров произошел прорыв ледникового озера и сформировался катастрофический селевой поток, что стало причиной серьезного материального ущерба.

Цель данной работы является определение источника и характера формирования селевого потока в селение Меденвед Рошткалинского района ГБАО.

Анализ сумм месячных осадков в период с 2019-2023 гг., свидетельствует о критическом росте осадков в период первого полугодия 2023 г., во всех исследуемых зонах по высотам относительно прошлых лет. Одним из причин селеобразования могут быть катастрофическое накопление снега и резкое потепление температуры воздуха в исследуемых зонах формирования селевого потока.

По данным каталога ледников СССР и дистанционного зондирования в зоне формирования селевого потока отсутствуют ледники и ледниковые озера.

## Оценка и картографирование лавинного риска на северной ветке Транскавказской автомагистрали через Рокский перевал (Северная Осетия – Алания)

А.М. Керимов, З.Т. Акшаяков, О.А. Курашева

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Высокогорный геофизический институт» (ФГБУ «ВГИ»)

kerimov.a.m@mail.ru

Лавинный риск представляет собой вероятную характеристику взаимодействия лавины и человека и определяется возможными людскими, материальными и социально-экономическими потерями, которые возникают в результате разрушительного воздействия лавин и их снеговоздушных волн. Заблаговременные прогнозирование и оценка лавинного риска важны для обоснования экономической целесообразности создания в горных и предгорных районах добывающих и перерабатывающих предприятий, строительства и эксплуатации производственных и жилых комплексов, транспортных коммуникаций (железных и автомобильных дорог, линий электропередач, связи и трубопроводов), развития туризма и пр.

Не смотря на актуальность предлагаемой темы, до настоящего времени всё ещё не рассчитана величина лавинного риска для рассматриваемого объекта. В настоящее время – эта магистраль является единственной дорогой связующей Южную Осетию с Северным Кавказом и называется «Дорогой жизни».

В данной работе определен лавинный риск и построена электронная карта-схема лавинного риска для 200 лавиносборов, угрожающих северной ветви автомагистрали через Рокский перевал. Для расчета риска использована формула (1) предложенная авторами [1].

$$R_{mf} = a \cdot m \cdot k \cdot w \cdot (l / u) \cdot q \cdot j \quad (1)$$

$R_{mf}$  – показатель коллективного риска, жертв/ год;

$R_{ind}$  – индивидуальный риск, 1/ год ( $R_{mf} / D$ ,  $D$  – количество людей на опасном участке);

$a$  – доля лавиноопасного времени в графике транспорта, б/ р;

$k$  – вероятность достижения дороги лавинной б/ р;

$w$  – повторяемость лавин, 1/ год;

$m$  – число лавиносборов с одинаковой повторяемостью лавин на рассматриваемом участке, б/ р;

$l$  – длина опасных участков, км;

$u$  – средняя скорость транспорта на участке, км/ час;

$q$  – среднее число пассажиров в усреднённом транспортном средстве, чел.;

$j$  – поток автомобилей, 1/ час.

На рисунке приводится электронная карта-схема индивидуального лавинного риска для ТрансКАМа. Для составления карто-схемы лавинного риска использована программа «GoogleEarthPro»

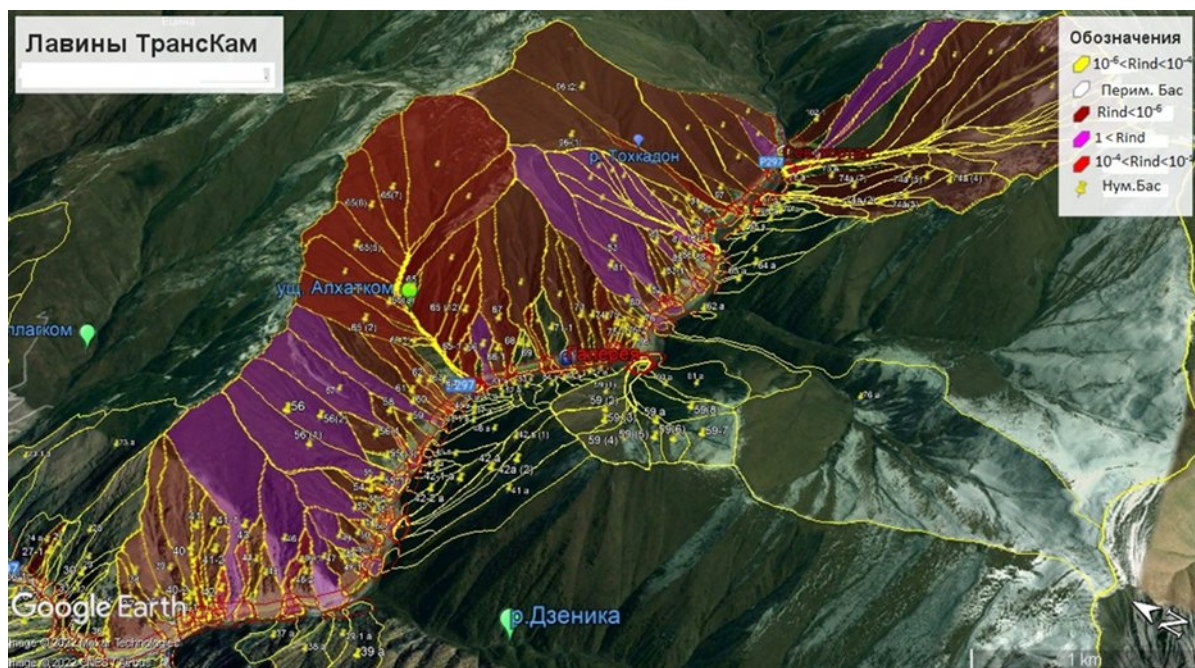


Рисунок –Электронная карта-схема индивидуального лавинного риска для ТрансКАМа

Проведено ранжирование полученных результатов оценки риска и построены электронные карты-схемы лавиносборов.

#### Литература

1. Андреев Ю.Б., Божинский А.Н., Жигульский А.А. Оценка и прогноз лавинного риска для транспортных коммуникаций, производственных и жилых комплексов в горах // МГИ. 2000. Вып. 88. С. 140–144.

## **Пространственно-временная изменчивость аккумуляции снежного покрова на Западном плато Эльбруса (Центральный Кавказ)**

Т.Д. Киселёва, И.И. Лаврентьев

Институт географии РАН

milkyclimb@gmail.com

Летом 2017 года гляциологи Института географии РАН выполнили высокочастотную наземную радиолокационную съёмку на Западном ледниковом плато Эльбруса (Центральный Кавказ) на высоте 5080–5150 м. Измерения проводились с помощью георадара ЗОНД (с антеннами 300 и 500 МГц) для оценки пространственного и временного снегонакопления в привершинной области Эльбруса за последние ~30 лет. Результаты совместного анализа неглубокого керна (24 м) и радарограмм показали, что снежно-фирновая толща имеет выраженную слоистость, а анализ кривой вариации изотопов кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) позволил датировать керн и выделить сезоны летнего ( $\delta^{18}\text{O} > -15 \text{‰}$ ) и зимнего ( $\delta^{18}\text{O} < -15 \text{‰}$ ) снегонакопления.

К настоящему времени уже получены подробные карты распределения снегонакопления, охватывающие холодные и тёплые сезоны 2015–2017 гг. на глубине до 12 м. Данные измерений показали, что аккумуляция снега здесь характеризуется значительной изменчивостью, а также имеет сезонные различия. Анализ полей аккумуляции показал, что в средней части плато снега накапливается меньше, чем в восточной и западной, но распределение снега по площади плато аналогично из года в год. В тёплый период снегонакопление в среднем больше, чем в холодный, и происходит оно более равномерно по площади плато. Средняя толщина снега за период 2015-2017 гг. составляла в тёплых сезонах от 1,86 м до 2,76 м, в холодных ~1,67 м.

В настоящей работе в рамках диссертационного исследования автора, была продолжена обработка полученных ранее данных о толщине фирнового слоя на леднике Западного плато до глубины ~25 м, что соответствует горизонтам, образовавшимся здесь в 2011 г. Таким образом, база данных по аккумуляции на Западном плато пополнилась 5 годами, или 10 сезонами, что позволит построить детальные карты распределения мощности фирнового покрова, провести детальные сравнения с данными из двух глубоких скважин 2009 и 2018 гг. и выявить особенности снегонакопления в привершинной области Эльбруса за последнее десятилетие.

Работа выполняется в рамках Мегагранта (соглашение № 075-15-2021-599 от 08.06.2021 г.).

## **Исследование применимости существующих расчетных методик для оценки устойчивости ледника Колка и прогнозирования его катастрофических процессов**

Н.В.Коваленко, Д.А.Петраков, М.А. Коваленко  
Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
kovalko\_n@mail.ru

*Ледник Колка, гляциальная катастрофа, Кавказ, восстановление ледника, оценка устойчивости, прогноз катастрофических сценариев*

После гляциальной катастрофы, произошедшей в результате схода ледника Колка в бассейне реки Геналдон в Республике Северная Осетия-Алания (Россия) 20 сентября 2002 г. коллективом авторов настоящего доклада выполняются регулярные полевые наблюдения за темпами восстановления ледника, периодические топографические съемки, анализ и дешифрирование разновременных данных ДЗЗ, геофизические исследования. По результатам перечисленных работ собраны сведения об изменении площади и рельефа поверхности ледника в период 2002-2023 гг., частично сформированы представления о рельефе скального основания, оценены темпы восстановления ледника Колка. Восстановление Колки происходит стремительно (за оцененный период с 2002 по 2019 гг. в цирке Колки накопилось около 50 млн.м<sup>3</sup> льда, что составляет практически половину от объема ледника перед катастрофой 2002 г.). Характерно, что это наблюдается на фоне неблагоприятных для оледенения Кавказа погодных условий и резко контрастирует с поведением других кавказских ледников, испытывающих быстрое сокращение.

В данном контексте весьма актуальной задачей представляется оценка устойчивости наблюдаемого ледового массива и взаимосвязь его параметров в разные годы эволюции с изменениями устойчивости.

Существующие математические подходы к расчету устойчивости массивов на склонах, получившие свое развитие преимущественно в инженерной отрасли, сводятся, в основном, к вычислению коэффициента устойчивости, который характеризуется отношением сил, удерживающих массив на наклонной поверхности к силам, сдвигающим этот массив.

Все расчетные методы основаны на применении теории предельного равновесия, рассматривающего предельное напряженное состояние массива, что, по мнению авторов, делает их применимыми и для оценки устойчивости ледника Колка и прогнозирования его возможного схода по мере набора им своего предкатастрофического объема.

В результате сопоставления и анализа физико-математических основ расчетных методик и проведения пробных расчетов для параметров ледника, наблюдавшихся в период, предшествующий его катастрофической подвижке, удалось сформировать основные подходы и выделить приоритетные методы для проведения последующих расчетов для периодов наблюдений за восстановлением ледника разных лет. Верификация опробованных расчетных методик основывалась на представлении о том, что накануне катастрофы для заданных расчетных параметров модели значения коэффициентов устойчивости должны были быть близкими к единице, то есть к состоянию предельного равновесия.

## **Оценка поступления и распределения ртути и других микроэлементов в снежном покрове на территории г. Барнаула.**

Л.В. Колотушкина\*, С.С. Эйрих, Т.Г. Серых, Т.С. Папина  
Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия  
\*lilichkashol661@gmail.com

Содержание токсичных элементов в снежном покрове отражает загрязнённость атмосферного воздуха в зимний период. Снежный покров обладает высокой способностью к поглощению и накапливанию загрязнителей, что делает его идеальной матрицей для наблюдения за атмосферными осадками.

В период максимального снегонакопления в течение пяти лет с 2018-2023 гг. проводился отбор проб интегрального снежного покрова на территории г. Барнаула (Алтайский край) для исследования его микроэлементного (Be, Cd, Pb, V, Hg и As) состава, отражающего антропогенное поступление загрязняющих веществ из атмосферы. Микроэлементы As, Be и Hg преимущественно поступают в атмосферу при сжигании угля и нефти, Pb и Cd – в результате промышленных выбросов, а V – как при ветровом переносе почв, так и с выбросами от предприятий электроэнергетики.

Концентрацию общей ртути в образцах определяли атомно-флуоресцентным методом на ртутном анализаторе («MercurDUOPlus») в соответствии с методикой US EPA 1631e, а содержание остальных микроэлементов (Be, Cd, Pb, V и As) методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ThermoFisher Scientific, iCAP-Qc).

В холодный период в течение пяти лет с 2018-2023 гг. в снежном покрове г. Барнаула наибольшие концентрации элементов выявлены в городской транспортно-нагруженной территории, а также в его промышленной зоне. Содержание элементов в снежном покрове частного сектора ниже, чем в транспортно-нагруженной городской зоне. Минимальные концентрации элементов определены на территории незагрязненных (фоновых) площадок. Для репрезентативной оценки уровня загрязнения снежного покрова были рассчитаны средневзвешенные концентрации, в холодные периоды в течение пяти лет, которые учитывают количество осадков, выпадающих на подстилающую поверхность. За исследуемый период отмечено увеличение средневзвешенных концентраций металлов в 2022/23 году (в 2 раза для Pb и Hg, в 4 раза для V и As, более, чем в 6 раз для Be и Cd) по сравнению с минимальными концентрациями предыдущих лет. Для оценки трендов поступления загрязняющих веществ рассчитаны среднегодовые потоки осадочения элементов для городской территории, а также для фоновых площадок. Так, среднегодовые потоки As, Pb и Cd на фоновых территориях меньше городских в 2 раза, а потоки V, Be и Hg – в 4 раза.

## Характеристики ледникового питания рек

В.Г. Коновалов

Институт Географии РАН

vkonovalov@igras.ru

Глобальные и региональные оценки многолетнего гидрологического режима крупных совокупностей горных ледников необходимы для анализа эволюции оледенения, в исследованиях влияния изменений климата на водные ресурсы рек снегово-ледникового типа питания, для совершенствования прогнозов стока и проектов водопользования. Специфика проблемы обусловлена дискретностью расположения в речных бассейнах индивидуальных ледников в широком высотном и пространственном диапазоне. Значительной трудностью для оценки ежегодных изменений ледникового стока является отсутствие данных регулярного мониторинга высотно-площадных характеристик оледенения с временным разрешением, адекватным сетевым метеорологическим и гидрологическим наблюдениям. В этой ситуации пространственно-временные параметры гидрологического режима оледенения в речных бассейнах могут быть получены только расчетными методами. В настоящем исследовании изложены решения следующих задач:

1. Разработать новый метод расчета годового объема ледникового питания в условиях многолетних изменений гляцио-климатических факторов стока и ограниченной информации о высотно-площадных параметрах оледенения.

2. Оценить репрезентативность результатов расчета составляющих уравнения годового водного баланса.

Результаты использования описанной методики расчета составляющих уравнения годового водного баланса свидетельствует о ее пригодности для применения в других речных бассейнах Центральной Европы, относящихся к снегово-ледниковому типу формирования стока. Это бассейны рек Рона, По, Инн, Дунай и других, где имеются данные неоднократной каталогизация оледенения и многолетние метеорологические наблюдения для построения зависимостей характерных сумм осадков и средних значений от высоты местности, а также неискаженные измерения месячных объемов стока на гидропосту, замыкающем площадь выбранного водосбора.

## **Влияние климатических факторов на сокращение оледенения Камчатки**

И.А.Корнева<sup>1</sup>, П.А.Торопов<sup>1,2</sup>, А.Я. Муравьев<sup>1</sup>, М.А. Алешина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт Географии РАН,

<sup>2</sup>Географический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

comissa@mail.ru

В работе представлены основные климатические факторы, которые привели к сокращению оледенения полуострова Камчатка. Показано, что ледники северной части Срединного хребта с 1950 по 2016-2017 гг. сократились на 125 км<sup>2</sup> или 35.6%. При этом средняя скорость их сокращения в период с 2002 по 2016-2017 гг. (1,45%/год) увеличилась примерно в 4.3 раза по сравнению с периодом 1950–2002 гг. (0,34%/год). Наибольшее сокращение наблюдается у мелких ледников с площадью менее 0.1 км<sup>2</sup> и у ледников юго-восточной и южной экспозиций, а также в высотном поясе 1200–1800 м. На Кроноцком полуострове сокращение площади ледников за 1957–2019 гг. составило 32.1 км<sup>2</sup> (35.6%), причем скорости были практически одинаковы в периоды 1957–2000 гг. (0,61%/год) и 2000–2019 (0,67%/год) гг.

По данным метеостанций и реанализа ERA5 показано, что на территории полуострова за период 1950-2020 гг. произошло небольшое повышение температуры воздуха в летний сезон (до 0.3°C/10 лет) и значительное уменьшение осадков в зимний сезон (до 10%/10 лет) в некоторых районах. Обнаружен также существенный рост радиационного баланса и количества облачности в летние месяцы. Это хорошо согласуется с ростом геопотенциала над северной частью Тихого океана в теплый сезон в XXI веке и ростом дивергенции ветра в средней тропосфере и усилением нисходящих движений воздуха, что свидетельствует об увеличении повторяемости антициклонов над регионом.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 22-17-00159 и темы государственного задания Института географии РАН № FMGE-2019-0004.



**Реконструкция изменений климата и состава атмосферы за последнюю тысячу лет по данным ледникового керна Восточной вершины Эльбруса.**

С. Кутузов<sup>1,2</sup>, Э. Томас<sup>3</sup>, В. Михаленко<sup>1</sup>, Д. Владимирова<sup>1,3</sup>, И. Строусон<sup>3,4</sup>, Д. Тецнер<sup>3</sup>, Д. Хамби<sup>3</sup>, Т. М. Дженк<sup>5</sup>, М. Швиковски<sup>5</sup>, Г. Черняков<sup>1</sup>, А. Хайрединова<sup>1</sup>, М. Воробьев<sup>1</sup>, М. Виноградова<sup>1</sup>, И. Лаврентьев<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Институт географии РАН, Москва, Россия; <sup>2</sup>Исследовательский центр по изучению полярных и климатических изменений имени Бёрда, Колумбус, Огайо, США; <sup>3</sup>Британская антарктическая служба, Кембридж, Великобритания; <sup>4</sup>Кафедра геологических наук, Университет Кембриджа, Великобритания; <sup>5</sup>Институт Поля Шеррера, Виллиген, Швейцария.  
s.kutuzov@gmail.com

В августе 2020 года был получен ледниковый керн длиной 96,1 м до ложа на восточной вершине Эльбруса на Кавказе (42°20'50" с.ш., 42°27'15" в.д., 5600 м). Это наивысшее возможное местоположение для бурения ледниковых кернов на европейском континенте. Точка бурения находится в центре вулканического кратера с максимальной глубиной 100 метров. Температура в скважине на глубине 15 метров составила -15°C, а замыкание пор происходит на глубине всего 18 метров. Ледниковый керн был проанализирован с использованием системы непрерывного анализа (CFA) в Британской антарктической службе на содержание изотопов  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ , микрочастиц,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  и  $\text{CH}_4$ , с дополнительным исследованием 120 дискретных образцов на электронном сканирующем микроскопе (SEM). Дополнительные исследования образцов методами ионной хроматографии и микроэлементного анализа были проведены в новой лаборатории ледниковых кернов в ИГРАН. Определение возраста проводилось с использованием радиометрических методов ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^3\text{H}$ ) и трехмерного моделирования течения льда. Слои льда на глубине 10 м в.экв. образованы в 1820 г. ( $\pm 20$  лет). Для расчета возраста использовалась также модель Elmer/Ice. По данным моделирования, возраст льда на глубине 75 метров составил 882 - 1176 лет.

Это первый ледниковый керн возрастом более 1000 лет, полученный на Кавказе. Данные включают изменения  $\delta^{18}\text{O}$ , пыли,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  и метана впервые на для европейского континента.

## Новые данные о толщине ледников в горах Таджикистана

### (Восточный Памир, Фанские горы)

И.И. Лаврентьев<sup>1</sup>, А.М. Смирнов<sup>1</sup>, Ф. Восидов<sup>2</sup>, А. Халимов<sup>2</sup>, Х. Кабутов<sup>2</sup>, Наврузшоев Х.<sup>2</sup>,  
Майлс Э.<sup>3</sup>, Сакс Т.<sup>4</sup> и Барандун М.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>-Институт географии Российской академии наук, г. Москва; <sup>2</sup>-Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе; <sup>3</sup>- Швейцарский федеральный институт по изучению лесов, снега и ландшафтов (WSL), г. Цюрих; <sup>4</sup>-Университет г.

Фрибург, Швейцария

lavrentiev@igras.ru

Летом 2023 г. сотрудники отдела гляциологии Института географии РАН совместно с коллегами из Фрибургского университета (Швейцария), Швейцарского федерального исследовательского института по изучению лесов, снега и ландшафтов (WSL) и Центра изучения ледников НАНТ (Таджикистан) приняли участие в нескольких экспедициях в горах Центральной Азии (Фанские горы (Алайский хребет), Памир). Основной целью исследований было проведение георадиолокационной съёмки для измерения толщины ледников. С этой целью были посещены 4 ледника, расположенные в разных горных районах Таджикистана.

18-29 июля наземные георадиолокационные измерения толщины льда были проведены на двух небольших ледниках в Алайском хребте (Фанские горы): Якарча площадью ~1.2 км<sup>2</sup> и ГГП площадью 0.5 км<sup>2</sup>. Ледники расположены в верховьях долин в высотном диапазоне 3500-4500 м. В общей сложности за три дня работ на ледниках было пройдено ~9 и 4.5 км радиолокационных профилей, соответственно, практически на всей доступной области ледников. Предварительная обработка радарограмм показала, что максимальная толщина льда здесь достигает 110 и 65 м, соответственно.

10-17 августа была проведена радиолокационная съёмка ледников Зулмарт на Восточном Памире и №457 на Южном Памире. Эти ледники расположены на высотах 4600-5500 м и занимают по площади 4 км<sup>2</sup> и 1,3 км<sup>2</sup>, соответственно. На леднике Зулмарт было пройдено 8,5 км профилей в область абляции. По предварительной оценке, максимальная измеренная толщина льда здесь достигает 130 м. На леднике №457 измерения были выполнены вдоль 5,5 км профилей, которые покрыли практически всю площадь ледника, включая область аккумуляции. Максимальная измеренная толщина льда здесь достигает 150 м, что практически вдвое превышает модельную оценку, проведённую ранее.

Подобные исследования в горах Центральной Азии и особенно на Памире весьма актуальны в связи с использованием водных ресурсов ледников в регионе, а также из-за практически полного отсутствия данных о толщине ледников, необходимых для большого количества прикладных задач.

Одним из важных критериев для выбора данных объектов для измерений стало их участие в программе масс-балансовых наблюдений, которые проводятся здесь в течение последних 5 лет (на ледниках Якарча и ГГП – также в 1960-70-е гг.). Использование всего комплекса доступных данных (баланс массы, толщина льда и подробные ЦМР поверхности ледников) позволят подробно рассматривать современную динамику как непосредственно этих ледников, так и оледенения на региональном уровне.

### **Гляциологические исследования на леднике ИГАН (Полярный Урал)**

И.И. Лаврентьев<sup>1</sup>, Г.А. Носенко<sup>1</sup>, В.Н. Михаленко<sup>1</sup>, А.Г. Хайрединова<sup>1</sup>, М.А. Воробьев<sup>1</sup>, М.М. Виноградова<sup>1</sup>, А.Н. Шеин<sup>2</sup> и М.Н. Иванов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт географии Российской академии наук, г. Москва<sup>2</sup> ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», г. Салехард; <sup>3</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Географический ф-т, г.

Москва,  
lavrentiev@igras.ru

В 2019-2023 гг. в рамках совместных научных исследований ИГ РАН (г. Москва) и Научного Центра изучения Арктики (г. Салехард) был проведён ряд гляциологических экспедиций на ледник ИГАН на Полярном Урале. Исследования проводились для оценки современного состояния и баланса массы ледника, а также для оценки долгосрочных трендов климатических изменений в данном регионе.

В 2019 и 2021 гг. здесь были выполнены подробные радиолокационные измерения толщины снега для оценки зимнего баланса массы. С 2018 г. сотрудниками Научного Центра изучения Арктики проводятся ежегодные съёмки ледника с помощью DGPS для оценки годового баланса массы ледника геодезическим методом. В 2021 г. на леднике была выполнена подробная радиолокационная съёмка толщины льда, по результатам которой были составлены карты толщины льда и рельефа ложа, рассчитан объём льда, а также выбрана оптимальная точка для глубокого кернового бурения ледника.

В апреле 2023 г. на леднике ИГАН был проведён комплекс геофизических и гляциологических исследований, которые включали радиолокационные измерения толщины снежного покрова (5 км профилей), балансовые наблюдения на леднике (забурены 4 абляционные рейки и измерена плотность снега в шурфе и неглубокой скважине), а также, впервые для Полярного Урала, пробурена скважина до ложа и получен ненарушенный ледниковый керн длиной 91 м. В настоящее время в лаборатории Палеоклиматических реконструкций ИГРАН проводится анализ ледникового керна с глубин 7, 20, 50, 80 и 90 м. Проанализировано количество твёрдых нерастворимых частиц на счётчике Коултера Multisizer 4e и содержание изотопов кислорода на анализаторе Picarro L2130- i. Также измерена концентрация общего органического углерода, что позволит рассчитать степень атмосферной нагрузки с аэрозолями органического углерода. Результаты экспедиционных исследований позволят получить новые знания об условиях существования ледника в прошлом и будут использованы для понимания возможных вариантов развития ситуации в будущем.

Исследования проводятся в рамках Мегагранта (Соглашение № 075-15-2021-599 от 08.06.2021 г.) и темы ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» «Прогноз деградации мерзлоты и технология автоматизированного контроля несущей способности мёрзлых грунтов под объектами капитального строительства»

## **Расширение гляциологических исследований на Эльбрусе в 2023 г.**

Лаврентьев И.И.<sup>1</sup>, Смирнов А.М.<sup>1</sup>, Киселёва Т.Д.<sup>1</sup>, Елагина Н.Э.<sup>1</sup>, Торопов П.А.<sup>1,2</sup>, Дроздов Е.Д.<sup>1,2</sup>, Абрамов А.А.<sup>1</sup> и Дегтярёв А.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, Москва

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва  
lavrentiev@igras.ru

Исследования ледников Эльбруса ведутся сотрудниками отдела гляциологии ИГ РАН с конца 80-ых годов прошлого века. Наиболее изученным ледником Эльбруса на данный момент является ледник Гарабаши, который отражает типичные нивально-гляциальные условия южного макросклона Эльбруса. С 2013 г. помимо масс-балансовых наблюдений на этом леднике ведутся регулярные метеорологические измерения. В 2023 г. здесь продолжено ежегодное измерение весеннего снеговзапаса, абляции, а также составлена актуальная ЦМР поверхности ледников с применением БПЛА для оценки общего геодезического баланса.

В летний полевой сезон 2023 г. параллельно с наблюдениями на леднике Гарабаши начаты работы на северно-восточном склоне вулкана – на леднике Микельчиран. Ранее масс-балансовые наблюдения здесь не проводились. В рамках экспедиции с 8 по 17 июня 2023 года на леднике Микельчиран была проведена стандартная снегомерная съёмка с помощью щупа (в 90 точках), забурены 8 абляционных реек и измерена плотность снега в шурфе. Также, на высоте 3900 м была установлена автоматическая метеостанция, которая функционировала параллельно с АМС, установленной на леднике Гарабаши.

Результат снегомерных работ выявил значительную пространственную неоднородность высоты снежного покрова на поверхности ледника Микельчиран. Отмечены участки как с нулевым снегонакоплением, так и с толщиной снега, превышающей 3.2 м. Сравнение параметров снегонакопления в июне 2023 г. с ледником Гарабаши показывает, что на южном макросклоне годовая аккумуляция в среднем на 1 м больше, чем на северном.

Синхронное измерение гляциологических и метеорологических параметров на противоположных склонах Эльбруса важно для сравнения динамики компонентов баланса массы общего ледникового кластера. Кроме того, это позволит выполнить относительную оценку влияния антропогенного воздействия на поверхность ледника. В связи с этим в ближайшие годы масс-балансовые наблюдения на ледниках Гарабаши и Микельчиран планируется проводить параллельно.

## **Комплексные гляциологические исследования на леднике Левый Актру (Алтай)**

Лаврентьев И.И.<sup>1</sup>, Смирнов А.М.<sup>1</sup>, Абрамов А.А.<sup>1</sup>, Ерофеев А.А.<sup>2</sup>, Копысов С.Г.<sup>2</sup>

Институт географии РАН, Томский Государственный Университет

lavrentiev@igras.ru

Первые инструментальные наблюдения за ледниками Алтая были начаты Томским университетом более 100 лет назад. Масс-балансовые измерения на ледниках Актру организованы в 1954 г. С 2019 сотрудники отдела гляциологии Института географии РАН совместно с коллегами из Томского университета ежегодно проводят комплексные гляциологические наблюдения на леднике Левый Актру, в которые входят: весенняя снегомерная съёмка, расстановка реек абляционной сети, шурфование снежной толщи и измерение плотности снега.

В 2023 году снегомерная съёмка проведена на максимальной за время совместной работы площади поверхности ледника в высотном диапазоне 2650-3650 м: 276 точек с величинами снегонакопления от 0,5 м до 5 м и более, в лёд забурены 10 абляционных реек. Этот год стал пятым в ряду совместных масс-балансовых наблюдений. В этот же период (2019, 2022 и 2023 гг.) была проведена подробная наземная радиолокационная съёмка толщины льда на всей доступной поверхности ледника, которая после финальной обработки позволит определить современный объём льда и выполнить сравнение с радарными данными 1990-х гг. для оценки сокращения ледника за прошедшие 30 лет.

Кроме гляциологического метода измерения баланса массы используется также геодезический метод. Для сравнения разновременных поверхностей ледника в 2023 г. была выполнена БПЛА-съёмка для составления подробной ЦМР на всю площадь ледника. Во-первых, сравнение полученной модели рельефа с локальными облётами 2021 г., а также с АФС ледников Актру 1950-70-х гг. позволит проследить динамику изменения ледника как по площади, так и в объёме. Во-вторых, эти данные необходимы для составления карты рельефа ложа ледника.

После перерыва в наблюдениях (2012-2019 гг.) масс-балансовые измерения на леднике Левый Актру ежегодно обрабатываются и отправляются во Всемирную службу мониторинга ледников (WGMS). Полученные прямые данные могут быть, кроме того, использованы для моделирования состояния ледника в современных климатических условиях и его дальнейшей динамики.

## **Сток воды и динамика каменных глетчеров северного Тянь-Шаня, Республика Казахстан**

Л.С. Лебедева<sup>1,2</sup>, В.В. Гончаренко<sup>1,2</sup>, В.М. Лыткин<sup>1</sup>, В. Капица<sup>2</sup>, Ж. Такибаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ул. Мерзлотная 36, Якутск, Россия; <sup>2</sup>Центрально-Азиатский Региональный Гляциологический Центр категории 2 под эгидой ЮНЕСКО, Алматы, Казахстан  
lyudmilaslebedeva@gmail.com

Целью работы было исследование динамики каменных глетчеров и стока ручьев с них в бассейне р. Большая Алматинка, северный Тянь-Шань, для оценки гидрологической значимости каменных глетчеров. В среднем скорость смещения поверхности каменного глетчера Моренного выше, чем Городецкого, что связано с его повышенной льдистостью. Выявленное увеличение скоростей смещения поверхности обоих глетчеров в 2021-2022 г. по сравнению с предшествующими годами согласуется с широко обсуждаемой идеей об интенсификации движения каменных глетчеров при современных изменениях климата и отступании ледников. Выявлено, что каменные глетчеры оказывают существенное влияние на водный режим, температуру и химический состав водотоков, формирующихся выходами воды из них. Они отличаются практически полным отсутствием внутрисуточных колебаний уровня, температуры и удельной электропроводности воды, которые ярко выражены в летний период у рек и ручьев с ледниковым питанием. Некоторые выходы воды из каменного глетчера Городецкого не перемерзают зимой, что говорит о значительных запасах подземных вод в его теле. Воды каждого из трех изученных каменных глетчеров отличаются характерной минерализацией, температурой и соотношением основных ионов. Стабильный сток с каменных глетчеров может играть важную роль в поддержании речного стока в периоды пониженной водности рек.

## **О связи газосодержания ледникового льда с условиями его образования**

В.Я. Липенков, Н.А. Тебенькова, В.А. Хомякова

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург  
lipenkov@aari.ru

Количество атмосферного воздуха, захваченного льдом в процессе рекристаллизационного льдообразования, определяется температурой, атмосферным давлением и пористостью ледяной породы в момент изоляции фирновых пор от атмосферы на границе фирна и льда. Благодаря зависимости газосодержания льда от атмосферного давления существует потенциальная возможность использования этой характеристики ледяных кернов в качестве палеобарометра для реконструкции изменений высоты ледниковых покровов в прошлом. Основной и до сих пор не решенной проблемой таких реконструкций является параметризация начальной пористости льда на границе фирн-лед. Для исследования различных факторов, которые могут влиять на формирование этого генетического признака ледяной породы, нами были собраны все имеющиеся на сегодняшний день данные о газосодержании молодого рекристаллизационного льда, добытые в 39 пунктах бурения в Антарктиде, Гренландии и на горных ледниках, включая результаты измерений, выполненных авторами по кернам 19-ти буровых проектов. Собранные данные позволили уточнить эмпирические зависимости газосодержания льда от высоты поверхности ледника и атмосферного давления, а также более детально исследовать связь пористости ледяной породы на границе фирн-лед с температурой, скоростью аккумуляции снега, местной инсоляцией и ветровой активностью в современную климатическую эпоху. На основе результатов проведенных исследований предложен новый подход к реконструкции прошлой высоты поверхности ледника по данным о газосодержании ледяных кернов, учитывающий сильную зависимость начальной пористости рекристаллизационного льда от летней температуры поверхности ледника.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант 23-27-00447.

## Высота границы питания на куполе Беллинсгаузен, Антарктика

Б.Р. Мавлюдов

Институт географии РАН, Москва, Россия

bulatrm@bk.ru

На основе анализа положения высоты границы питания (Equilibrium Line Altitude – ELA) на небольшом ледниковом куполе Беллинсгаузен на острове Кинг-Джордж (Ватерлоо) в Антарктике, полученной при наземных гляциологических исследованиях за период наблюдений 2007-2012 и 2014-2023 гг., была обнаружена хорошая связь между положением ELA и средней летней температурой воздуха (XII-II месяцы) с коэффициентом детерминации около 0,8. Исходя из предположения о стабильности этой связи и в прошлом, это позволило восстановить ход изменения положения ELA в течение всего периода инструментальных наблюдений на метеостанции Беллинсгаузен (с 1968 г.). Поскольку для некоторых лет были получены отрицательные значения положения ELA, что физически невозможно, их искусственно приравнивали к уровню моря. Хорошая связь метеоданных, полученных на метеостанции Беллинсгаузен и на метеостанции острова Десеппен позволила продлить ряд изменений положения ELA на более длительный период (с 1947 г.). Сгладив сильные межгодовые изменения положения ELA при помощи пятилетнего скользящего осреднения, были выявлены два полных периода изменения положения ELA (от минимума до минимума) продолжительностью около 20 лет (1947-1968 гг.) и 45 лет (1968-2013 гг.). С 2014 г. по настоящее время продолжается третий период. На апогее каждого периода положение ELA оказывалось выше высоты ледникового купола Беллинсгаузен, что говорит о том, что в эти годы ледниковый купол полностью терял область аккумуляции.

Для ледниковых куполов Беллинсгаузен и Варшава была выявлена закономерность более высокого положения ELA на западных и южных склонах по сравнению с восточными, что, вероятно, применимо ко всему острову Кинг-Джордж. Поскольку изменение ELA на острове Кинг-Джордж синхронно с изменением высоты границы питания на острове Ливингстон, то данные положения ELA на ледниковом куполе Беллинсгаузен, вероятно, могут быть полезными для восстановления истории оледенения на Южных Шетландских островах.

Автор приносит благодарность РАЭ за предоставленную возможность работы в Антарктике на острове Кинг-Джордж (Ватерлоо). Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН АААА-А19-119022190172-5 (FMGE-2019-0004).



## **Оледенение восточной Камчатки в позднем голоцене**

Т.М. Маневич

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

rumbita@mail.ru

Представлены результаты палеогляциологических исследований на склонах горных хребтов и вулканов Камчатки. Целенаправленное изучение голоценовых морен на полуострове начались в 1990-х годах с применением методов абсолютного датирования относительно молодых отложений – лихенометрии и тефрохронологии, а также дендрохронологии для палеоклиматических реконструкций.

К настоящему времени накоплен достаточно обширный фактический материал, который позволяет делать выводы о масштабах ледниковых колебаний в исследованных районах. Наибольшее количество хорошо сохранившихся морен, естественно, относятся к эпохе Малого ледникового периода. Активная вулканическая деятельность является дополнительным препятствием, не позволяющим в большинстве случаев корректно идентифицировать и датировать ледниковые отложения более старшего возраста. При этом, датированные пепловые горизонты в почвенном чехле являются надежным маркером для определения возраста отложений.

Исследования проводились в восточной части полуострова - от вулкана Шивелуч (56° с.ш.) на севере до Авачинской группы вулканов на юге (53° с.ш.). Сокращение площади ледников, связанное с окончанием последней ледниковой эпохи (около 100 лет назад), в прибрежных районах оказалось существенно ниже, чем в большинстве других горно-ледниковых районах мира. Так, ледники Кроноцкого полуострова потеряли четверть своей площади, а в пределах Авачинской группы вулканов оледенение сократилось всего на 13%. Но при этом, внутренние районы, входящие в систему Восточного хребта освободились ото льда практически полностью.

## Эволюция оледенения Антарктиды и динамика ледникового покрова в районе «подледниковые горы Гамбурцева – Купол Б – озеро Восток»

А.Н. Марков<sup>1</sup>, В.В. Лукин<sup>2,3</sup>, С.В. Попов<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Цзилиньский университет, Центр полярных исследований, г. Чанчунь, Китай.

<sup>2</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург.

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский Государственный университет.

<sup>4</sup>Полярная и морская геологоразведочная экспедиция, г. Санкт-Петербург.

Формирование ледникового покрова Антарктиды в условиях сложной горной морфологии района «горы Гамбурцева – Купол Б – озеро Восток» началось в эоцене-олигоцене 34 млн лет назад и прервалось/продолжилось в среднем миоцене 15-13 млн лет назад.

Очевидно, что процесс первичного полного замерзания поверхности озера Восток произошёл не существенно позднее образования «глетчерных» центров оледенения в горах купола Б и горах Гамбурцева, и, соответственно, уже существовавшее в тектонической котловине водное тело озера Восток было изолировано поверхностной «ледяной мембраной» до того (или синхронно), как на озеро распространилась экспансия «глетчерного» оледенения из гор этого района и покровного оледенения всей Антарктиды.

На основании данных гляциологических и геофизических исследований нами выделяются следующие отличительные пласты ледникового покрова над озером в районе станции Восток, имеющие генезис, соответствующий вероятным стадиям эволюции оледенения.

3610 – 3769 м – «чистый» «озерный лёд 2» образовался из замерзшей «озёрной» воды под первичной «ледяной мембраной» замёрзшей поверхности озера. Характеризуется наличием водных карманов, но отсутствием пылевых, минеральных включений и термофильных бактерий.

3539 – 3610 м – «грязный» «озерный лёд 1» образовался в результате таяния/замерзания/стекания «атмосферной» воды поверх первичной «ледяной мембраны» уже замёрзшей поверхности озера. Характеризуется наличием водных карманов, а также наличием пылевых, минеральных включений и термофильных бактерий.

3460 – 3539 м – «горный (глетчерный) лёд», образованный ледниками, сползшими с гор «Купола Б» на уже замёрзшую «ледяную мембрану» поверхности озера. Характеризуется отсутствием последовательного палеоклиматического сигнала и структурой интенсивных сдвиговых деформаций.

3360 – 3460 м – «покровный атмосферный лёд» из атмосферных осадков, образующий реликтовую квазистатичную ледяную «шапку» в котловине озера, оконтуренной возвышающимися над поверхностью озера берегами. Характеризуется отсутствием последовательного палеоклиматического сигнала, но регистрацией «точечной» датировки «древнего льда» возрастом более 1 млн лет.

3310 – 3360 м – «горно-покровный лёд», образованный ледником, сползшим/распространившимся из более удалённого района гор Гамбурцева. Характеризуется отсутствием последовательного палеоклиматического сигнала и тектонической дискретностью залегания ледяных пластов.

0 – 3310 м – «покровный, атмосферный лёд». Характеризуется ненарушенным палеоклиматическим сигналом.

Постадийное льдообразование в районе сложной горной морфологии с ледоразделом «горы Гамбурцева - купол Б - озеро Восток» сформировало ледовые потоки разной направленности и интенсивности в плане и по глубине покрова.

Ледяная толща покровного, «атмосферного» оледенения (0 – 3310 м) находится в «транзитном» «проточном» состоянии двух сонаправленных потоков,

разделенныхледоразделомпо двум«генеральным» направлениям: в северной части озера -с Запада на Восток-Северо-Восток; а в его южной части - с Запада на Юго-Восток. В результате над озеромтакже прослеживается ледораздел. Этот вывод основан на высокоточных многолетних геодезических наблюдениях.

Радиолокационное зондирование ледниковой толщи и геофизические наблюдения в глубокой ледяной скважине на станции Восток показывают в слоях льда покровного, «атмосферного» происхождения наличие послойной «веерной» флуктуации по глубине для векторов течения льда в диапазоне двух «генеральных» направлений потока ледникового покрова, обусловленныхледоразделом.

## **Реконструкция аккумуляции и количества осадков на Северном Кавказе за 1750–2009 г. по данным ледникового керна Эльбруса**

В.Н. Михаленко<sup>1\*</sup>, П.А. Торопов<sup>1,2</sup>, С.С. Кутузов<sup>1,3</sup>, М. Легран<sup>4,5</sup>, С.А. Сократов<sup>2</sup>,  
Г.А. Черняков<sup>1</sup>, И.И. Лаврентьев<sup>1</sup>, С. Пройнкерт<sup>5</sup>, А.В. Козачек<sup>6</sup>, М.А. Воробьев<sup>1</sup>,  
А.Г. Хайрединова<sup>1</sup>, В.Я. Липенков<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, Москва, Россия; <sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия; <sup>3</sup>Byrd Polar and Climate Research Center, Columbus, USA; <sup>4</sup>Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques, Université de Paris and Univ Paris Est Creteil, CNRS, France; <sup>5</sup>Institut des Géosciences de l'Environnement, Université Grenoble Alpes, Grenoble, France; <sup>6</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

\*mikhalenko@igras.ru

Представлена реконструкция аккумуляции снега и количества осадков с сезонным разрешением за период с 1750 по 2009 г. на основе 181,8-метрового ледяного керна, полученного на Западном плато Эльбруса на Кавказе. Были использованы различные методы для учета неопределенностей, связанных с течением ледника, утоньшением слоев и датированием ледниковой толщи. Разработан новый подход к разделению метеорологических данных на теплые и холодные периоды, основанный на сезонности в энергетике атмосферы. Это позволило сопоставить их с данными керна льда. Реконструированные данные об аккумуляции сравнивались с имеющимися метеорологическими данными, сеточными данными об осадках и данными палео-реанализа. Представленная реконструкция является репрезентативной для обширного региона к югу от Восточно-Европейской равнины и Черноморского региона. Было установлено, что основным фактором изменчивости аккумуляции являются летние осадки. Выявлена статистически значимая, но неустойчивая во времени связь между изменениями количества осадков в регионе и колебаниями индекса Североатлантического колебания (NAO).

**Баланс массы ледника Козельский на Камчатке за 1977–2022 гг.**  
А.Я. Муравьев<sup>1\*</sup>, Г.А. Носенко<sup>1</sup>, И.К. Миронов<sup>2</sup>, В.Н. Двигало<sup>2</sup>, Я.Д. Муравьев<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Институт географии РАН  
<sup>2</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН  
anton-yar@rambler.ru

С использованием исторических данных и современных ЦМР оценено изменение объема ледника Козельский на Камчатке за период 1977–2022 гг. (1977–2015 и 2015–2022 гг.). Площадь ледника за период с 1977 по 2022 г. практически не изменилась. При этом его длина увеличилась примерно на 0.7 км, а ширина уменьшилась почти на всё протяжении. Объем ледника сократился на  $34.15 \pm 6.74$  млн м<sup>3</sup>, а его поверхность в среднем понизилась на 17.30 м. Кумулятивный баланс массы в 1977–2022 гг. составил  $-14.70 \pm 3.94$  м в.э., а среднегодовой –  $-0.327$  м в.э./год. В последние 45 лет на леднике Козельский происходила убыль льда и его перераспределение на более низкие гипсометрические уровни. За период 1977–2015 гг. среднее по площади изменение высоты поверхности ледника Козельский составило  $-17.84$  м, объем сократился на  $35.21 \pm 7.20$  млн м<sup>3</sup>, кумулятивный баланс массы составил  $-15.16 \pm 4.17$  м в.э., а среднегодовой –  $-0.399$  м в.э./год. В период 2015–2022 гг. зафиксировано повышение поверхности ледника в среднем на  $0.59 \pm 1.55$  м, объем увеличился на  $1.01 \pm 2.65$  млн м<sup>3</sup>, кумулятивный баланс массы составил  $0.50 \pm 1.35$  м в.э., а среднегодовой –  $0.072$  м в.э./год.

В последнее десятилетие наблюдается замедление в продвижении фронта ледника вниз по долине. Средняя скорость наступания фронта ледника в 2012–2022 гг. составляла около 5.2 м/год при 17.9 м/год в 1977–2007 гг. и 20.0 м/год в 2007–2012 гг. Современные климатические условия не благоприятны для развития ледника. В 1977–2022 гг. в районе исследований наблюдался тренд на повышение летних температур воздуха при относительно стабильном количестве атмосферных осадков, выпадающих в холодный период. Практически непрерывное (кроме 1978–1981 гг.) наступание ледника в 1977–2022 гг., можно объяснить воздействием вулканического фактора. Мощная поверхностная морена, покрывающая более 2/3 площади ледника, препятствует поверхностной абляции. Связанная с активным вулканизмом повышенная сейсмичность способствует движению льда.

Работа выполнена при поддержке гранта РГО № 38/2022-И «Исследование баланса массы ледников в районах активного вулканизма Камчатки на примере ледника Козельский».

**Реконструкция масштабов ледников аридной части Русского Алтая в последний ледниковый максимум (LGM) по данным бурения донных осадков моренно-подпрудных озер**

Р.К. Непоп, А.Р. Агатова, А.А. Щетников, М.А. Крайнов, Е.В. Иванов, И.А. Филинов, П. Динг, Я. Шу  
Институт Геологии и Минералогии СО РАН, Новосибирск  
agatr@mail.ru

В 2018 г. коллективами ИГМ СО РАН, ИЗК СО РАН, ИГХ СО РАН были пробурены донные отложения трех моренно-подпрудных озер в Богутинской впадине, расположенной в юго-восточной части Русского Алтая. Опробованные озера – наиболее высокорасположенные из всех изученных до сих пор на Алтае, а полученные керны – одни из наиболее длинных. В результате удалось получить уникальные летописи ландшафтно-климатических изменений длительностью до 24 тыс. лет – наибольшей не только для всей территории Алтая, но и для прилегающих районов Тувы и Монголии. Уже первый этап комплексных исследований этих кернов позволил сделать ряд важных палеогеографических выводов, в том числе установить масштаб оледенения в последний ледниковый максимум (LGM) и позднем дриасе в наиболее аридной и высокогорной части Русского Алтая.

## **Изучение стратиграфических и геохимических особенностей снежной толщи**

Е.С. Николаева, С.А. Сократов, Ю.Г. Селиверстов, Д.М. Фролов  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
географический факультет, Москва, Россия  
nikolaeva\_lizaveta@mail.ru

Представляются результаты полевых исследований, проведенных на территории Метеообсерватории МГУ за зимний сезон 2022/2023. Целью наблюдений являлось изучение стратиграфических и геохимических особенностей снежной толщи и их изменений в течении зимы для понимания влияния метаморфизма снежной толщи на химический состав талых вод. Полевые исследования заключались в анализе стратиграфических слоев снежной толщи, измерении структурных характеристик снега, а также в отборе проб для последующего анализа снега на основные катионы и анионы. Полученные данные позволили охарактеризовать и оценить изменения структуры снежных слоев в пространстве и времени. Проведенные наблюдения за пространственно-временной изменчивостью снежного покрова и последующий анализ ионов, содержащихся в снеге, наглядно показали высокую неоднородность в распределения химических веществ по стратиграфическим слоям. Результаты по пространственно-временной изменчивости снежного покрова дополняют и уточняют уже имеющуюся информацию о неоднородности снежного покрова.

**Ледник Колка в условиях меняющегося климата  
( с учетом результатов полевых наблюдений в 2023 г.)**

Г.А. Носенко, С.А. Никитин, О.В. Рототаева

Институт географии РАН

gnosenko@gmail.com

Прошло два десятилетия с момента Кармадонской катастрофы, когда ледник Колка пронесся 16 км со скоростью порядка 200 км/час по долине реки Геналдон, обдирая ее борта, разрушая здания, убивая скот и людей на своем пути. В тот момент остро обсуждались причины и механизм неожиданной пульсации ледника. На эту тему было написано много статей, в которых предпринимались попытки найти объяснение произошедшей катастрофы, но не менее важным стал вопрос о возможности ее повторения. Практически сразу после подвижки в опустевшем цирке ледника Колка начался процесс формирования нового ледникового тела. Для ответа на вопрос о возможности прогнозирования его дальнейшего развития и повторения катастрофы, необходима информация о происходящих изменениях. С этой целью Институт географии РАН на протяжении последних лет регулярно проводит исследования текущего состояния ледника.

В данной работе подводятся итоги мониторинга состояния ледника наземными и дистанционными методами после завершения очередного этапа исследований в 2023 г. Сравнение с изменениями предыдущих лет показывает, что на фоне повсеместного сокращения ледников Кавказа восстановление ледника Колка продолжается. Летние температуры воздуха, определяющие интенсивность процессов абляции, остаются высокими. При этом зимние осадки находятся на среднем многолетнем уровне. Главными факторами формирования баланса массы ледника по-прежнему являются лавинное питание, усиленная абляция льда и нестационарный процесс бронирования ледника обломочным материалом. К 2023 году ледник восстановил порядка 40% своей площади до подвижки 2002 г. В последние годы (2018-2023) язык ледника продвигается вниз со средней скоростью 40 м/год. Конфигурация линии фронта меняется, в зависимости от активности его притоков и условий питания. Средняя скорость увеличения площади ледника за последние 5 лет составила 1,5%.



## **Районы максимальной интенсивности лавинообразования на Большом Кавказе при масштабных гидрометеорологических аномалиях**

А.Д. Олейников

Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
geo2217@mail.ru

Работа посвящена обоснованию географических границ районов, которые при масштабных гидрометеорологических аномалиях на Большом Кавказе выделяются по интенсивности лавинообразования и могут быть отнесены к «эпицентрам» лавинной деятельности. За период снеголавинных наблюдений в Кавказском регионе Природой дважды был поставлен «эксперимент» в зимы 1975/76 и 1986/87 гг., в ходе которых массовый сход особо крупных лавин пришелся на одни и те же районы южного макросклона Центрального Кавказа. В работе предпринята попытка ответить на вопрос - почему основной удар снежной стихии повторился в границах тех же самых территорий. Для обоснования рассматриваемого положения использованы метеорологические данные среднегорных и высокогорных станций Большого Кавказа, материалы экспедиционных исследований, сведения о хронологии лавинных катастроф за период инструментальных наблюдений, литературные источники.

Результаты проведенного анализа показывают, что наиболее высокая интенсивность лавинной деятельности свойственна тем районам, где одновременно наблюдается реализация трех факторов лавинообразования: 1) наличие большого количества крупных лавиносборов, включающих древнеледниковые кары; 2) высокая снежность; 3) типы снега благоприятные для массового схода особо крупных лавин. На Кавказе этим критериям соответствует не только традиционно выделяемая водораздельная зона Главного Кавказского хребта, но, как показывает проведенный анализ и территория горной Грузии в бассейне реки Ингури (с притоками рр. Ненскра, Накра, Местиа-Чала, Долра, Мулхура), а также верховья р. Кодори (Абхазия). По данным Каталога ледников СССР [1986] в бассейнах рек Ингури и Кодори сосредоточено до 80% каровых форм рельефа южного макросклона Кавказа, многие из которых являются очагами зарождения особо крупных лавин.

Высокая снежность указанной территории, по сравнению с соседними районами, обусловлена влиянием ороклиматического эффекта, который отражен на карте распределения твердых осадков в Атласе снежно-ледовых ресурсов мира [1997]. Только в этом секторе Большого Кавказа наблюдается своеобразный полуостров высокой снежности на десятки километров выдвинутый навстречу влагонесущим потокам со стороны Черного моря. Температурные условия в зоне повышенного снегонакопления способствуют формированию благоприятного для лавинообразования типа снега, что проявляется в его структурно-текстурных и прочностных свойствах. В более снежных, но одновременно более теплых условиях Западного Кавказа снежный покров развивается по типу уплотнения и реализуется в массовый сход крупных лавин из влажного снега, как правило, в зимне-весенний период. Объемы этих лавин также могут достигать значительных размеров в сотни тыс.м<sup>3</sup>, однако их поражающий эффект существенно уступает лавинам из сухого свежеснежавшего снега на южном макросклоне Центрального Кавказа, массовый сход которых в середине зимы при обширных гидрометеорологических аномалиях становится причиной масштабных стихийных бедствий.

## **Влияние волн тепла на поверхностную абляцию на примере ледника Альдегонда в 2022 году (о. Западный Шпицберген)**

У.В. Прохорова, А.В. Терехов

ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт»,  
г. Санкт-Петербург  
uvprokhorova@aari.ru

В районе архипелага Шпицберген наблюдается устойчивое потепление, темпы которого в 5–7 раз превышают среднемировые и в 2–2,5 раза — средние по Арктике. В 2022 году Шпицберген, как и вся Европа, подвергся воздействию нескольких последовательных волн тепла — масштабных явлений, возникших в результате установления блокирующих антициклонов над континентом. Средняя температура воздуха за летние месяцы на архипелаге в 2022 году была на 2°C выше климатической нормы, а июнь стал рекордно теплым за всю историю наблюдений. Помимо того, что волны тепла усилили летнюю абляцию ледников архипелага, они также изменили внутригодовую динамику таяния, существенно продлив его в осенние месяцы. Это нетипично для архипелага, поскольку главным компонентом приходной части теплового баланса ледников является приходящая коротковолновая радиация, поток которой крайне низок в осеннее время.

По метеорологическим измерениям на леднике Альдегонда (остров Западный Шпицберген, 10 км от населённого пункта Баренцбург), в конце сентября — первой половине октября установилась аномально высокая для этого периода температура воздуха. Кратковременные осенние оттепели наблюдались в этой части архипелага и прежде, но в 2022 году это событие было существенно более продолжительным — и связанным с масштабным погодным явлением, охватывающим весь регион.

В проведённом исследовании на основе натурных метеорологических наблюдений был количественно оценен вклад волн тепла 2022 года в поверхностную абляцию ледника Альдегонда. Показан механизм влияния волн тепла на структуру теплового баланса ледника, а также изменения величины тепловых потоков на протяжении сезона.

В условиях меняющегося климата повторяемость экстремальных погодных явлений, в том числе волн тепла, увеличивается. Это, в свою очередь, способно не только продлить сезон абляции на арктических ледниках, но и значительно ускорить сокращение их массы и площади.

## **Особенности гидрологического режима приледниковых моренных озёр Алтая на разных стадиях их развития**

Г.В. Пряхина, В.А. Распутина

Санкт-Петербургский государственный университет

g65@mail.ru

Образующиеся при отступании ледников моренные озера широко распространены в областях горного оледенения. В последнее десятилетие на территории Алтая их количество возрастает благодаря активному сокращению площадей и объемов ледников. Гидрологический режим таких водоёмов отличается нестабильностью с высокой вероятностью прорыва и спуска водной массы. Быстрое развитие озёр позволяет отследить различные стадии развития водоёмов в пределах одной горной системы. В ходе комплексных экспедиций института Наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета на российской и монгольской частях территории горного Алтая (горный массив Монгун-Тайга, Южно-Чуйский хребет, массивы Таван-Богдо-Ола и Цамбагарав) был получен обширный натурный материал о гидрологических и морфометрических характеристиках высокогорных водоёмов и их водосборов в районах деградации оледенения. Для обобщения представлений о процессах формирования и развития горных водоёмов Алтая в условиях нестационарного климата были привлечены данные дистанционного зондирования исследуемых районов за период 2000-2022 гг., позволившие расширить перечень исследуемых водных объектов и проследить их динамику.

Целью данной работы стало выявление особенностей гидрологического режима моренных и приледниковых озёр территории горного Алтая, находящихся на различных стадиях формирования: трансгрессивной, регрессивной и пострегрессивной. Установлено, что уровенный режим приледниковых водоёмов характеризуется выраженной внутрисуточной динамикой согласно суточному ходу температуры воздуха, сложным внутригодовым ходом и ростом в многолетнем разрезе, что характерно для озёр в трансгрессивной фазе развития. Регрессивная фаза может протекать достаточно быстро (от нескольких часов до нескольких месяцев) при разрушении подпруживающей перемычки или спуске озёрных вод по фильтрационным каналам внутри дамбы. Но если причиной является нарушение связи с ледником и постепенное уменьшение ледникового питания- процесс растягивается на годы. На суточный режим уровней водоёмов, находящихся в пострегрессионной фазе, оказывает значительное влияние сток с площади водосбора, не занятого ледником, который формируется за счет выпадения жидких осадков, а также трансформации части ледникового стока в подземную составляющую в результате фильтрации в рыхлый моренный материал. В многолетнем разрезе колебания уровня воды минимальны.

## **Развитие озера Маашей (Северо-Чуйский хребет, Центральный Алтай)**

Распутина В.А.\* , Пряхина Г.В., Ганюшкин Д.А., Банцев Д.В., Грига С.А., Свирепов С.С.  
Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия  
\*lerasputina88@gmail.com

Завальные озёра, образованные в результате перекрытия русла рек оползнями, обвалами, каменными глетчерами и т.п., широко распространены в горных районах. Плотины таких водных объектов неоднородны и слабо устойчивы: сложены рыхлооломочными материалами, не имеют слоистости, сортировки, а также могут содержать в себе погребённый лёд. Риск их разрушения и последующего прорыва водоёма возрастает вследствие поступления большего притока воды в озеро обусловленного выпадением интенсивных осадков или таянием ледника, землетрясением и другими причинами. Особенно опасными являются завальные озёра, расположенные в перигляциальной зоне, образованные в результате перекрытия каменными глетчерами русла горных рек, имеющих ледниковое питание. Наибольшую прорывоопасность такие водоёмы имеют в тёплый период, когда наблюдается максимальная абляция ледника, повышенный приток воды к озёрам, увеличение их размеров и, соответственно, возрастание давления на запрудную плотину, что может привести к её разрушению. Так как объёмы завальных озёр могут достигать нескольких миллионов кубических метров, их прорывы приводят к формированию мощных паводков и селевых потоков, наносящих катастрофический ущерб территориям, расположенным ниже по течению. Продолжающаяся деградация оледенения в изменяющихся климатических условиях приводит к интенсивной аккумуляции большого объема талых вод в завальных водоёмах, в результате чего вероятность формирования опасного явления увеличивается. Примером прорыва завального озера, находящегося в зоне распространения горного оледенения и подпруженного каменным глетчером, является прорыв озера Маашей, расположенного на территории Северо-Чуйского хребта, (Центральный Алтай, Россия), который произошёл 15 июля 2012 г. В результате разрушения подпрудной перемычки сформировался прорывной паводок и сопряжённый с ним селевой поток, уничтоживший два моста (через реки Маашей и Чуя).

В настоящем исследовании выполнено описание развития озера Маашей от зарождения до прорыва на основе анализа данных дистанционного зондирования Земли, полевых исследований и метода математического моделирования.

Анализ спутниковых снимков показал внутригодовую и межгодовую изменчивость площади озера Маашей: водоём существовал только в тёплый период года и увеличивался в размерах к концу периода абляции в многолетнем разрезе. При проведении полевых исследований была восстановлена батиметрическая схема озера Маашей и установлены размеры образовавшегося прорана. Была выдвинута гипотеза о том, что механизмом прорыва озера являлось образование фильтрационного канала в теле плотины. Для этого сценария прорыва выполнялось математическое моделирование на основе методики расчёта характеристик прорывных паводков, формирующихся при прорывах моренных озёр, с учётом неоднородного состава моренной плотины, предложенной авторами.

Математическое моделирование позволило получить гидрограф прорывного паводка, оценить такие характеристики прорыва, как максимальный расход и объём прорывного паводка, скорости потока и размеры образовавшегося прорана. Качество моделирования оценивалось по результатам сравнения расчётных по методике размеров прорана с его измеренными значениями, по причине того, что размеры прорана являются единственной проверочной информацией. Сравнение показало, что расхождение расчётных и измеренных размеров не превышает 15%, что говорит о хорошей сходимости результатов и адекватности алгоритма расчёта.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-27-00171 «Моделирование прорывов водоёмов, подпруженных дамбами естественного происхождения».

**Каменные лавины на ледниках Хасаутский (КЧР, р. Аксаут) и Геби  
(РСО-Алания, р. Урух)**

Е.А.Савернюк<sup>1</sup>, М.Д. Докукин<sup>2</sup>, С.С. Черноморец<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет; <sup>2</sup>Высокогорный геофизический институт  
savernyuk@gmail.com

В докладе будут рассмотрены две крупных каменных лавины, сошедших в 2022 и 2023 гг. на ледник Хасаутский в долине р. Аксаут и ледник Геби (№355) в долине р. Гебидон бассейна р. Урух. На фоне статистики по выявленным ранее случаям каменных лавин в высокогорной ледниковой зоне Большого Кавказа за период с 1957 по 2023 г. приведены параметры указанных случаев, показаны отличия и сходство. Рассмотрено возможное влияние отложений на ледники. Проведено сравнение с похожим событием в Австрийских Альпах с массива г. Флюхторн в долине р. Джамтал. Показано, что подобные процессы необходимо учитывать при освоении горных территорий и планировании туристических маршрутов.

**Основные результаты комплексных аэрогеофизических исследований, выполненных в северо-западной части Земли Принцессы Елизаветы, Восточная Антарктида, в сезон 68-й РАЭ**

А.А. Сахаров<sup>1</sup>, С.В. Попов<sup>1,2</sup>, О.Б. Соболева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
andmendil@yandex.ru

Обширный регион впадины Ламберта и её морское продолжение – залив Прюдс (Земли Мак-Робертсона, Принцессы Елизаветы, Вильгельма II и Королевы Мэри, Восточная Антарктида) является ключевым в плане понимания истории геологического развития и гляциации Восточной Антарктиды. Планомерные комплексные аэрогеофизические исследования, включающие в себя радиолокационные и марнитометрические измерения, в этом секторе Восточной Антарктиды выполняются с середины 80-х годов прошлого века. В сезон 68-й РАЭ (2022/23 г.) аэрогеофизическая съёмка с межмаршрутным расстоянием 1 км была впервые выполнена в Антарктике в практике отечественных исследований. Задачи работ заключались в более детальном изучении интенсивной магнитные аномалии субширотного простирания, получившей название Линеамент Эймери. Помимо этого, получены данные о детальном строении ледника, подлёдной топографии и субгляциальных гидрологических процессах, протекающих подлёдной поверхности.

Выяснено, что аномальное магнитное поле гетерогенно и отличается высокой дифференцированностью. Диапазон изменения его интенсивности варьирует от -433 до 1560 нТл. Предварительно можно предполагать, что под ледовой толщей практически на всей исследованной территории залегает кристаллический фундамент, представленный протерозойскими преимущественно слабомагнитными метаморфическими комплексами. Практически весь исследованный район перекрыт ледником мощностью от 150–300 м до более чем 1500 м при среднем значении порядка 500 м. В строении подлёдного рельефа выделяется два основных геоморфологических района. В восточной части он представлен холмисто-рядовой равниной с гипсометрическими отметками вершин в среднем 50–100 м, лишь в отдельных случаях превышающих 200 м. Второй район расположен в западной части, и представлен низменной равниной с превалирующими высотами около 400 м.

## **Термодинамическая эволюция снежно-ледяного покрова пролива Шокальского**

О.Р. Сидорова, П.В. Богородский

С.-Петербург, Арктический и Антарктический НИИ

olsid@aari.ru

Представлены и проанализированы результаты шестилетних наблюдений формирования морского снежно-ледяного покрова в малоизученном прибрежном районе пролива Шокальского (Северная Земля). С помощью термодинамической модели, реализующей фронтальный вариант задачи Стефана, получены количественные и качественные оценки процесса, учитывающие изменения теплофизических свойств снежного покрова под влиянием типичных атмосферных условий архипелага (сезон 2021/22 гг.). Модельные данные дополнены результатами расчётов динамики толщины льда по эмпирической формуле Визе на основе суммы градусо-дней мороза, показавшими хорошее совпадение с результатами прямых измерений. Рассмотрены возможности возникновения инфильтрационного (снежного) льдообразования за счёт снеговой перегрузки ледяного покрова.

## Моделирование селевого потока при прорыве оз. Башкара 2017 г.

А.С. Солодова, Д.А. Петраков

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

annanasiy99@mail.ru

Прорывы ледниковых озер – одно из наиболее разрушительных стихийных бедствий в высокогорье. В условиях стремительно меняющегося климата ускоряются темпы таяния ледников Кавказа, из-за чего формируется множество новых ледниковых озер (Докукин и др., 2014). Поэтому необходимо совершенствование имеющихся методик прогнозирования опасных природных процессов. Важно максимально точно оценить границы опасных зон и количественные характеристики селей, в чем может помочь математическое моделирование.

В качестве объекта исследований было выбрано хорошо изученное з. Башкара, последний крупный прорыв которого произошёл 1 сентября 2017 г., когда после интенсивных ливней разрушился моренный вал, удерживающий озеро. Водокаменный гляциальный селевой поток объемом около 1 млн. м<sup>3</sup> (Черноморец и др., 2018), вызванный разрушением плотины, нанёс серьезные повреждения в долинах р. Адыл-су и Баксан.

Цель исследования – оценить динамику и зону затопления прорывного селя при прорыве оз. Башкара 2017 г. при помощи численного моделирования в программе *r.avaflow*. Для этого был проанализированы причины прорыва, объем вовлеченного материала, и на основе фактических сведений о прорыве была проведена калибровка модели *r.avaflow*, а затем запущены два сценария: моделирование только водной составляющей потока (1) и моделирование водокаменного селевого потока с учетом жидкой и твердой (представленной грубообломочным материалом) фаз (2).

*R.avaflow* это инструмент, который позволяет осуществлять моделирование ряда русловых и склоновых процессов и включает в себя две различные модели: модель смеси (модель Voellmy) (Fischer et al., 2012) и многофазную модель (Pudasaini et al., 2019). Способность учитывать свойства сразу трех фаз как нельзя лучше подходит для моделирования несвязных водокаменных селей, что является неоспоримым преимуществом перед иными моделями, которые в силу своей математической основы актуальны больше для паводков (FLO-2D) или связанных селевых потоков (RAMMS Debrisflow). Открытый исходный код также выгодно отличает модель от аналогов.

В результате моделирования конфигурация зоны селевой опасности, значения глубины, скорости течения (в среднем 6 м/с), и соответственно, времени добега потока до разных контрольных точек хорошо коррелируют с данными предыдущих модельных оценок (Petraikov et al, 2012; Кидяева и др., 2018; Kornilova et al, 2022) и фактическими сведениями о прорыве.

За счет вовлечения твердого материала и снижения вязкости потока рассчитанные значения скорости течения и глубин несколько возросли относительно предыдущих оценок. Также в данной работе впервые было рассчитано давление и кинетическая энергия потока для различных участков русла, и оценена величина эрозии и аккумуляции материала, изменение рельефа после прохождения прорывного паводка.

Результаты моделирования практически повторяют границы исторических отложений и хорошо соотносятся с фактическими данными. Можно заключить что опробованная модель, *r.avaflow*, может быть применима в условиях Приэльбрусья для оценки динамики и зон поражения водокаменных селевых потоков прорывного генезиса. Поэтому в будущем освоение модели, прежде не используемой на территории России, продолжится.



## **Новые данные о колебаниях ледников и климата Северного Кавказа в позднем голоцене**

О.Н.Соломина, И.С.Бушуева, В.Джомелли  
Институт географии РАН  
olgasolomina@yandex.ru

Получены новые датировки морен нескольких ледников Северного Кавказа (Ирик, Донгуз-Орун, Кашкаташ, Алибек, Большой Азау, Шхельда), выполненные на основе анализа космогенных изотопов ( $^{10}\text{Be}$ ), которые, в частности, позволили впервые идентифицировать и датировать значительное наступание ледников около 1600-1700 л.н., превышающее по масштабам максимум малого ледникового периода. Эти датировки также подтвердили наступание первой фазы малого ледникового периода (700 л.н.) и несколько более поздних максимумов (около 530, 250 и 160-140 лет назад). Масштабы этих подвижек были примерно одинаковыми. Новые датировки рассматриваются в контексте палеоклиматическим данных по озерным отложениям (оз. Каракель и Гарабаши), а также реконструкций наступаний ледников Большой Азауи Ирик по погребенным почвам, датированным с помощью радиоуглеродного анализа.

## **Высота снежного покрова на равнинной территории России в лесу и в поле при современном климате**

А.В. Сосновский, Н.И. Осокин  
Институт географии РАН  
alexandr\_sosnovskiy@mail.ru

Определена максимальная высота снежного покрова в лесу и в поле, рассчитаны ее средние многолетние значения за разные временные периоды. Дана оценка влияния изменений климата на распределение максимальной высоты снежного покрова (МВСП) в лесу и в поле за «исторический» (1966–1990 гг.) и современный (1991–2020 гг.) базовые климатические периоды, а также декадные изменения распределения максимальной высоты снежного покрова за 2001–2010 и 2011–2020 гг.

Установлено, что среднее значение МВСП в поле за период 1991–2020 гг. увеличилось на 5 % по сравнению с периодом 1966–1990 гг. и снизилось в лесу на 8 %. Отношение МВСП в лесу к ее значению в поле за периоды 1966–1990, 1981–2010 и 1991–2020 гг. постоянно снижалось и составило 1,24; 1,12 и 1,08 соответственно. За период 1991–2020 гг. наибольшие значения этого отношения приурочены к северо-востоку ЕТР и югу Западной Сибири, где максимальная высота снежного покрова в лесу была значительно выше, чем в поле. Наименьшие значения наблюдаются в центре, на юго-востоке и юго-западе ЕТР, юге восточной Сибири. За периоды 2001–2010 гг. и 2011–2020 гг. отношение МВСП в лесу к ее значению в поле составило 1,07 и 1,03. Отношение МВСП в лесу к ее значениям в поле в 1991–2020 гг. уменьшилось в среднем на 12% по сравнению с периодом 1966–1990 гг. Наибольшее снижение этого соотношения – на 15–25% произошло на юго-западе Восточной Сибири и на большей части юга ЕТР.

## **Строение и динамика склона ледникового щита вблизи антарктической станции Прогресс (Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида)**

А.А. Суханова<sup>1</sup>, С.В. Попов<sup>2,3</sup>, Д.В. Банцев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ООО «Первая Геотехническая Компания», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

suhanova.anastassiya@yandex.ru

Станция Прогресс, на настоящий момент, является одной из главных логистических баз Российской антарктической экспедиции (РАЭ). Начиная с 53 РАЭ, снабжение внутриконтинентальной станции Восток осуществляется с помощью санно-гусеничных походов, отправной точкой для которых является именно станция Прогресс. Кроме того, в районе станции располагается взлетно-посадочная полоса «Зенит», которая в 2022 году была оборудована для приема самолетов не только на лыжном, но и на колесном шасси, что увеличивает возможности для транспортных операций.

Взлетно-посадочная полоса, также, как и основной путь следования санно-гусеничных походов, располагается на небольшом участке склона Восточно-антарктического ледникового щита. В северной части склона ледник граничит со свободным ото льда оазисом Холмы Ларсеманн, а в восточной части соприкасается с ледниковыми массами выводного ледника Долк. Вследствие изменчивости рельефа и интенсивной динамики ледника Долк, строение антарктического щита и скорости его течения в разных частях описываемого склона значительно разнятся. Важным следствием этих процессов является образование трещин в приповерхностной части ледника, что оказывает прямое влияние на безопасность проведения транспортных операций. В связи с этим, в ходе сезонных работ Российской антарктической экспедиции 2019 г. и 2023 г. был выполнен обширный комплекс исследований, благодаря чему были выявлены основные черты строения и течения участка склона ледника на территории расположения трасс следования транспорта и организации аэродрома «Зенит». Исследования выполнялись до глубины порядка 30 м в радиусе 1200 м от оси аэродрома.

Комплекс исследований включал в себя георадарное профилирование, керновое бурение, организацию гляциологических полигонов и геодезические измерения положения гляциологических вех. Полученные данные позволили оценить мощность снежно-фирновой толщи, оконтурить основные зоны наиболее интенсивной аккумуляции снежных осадков и оценить плотности фирна и льда до глубины 6 м. По результатам работ также были выявлены основные зоны распространения трещин в приповерхностной части ледникового массива. Их распространение и основные элементы залегания были сопоставлены с результатами замеров смещения гляциологических вех, что позволило оценить влияние динамических процессов в леднике на образование трещин. Описываемые исследования позволили сформировать представление о строении ледника, его развитии и динамических процессах, определяющих гляциологическую ситуацию вблизи аэродрома «Зенит» и трасс следования стационарного транспорта.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда № 22-27-00266.

## **Формирование климатического сигнала в изотопном составе осадков Центральной Антарктиды**

Н.А.Тебенькова, А.А. Екайкин, А.Н. Верес, А.В. Козачек  
ФГБУ «ААНИИ»  
natebenkova@aari.ru

Изотопный метод является ключевым инструментом для реконструкции прошлых климатических условий на нашей планете на основе данных из антарктических ледяных кернов. Точность климатических реконструкций зависит от понимания всех процессов, принимающих участие в формировании изотопного состава осадков. Изотопный состав осадков в Центральной Антарктиде изучался во многих работах, однако до сих пор полностью не изучена разница между изотопным составом различных типов осадков.

В данной работе анализируется изотопный состав осадков (ледяные иглы, снег из облаков и иней), собранных на станции Восток в Центральной Антарктиде в течение трёх полных годовых циклов (2000, 2017, 2020 гг.) и нескольких летних сезонов с 1999 по 2022 гг. Для каждого случая выпадения осадков имеются метеорологические данные, усредненные по времени выпадения осадков.

На примере ледяных игл исследована сезонная изменчивость изотопной зависимости от температуры. Была предпринята попытка выявить взаимосвязь между изотопным составом и другими метеорологическими параметрами, такими как давление или направление ветра, и на основании нашей базы данных установлено, что взаимосвязь между этими параметрами незначительна. Измерения  $17\text{O-excess}$  в осадках на станции Восток показывают сильную положительную корреляцию между  $17\text{O-excess}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ , и отрицательную корреляцию между  $\text{d}x_s$  и  $\delta^{18}\text{O}$ .

Эта работа приближает нас к пониманию того, как формируется изотопный состав в каждом типе осадков и какую информацию он нам дает.

## Организация данных для гляциологических исследований

Т.Е. Хромова

Отдел гляциологии ИГРАН

tkhromova@gmail.com

В докладе представлены результаты работ по формированию информационной среды для гляциологических исследований, которые продолжают традиции организации данных в отделе гляциологии ИГРАН. Основу составляют пополняемые электронные базы данных: каталог ледников, архив изображений ледников, библиотека по гляциологии, архив дистанционных данных.

Мониторинг и каталогизация ледников является одним из основных направлений исследований в мировой гляциологии. Каталог ледников представляет собой вклад России в международную деятельность по каталогизации ледников. Аккумулируемая в нем информация позволяет актуализировать входные параметры для региональных климатических моделей, анализировать изменения ледников, будет полезна при разработке рекомендаций по эффективному хозяйственному освоению горных и арктических территорий.

Наряду с другими современными методами важную роль в изучении динамики ледников играют исторические данные, в том числе и фотодокументы. Серии разновременных фотографий, карт, живописных изображений ледников представляют собой важнейший архив записей о состоянии и изменении основного элемента ландшафтов высокогорья и полярных районов, документальными свидетельствами климатических изменений.

Электронная библиотека обеспечивает доступ не только к книгам, но и к библиографии русскоязычной литературы, каталогам ледников России и СССР, профильным журналам «Лед и Снег», Криосфера Земли, архиву журнала МГИ, Атласу снежно ледовых ресурсов мира, электронному Атласу «Снег и лед на Земле», Архиву изображений ледников.

Объединенные в единую систему гляциологические данные позволяют получать новые знания о компонентах криосферы. Информационные ресурсы доступны онлайн на странице отдела гляциологии на сайте ИГРАН.

## **О классификации приледниковых озёр архипелага Шпицберген**

Р.А. Чернов<sup>1</sup> К.В. Ромашова<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Институт географии РАН,

<sup>2</sup>Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт  
chernov@igras.ru

Предложена методика классификации приледниковых озёр Шпицбергена, которые были образованы или продолжают формироваться на территориях, освободившихся от ледников после малого ледникового периода. Среди множества озёр Шпицбергена приледниковые озёра выделяются по одному из трёх морфологических признаков: наличие контакта озера с ледником, расположение озера в пределах конечной морены или в контакте с ней. Для поиска озёр каждый из признаков является достаточным и их можно выявлять ГИС-методами исследования, для классификации озёр важны сочетание этих признаков и условие подпруживания.

Используя картографические материалы Норвежского полярного института и спутниковые снимки по состоянию на 2008-2012 гг. было нами выявлено 705 приледниковых озёр. Около половины из них контактируют с ледниками (340 озёр), и поэтому находятся в стадии активного формирования. Их суммарная площадь равна 162 км<sup>2</sup> и составляет 86 % от общей площади всех приледниковых озёр архипелага. Согласно предложенным морфологическим признакам и условию подпруживания (ледником или мореной) выделено 5 типов приледниковых озёр: ледниково-подпружные озёра (22 % от общего числа озёр), морено-подпружные озёра (24 %), озёра, контактирующие с фронтом ледника, но не подпруженные мореной или ледником (16 %), термокарстовые озёра на морене (28 %) и озёра, контактирующие с конечной мореной (10 %).

Несмотря на климатические различия в разных частях архипелага и различные темпы сокращения оледенения распределение приледниковых озёр на территории архипелага оказалось достаточно равномерным. Тем не менее, соотношение типов озёр было различно. В западной и южной частях архипелага в области горного оледенения, где сокращение ледников было наиболее масштабным, преобладают термокарстовые озёра на моренах и морено-подпружные озёра. На востоке и северо-востоке архипелага в области покровного оледенения, где климат более суровый и ледники отступают медленно, преобладают озёра, контактирующие с ледником и занимающие естественные котловины на периферии оледенения. Предложенная классификация приледниковых озёр отражает процесс экспансии озёр в разных частях архипелага, выявлена связь с типом оледенения. Соотношение типов озёр может являться признаком для анализа климатических изменений.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-27-00312 «Формирование приледниковых озёр архипелага Шпицберген в условиях изменения климата».

## **Анализ качества оценок лавинной опасности**

П.А. Черноус  
СКБ САМИ ДВО РАН  
pchernous48@gmail.com

Рассматривается современное состояние оценивания качества прогнозирования характеристик лавинной опасности различных пространственных и временных масштабов. Анализируются эмпирико-статистические и физически обоснованные, детерминированные и вероятные методы, используемые для оперативного прогнозирования характеристик лавинной опасности небольшой заблаговременности, а также для инженерных изысканий для строительства и территориального планирования. Показаны причины, влияющие на качество оценок лавинной опасности и возможности его улучшения. Указаны недостатки существующей нормативной базы, регулирующей оценивание лавинной опасности. Отдельно проанализированы существующие формулировки и шкалы лавинной опасности. Показано, что некоторые из них не допускают объективной оценки качества методов, с помощью которых они получены. Обсуждаются возможности совершенствования требований к методам оценки лавинной опасности и внедрения их в практику.

## **Моделирование температуры деятельного слоя полярного ледника в условиях интенсивной абляции.**

Г.А. Черняков, Р.А. Чернов  
Институт географии ИГРАН  
chernov@igras.ru

Рассматривается температурный режим ледника Восточный Грэнфьорд (Западный Шпицберген) в условиях быстрого понижения его поверхности обусловленного интенсивной абляцией льда. В связи с климатическими изменениями на Шпицбергене ледник не имеет области питания, поэтому вся поверхность ледника лежит в области абляции. Снежный покров на леднике полностью стаивает в летние месяцы. По данным ежегодных измерений в летний период на леднике стаивает в среднем 1,5–2,2 м в.э., а на его языке до 3,1 м в.э. Запас холода, накопившийся в зимний период в деятельном слое ледника, частично расходуется при таянии льда и охлаждение нижележащих слоев зависит от скорости понижения поверхности ледника и теплофизических свойств деятельного слоя льда.

Расчёт температурного режима деятельного слоя ледника (толщиной до 10 м) в зимний период выполнен при заданном тепловом потоке на границе лед-снежный покров. Снегонакопление в заданной точке ледника, характеристики снежной толщи и тепловые потоки были рассчитаны в авторской программе Чернова Р. «КОМЕТА». Использовались метеоданные станции пос. Баренцбург. В весенний период граничные условия на поверхности и в толще ледника приняты  $T=0$  °С с учетом толщины холодного слоя ледника.

Начальное распределение температуры льда в начале зимы (1 октября) было задано по данным термометрии льда в скважине, весной исходя из расчетов температуры льда в конце зимнего периода. Получены аналитические решения уравнения теплопроводности в толще ледника для зимнего, весеннего и летнего периодов. Результаты расчетов распределения температуры в деятельном слое дают хорошее совпадение с результатами термометрии в скважине. Отмечено, что не смотря на ожидаемое выхолаживание толщи ледника в современных условиях потепления на Шпицбергене (отсутствие области питания приводит к выхолаживанию ледника), деятельный слой ледника становится теплее. Это обусловлено тем, что значительная абляция в летний период препятствует проникновению холода в толщу ледника. Рассмотренная схема расчета температур в толще ледника позволяет рассмотреть условия увеличения/уменьшения толщины холодного слоя политермических ледников Западного Шпицбергена.



## Вклад таяния льда на леднике Мижирги в питание горной реки в середине периода абляции

Ю.Н. Чижова<sup>1</sup>, А.Д. Крекова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН

<sup>2</sup>Высшая школа экономики  
eacentr@yandex.ru

Выполнено расчленение гидрографа стока реки Мижирги, вытекающей из-под одноименного ледника методом изотопно-солевого баланса. Ледник Мижирги расположен на северо-западном склоне Бокового хребта Большого Кавказа. Изотопное расчленение гидрографа стока широко используется в мировой практике и является хорошо разработанным методом для изучения процессов образования речного стока. Основой для применения изотопных данных как индикатора вод различного происхождения является заметное отличие в значениях  $\delta^{18}\text{O}$ , характерных для снега, льда, подземных вод и атмосферных осадков. Для р. Мижирги, опробованной в 600 м от края ледника, изотопные характеристики воды тесно связаны с активным летним таянием ледникового льда. Кроме ледникового питания в формировании речного стока также принимают участие воды родников и атмосферные осадки. За период с 6 по 16 июля 2022 года значения  $\delta^{18}\text{O}$  воды в р. Мижирги варьировали от  $-12,20$  до  $-13,83\text{‰}$ , для коры таяния на леднике Мижирги было получено значение  $\delta^{18}\text{O} = -17,22\text{‰}$ . Выпадавшие два раза за период наблюдений атмосферные осадки имели близкие значения  $\delta^{18}\text{O}$  (в среднем  $-1\text{‰}$ ). Родниковая вода, которая рассматривалась как подземное питание, характеризовалась значениями  $\delta^{18}\text{O} = -12\text{‰}$  и тоже являлась смесью ледниковых и дождевых вод (68 и 32%, соответственно согласно изотопному балансу). Однако они попадают в речной сток не напрямую, а смешиваясь и фильтруясь через рыхлые отложения. Выполненное расчленение согласно *где  $f_1, f_2, f_3$  – доли отдельных компонент в формировании общего стока,  $\delta^{18}\text{O}_i$  – изотопный состав кислорода каждой компоненты,  $M_i$  – минерализация каждой компоненты;*

показало, что вклад подземной компоненты варьирует от 23 до 39%. Зная соотношение в ней ледниковой и дождевой составляющей, можно заключить, что порядка 25% ледникового питания поступает в речной сток путем фильтрации сквозь рыхлые отложения. И в среднем около 68% дождевой воды также поступает в речной сток через подземные воды. Такая проницаемость рыхлых отложений для дождевой воды может говорить о высоких рисках образования селей в непосредственной близости от ледника. В целом таяние на леднике в середине периода абляции формирует вклад в речной сток порядка 72...79%. Средние значения вклада ледникового таяния в питание реки в целом следовали за изменениями среднесуточной температуры, но наибольшее влияние на его величину имел тип погоды, т.е. прямая солнечная радиация.

Благодарности. Измерения изотопного состава ( $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$ ) выполнены в международной лаборатории палеоэкологических реконструкций, созданной при поддержке Мегагранта (Соглашение № 075-15-2021-599 от 08.06.2021).

## **Оценка развития гляциальных обстановок плейстоцена на севере Западной Сибири с позиций палеокриологии и новых данных криопедогенеза**

В.С. Шейнкман, С.Н. Седов

Институт криосферы Земли, ФИЦ Тюменский НЦ СО РАН, Тюмень

vlad.sheinkman@mail.ru

Авторами анализируются материалы, полученные ими в итоге многолетних наблюдений на севере Западной Сибири. Эти материалы характеризуют развитие географической среды в данном регионе в плейстоценовых позициях палеокриологии и криопедогенеза и показывают внеледниковое развитие севера Западно-Сибирской низменности в квартере. В основу подхода авторов был положен комплексный анализ изучаемых объектов гляциального и мерзлотного происхождения, объединенных в условиях региона единой криогенной системой. Освещен опыт применения подхода для анализа причин противоречий о формировании комплекса всех криогенных объектов, включая гляциальные, а также для разрешения этих противоречий. Дается анализ гляциологической ситуации в регионе для типичных криохронов плейстоцена, и на этой основе показаны характерные черты развития рассматриваемой территории, свидетельствующие о невозможности существования на рассматриваемой территории ледниковых щитов. Представлены материалы о палеокриологическом развитии территории севера Западносибирской низменности в квартере в целом – с широким представлением следов бывшего глубокого промерзания горных пород, которое несовместимо с развитием ледниковых щитов. Эти следы представлены ясно выраженными криогидроморфными палеопочвами, впервые обнаруженными авторами в регионе, иполигонально-жильными структурами, сформированными в виде псевдоморфоз по полигонально-жильному льду. И те, и другие широко распространены в данном регионе и подчеркивают внеледниковое развитие севера Западно-Сибирской низменности в плейстоцене.

## **Анализ деятельности ледников с позиций взаимодействия оледенения и криолитозоны и интерпретация их следов на основе принципа актуализма**

В.С. Шейнкман

Институт криосферы Земли, ФИЦ Тюменский НЦ СО РАН, Тюмень

vlad.sheinkman@mail.ru

Многолетние исследования, проведенные автором при изучении современных и древних ледников и сопутствующих им мерзлотных явлений, позволили собрать большой фактический материал, на основе которого, опираясь, прежде всего на принцип актуализма, был проанализирован потенциал проведения ледниками геолого-геоморфологической работы. На этой основе рассмотрены и оценены формы геологической деятельности ледников, а также возможность их погребения на длительное время. Сделан вывод, что, опираясь на принцип актуализма, ряд устоявшихся, исторически сложившихся стереотипов в отношении большой разрушительной деятельности ледников необходимо пересмотреть и соответственно изменить подходы к ряду палеогляциологических реконструкций. Особенно это касается обладающих малой энергией ледников Сибири, которые всегда, и в прошлом, и в настоящее время формировались на фоне глубокого промерзания горных пород и были тесно связаны с мерзлотными явлениями – их совместную деятельность следует рассматривать в рамках единой криогенно-гляциальной системы. На примере ключевых гляциальных объектов автором рассматриваются различные варианты взаимодействия ледников с другими элементами таких систем для современных ситуаций и потенциальное развитие подобных систем в периоды похолодания климата в прошлом.

## Баланс массы опорных ледников в Кыргызстане за 2021-2022 гг.

Е.А. Шкуринова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический ф-т  
shkurinova01@mail.ru

Кыргызстан является одним из крупнейших центров современного оледенения Центральной Азии. Благодаря ледникам происходит равномерное распределение водных ресурсов в течение года, они вносят большой вклад в водообеспечение нижележащих территорий. Исследования ледниковых систем в Центральной Азии становятся все более актуальными в связи с изменением климата в аридной зоне, что может приводить не только к уменьшению запасов водных ресурсов, но и к активизации опасных природных процессов, таких как наводнения, сели, оползни, засухи и др.

Был смоделирован баланс массы четырёх опорных ледников Кыргызстана: Абрамова (Алайский хр., Гиссаро-Алай), Голубина (Киргизский хр., Северный Тянь-Шань), №354 (массив Ак-Шийрак, Внутренний Тянь-Шань) и Западный Суёк (хр. Джетим-Бель, Внутренний Тянь-Шань) за 2021-2022 гг. Использовалась пространственно-распределенная модель, оценивающая аккумуляцию и абляцию на поверхности ледника (Носк, 1999; Hussetal, 2008). Учитывались следующие параметры: температура воздуха, количество осадков, коротковолновое солнечное излучение и радиационные факторы для ледяных и снежных поверхностей ледника. Для калибровки модели использовались данные полевых работ лета 2022 г. В результате были построены поля поверхностного баланса массы, графики его изменения в зависимости от высоты поверхности ледника в течение гидрологического года.

За 2021-2022 гг. баланс массы опорных ледников Кыргызстана был отрицательным. Рассчитанные значения баланса массы для исследуемых объектов приняли следующие значения в метрах водного эквивалента: л. Абрамова (-0,81 м в.э.), л. Голубина (-1,55 м в.э.), л. №354 (-0,79 м в.э.) и л. Западный Суёк (-0,98 м в.э.). Баланс массы в этот же период на других опорных ледниках Кыргызстана также имел отрицательные значения: №599 (-1,46 м в.э.), Кара-Баткак (-0,81 м в.э.), Борду (-1,27 м в.э.), Сары-Тор (-1,27 м в.э.), что объяснялось повышенными средними годовыми и летними температурами и снижением количества осадков в исследуемом году. На ледниках Абрамова и Голубина летние температуры 2022 г. были на 0,8°C и 0,6°C выше средних за 2011-2021 гг., а годовое количество осадков примерно на 25% ниже среднего на обоих ледниках. На метеостанции Тянь-Шань, расположенной у ледников Западный Суёк и №354 средние температуры за год и лето незначительно отличались от прошлых лет, но прослеживалось снижение количества осадков в исследуемый период на 22 мм (7%) по сравнению со средними значениями, что отразилось на балансе массы ледников Внутреннего Тянь-Шаня. Таким образом, в Кыргызстане продолжается тенденция к деградации оледенения.

## **Ultrasensitive determination of mercury in ice-core and snow samples by CV-ICP-MS and AFS**

S.S. Eyrikh \*

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, 656038 Barnaul, Russia

\*steyrikh@gmail.com

Extremely low mercury concentrations in ice and snow, especially in remote areas, require ultra-sensitive analytical techniques as well as a contamination-free methodology. The potential of two analytical methods based on inductively coupled plasma sector field mass spectrometry (ICP-SFMS) and atomic fluorescence spectrometry (AFS) have been studied for Hg determination in snow and ice-core. Both techniques were tested on Hg standard solutions, artificial MQ-ice, and real ice and firn samples. A strict control of possible contamination problems from field sampling to laboratory analysis has been done. All preparation steps were performed under clean room (class 100) and cold room (-20°C) conditions in the Paul Scherrer Institute (PSI, Switzerland). Basically in Hg analysis we followed the recommendations of US EPA method 1631 for total Hg determination using BrCl oxidation. Analytical possibilities of the CV-ICP-MS method with a Hydrogen Generator (ELEMENT, Finnigan MAT, USA) were improved to obtain a detection limit of 0.05 ng/L, while the optimization of instrumental parameters of a mercury analyzer based on CV AFS ("Mercur", Analytik Jena, Germany) allowed to achieve a detection limit as low as 0.025 ng/L. Sensitivity of both methods was sufficient for the Hg determination at low concentration level in snow and ice samples. However, AFS method was chosen as a faster and easier operated, yet reliable method for Hg determination. Analytical accuracy was verified by determining Hg concentrations in a certified reference material. The established analytical method has been applied to samples of snow from the Alps and Altai regions and to paleoarchival ice core samples. Analytical developments of Hg determination in snow and ice at ultra-low concentration level will be presented here, as well as results obtained from the Altai and the Alps snow to assess the present Hg pollution level and from the ice core of the Belukha Glacier to assess natural and anthropogenic Hg emissions on a historical scale.