



ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

(предварительная версия)

**XVII гляциологического симпозиума
"Роль криосферы в прошлом, настоящем и будущем Земли"**

17- 20 ноября 2020 г.

г. Санкт - Петербург

Мероприятие проводится Институтом географии РАН и ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-05-20021)

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

1. В официальную редакцию сборника войдут только тезисы докладов, представленных на симпозиуме очно и в онлайн.
2. Официальной редакции Сборника тезисов будет присвоен номер ISBN.

Spatial distribution of snow density on Svalbard glaciers from POLSAR

G. Singh¹, I. I. Lavrentiev², A. F. Glazovsky²

*¹Centre of Studies in Resources Engineering, IIT Bombay, Mumbai 400076, India;
(gulab.singh@iitb.ac.in)*

²Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Russia

Near surface snow density affects energy and surface mass budget. The near surface density is influenced by snowfall, snowmelt, wind drift and snow metamorphism. Snow density is also an important parameter for GPR based snow depth retrieval. However, it is poorly studied, snow density should be estimated.

Satellite remote sensing promises great potential in the snow study due to its repetitive monitoring capability and synoptic coverage. Microwave radar sensors are ideally suited for space imaging because almost all the sensors are weather independent, and microwaves propagate through the atmosphere with little deteriorating effects due to clouds, storms, rain, fog, aerosol saturation and haze. Radar remote sensing with its sensitivity to the dielectric and geometric characteristics of objects, and potential to acquire subsurface information, is one of the most promising approaches for predicting the snowpack density. Moreover, remote sensing with polarimetric radar offers an efficient and reliable means of collecting information required to extract snowpack layers which is not possible with optical methods.

The density retrieval algorithm utilizes fully polarimetric ALOS-2/PALSAR-2 data sets acquired on April 04, 2015, field observations, and other ancillary information. The algorithm also involves the utilization of generalized volume scattering parameter from the generalised Singh-Cloude decomposition model. The estimation of snow density using fully polarimetric SAR data are based on physical modelling of the permittivity. The volume permittivity of the snowpack is derived from the Fresnel transmissivity coefficients. The retrieved permittivity is used to determine the snow density using empirical model.

Nine snow pits (field data) measurements were carried out within near-real time of satellite passing over the area of Austre Grønfjordbreen, Western Nordenskiöld Land region, for collecting density. These field observations are further used for validation of the results obtained from the inversion algorithm. It is also found that the model-estimated snowpack density is highly congruent with the field-measured snowpack density. The mean absolute error of snowpack density is found to be 23.8 kg/m³, which are well within the range of acceptable value.

Acknowledgments: this study was supported by the BRICS Science, Technology and Innovation Framework Programme (BRICS STI FP) for project ‘Col-GaSS’ from the Department of Science and Technology, India (project no. DST/IMRCD/BRICS/PilotCall1/Col-GaSS/2017 (G)) and the Russian Foundation for Basic Research, Russia (Project no. 17-55-80107).

Советская и российская гляциология со времени Международного геофизического года до наших дней

В.М. Котляков

Институт географии РАН

Современная гляциология (в части изучения ледников) в Советском Союзе начала своё развитие со времени Международного геофизического года, когда на территории СССР работали 11 гляциологических стационаров и широкие работы проводились в Антарктиде. В конце 1960-х годов создана Советская секция гляциологии (председатель Г.А. Авсюк), организовавшая систему периодических гляциологических симпозиумов (за 60 лет состоялось 16 таких симпозиумов), начал издаваться профессиональный журнал (в 1961–2009 гг. «Материалы гляциологических исследований», с 2010 г. журнал «Лёд и Снег»). В 1970-х – 2000-х годах организованы постоянные наблюдения за колебаниями ледников по общей программе, разработанной Рабочей группой Секции гляциологии под руководством П.А. Шумского. С 1974 г. начаты обширные работы по созданию Атласа снежно-ледовых ресурсов мира, в которых участвовало около 300 специалистов из разных городов Советского Союза. Работы продолжались около 20 лет и завершились в 1997 г. изданием Атласа, получившего широкую мировую известность и отмеченного в 2001 г. Государственной премией Российской Федерации в области науки и техники. Позже под руководством Т.Е. Хромовой была подготовлена электронная версия этого Атласа. Своего пика советские гляциологические исследования достигли в 1970–80-х годах, когда проводилась обработка богатейшего материала, собранного на ледниках в периоды Международного геофизического года и Международного гидрологического десятилетия, в своём расцвете были постоянные наблюдения за колебаниями ледников. В наше время российские исследования продолжаются на ледниках Советской Арктики и Шпицбергена, на Полярном Урале, Кавказе, Алтае, Камчатке. В последние годы произошла смена поколений – очень важно продолжать широкие ледниковые исследования с использованием всех достижений последних лет.

Spatial and temporal variability of snowpack depth on Svalbard glaciers from GPR and POLSAR measurements

G. Singh¹, I. I. Lavrentiev², A. F. Glazovsky², A. Patil¹, S. Mohanty¹, G. A. Nosenko²

*¹Centre of Studies in Resources Engineering, IIT Bombay, Mumbai 400076, India;
(gulab.singh@iitb.ac.in)*

²Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow 119017, Russia

The behaviour of snow depth (SD) with several polarimetric parameters at the L-band is studied. Fully polarimetric SAR data from ALOS-2/PALSAR-2 was used to generate the polarimetric coherence and 6SD decomposition powers. These parameters are studied with the help of the ground-truth GPR measurements that were carried out in near real-time. The resolution of GPR measurements are reduced to match the resolution of the SAR products. After relating the SD with the polarimetric parameters, the following results are obtained.

The firn areas demonstrate variations in scattering powers, especially in the compound scattering powers, which is indicative of the heterogeneity of the medium and the associated anisotropy effect. Four different polarimetric parameters have been introduced to show their relationship with snow depth. Among them, the co-polarization coherence (between HH and VV) and the ratio of volume to double-bounce scattering powers show a good correlation with the snow depth.

A negative correlation is found with the double-bounce scattering power. This relationship is tested with two sets of GPR points, i.e., the ones used for testing as well as the set used for validation. The study is taken further by introducing a snow depth inversion algorithm using the combination of these polarimetric parameters. Among the univariate models for SD inversion, inputs with polarimetric coherence performed the best while the combination of coherence with normalized volume and double-bounce scattering powers demonstrated the power of the multivariate SD inversion process. An R^2 of 0.84 and RMSE of 0.18 are obtained with these inversions. The inverted SD using POLSAR data are also validated with the ground-based GPR measurements, showing a fairly good agreement. The error map generated between the POLSAR inverted SD and GPR measurements indicated positive errors near the terminus and negative errors to the south-west part of the Austre Grønfjordbreen.

While shallow depth snow accumulation explains the positive error difference, uncertainty in the extrapolation of the field points could provide a plausible explanation for the negative errors. We have even extended the analysis to demonstrate the spatial and temporal variability in snowpack depth estimated over the entire Western Nordenskiöld Land region. This is performed using multi-temporal POLSAR data that span over three different dates with varied snow precipitation conditions. Between 13 April 2015 and 15 May 2015, four to five significant snowfalls were recorded. Due to this, the SD on 15 May 2015 is greater than on 13 April. The increase in snow depth due to some heavy snow precipitation events is well captured by the proposed inversion equation using the POLSAR data. The proposed methodology is useful in continuous monitoring of the spatial and temporal variability of snow cover depth. However, it is noticed that when the snow thickness is less than 0.75 m near the terminus, the discrepancy between POLSAR and RES interpolated snow thickness (depth) is more than 1.2 m, covering 8.7% of total glacier area. This issue with the proposed method related to shallow snow depth retrieval can be addressed in the near future.

Acknowledgments: this study was supported by the BRICS Science, Technology and Innovation Framework Programme (BRICS STI FP) for project ‘Col-GaSS’ from the Department of Science and Technology, India (project no. DST/IMRCD/BRICS/PilotCall1/Col-GaSS/2017 (G)) and the Russian Foundation for Basic Research, Russia (Project no. 17-55-80107).

Back-calculation and the solution measures on the bahçesaray avalanche events

İbrahim Gurer⁽¹⁾, Ibrahim Ucar⁽²⁾, GökhanArslan⁽³⁾, SıtkıEraydın⁽⁴⁾

(1) Prof.Dr Civil Engineer Başkent Uni. Engineering Faculty, Civil Eng. Dept

(2) Dr, M. Sc Civil Engineer Floodis Engineering Design Office, Ankara

(3) M.Sc Civil Engineer in Civil General Directorate of Disasters Ankara

(4) M.Sc Forest Engineer, General Directorate of Forestry

On the 4th of February 2020, while a TCK loader is clearing the road from an old accumulated snow pack, presumably a powder avalanche occurred at Km 33 of Van Bahçesaray road, the location of the event was roughly 4 km before the Karabet Pass located at 3000 amsl, and a minibus with 13 passengers was hit, 5 died, 6 were rescued and 2 were missing. The location of the event is well known for the heavy snow fall, snow drift, and the road closure conditions around Bahçesaray town.

On the 5th February, a rescue group was formed of 300 people (including 11 soldiers, 9 village guards, 2 Fireman and relatives of the missing villagers) for searching 2 still missing, but a second avalanche which occurred on rescuers was much worse than the day before and all together 36 rescuers were dead.

Before the 7th February 2020, only one fireman is reported lost and, due to bad weather conditions, searching for him has been suspended. On the same day, Ministry of Interior has set up investigation group of 3 interrogators and they now investigate the event and find out the real background of the event. As a result of these avalanche series, 41 people have died, 84 have been injured, and one person is still missing.

In this study, avalanche back-calculations will be applied by using the Numerical Avalanche Simulation software Energy Line Based Avalanche Plus (ELBA+) combined with a Digital Elevation Model (DEM)-based potential release zone identification algorithm to analyze such a catastrophic and also human-made avalanche event. This type of modelling study gives us an opportunity to enable the run-out distances, flow velocities, impact pressure and flow height in the study area. Consequently, the proposed solution measures and whether it is possible to avoid this type of an avalanche in this region are going to be discussed.

Key Words: Avalanche, back calculation, case study from Turkey, Van, Bahçesaray

Влияние сейсмического процесса на современное оледенение массива Цамбагарав (Западная Монголия)

А.Р. Агатова^{1,2}, Р.К. Непон^{1,2}, ОтгонбаярДэмбэрэл³, Ганюшкин Д.А.⁴

¹ *Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия rnk@igm.nsc.ru*

² *Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия agatr@mail.ru*

³ *Университет Ховда, Ховд, Монголия*

⁴ *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

Сейсмогенные ледово-каменные лавины являются одним из катастрофических явлений в нивально-гляциальном поясе высокогорных хребтов Алтая, известного своей высокой сейсмичностью. В результате Цамбагаравского землетрясения ($M=6.4$), произошедшего 23 июля 1988 г., через 13 дней после главного толчка по долине р. Зуслан (массив Цамбагарав, Северо-Западная Монголия) сошла ледово-каменная лавина длиной около 5 км (Авдеев и др., 1989).

После землетрясения наблюдения в долине р. Зуслан проводились нами дважды, в 2004 и 2019 гг. - через 16 лет и 31 год после события. По результатам наблюдений сделаны следующие выводы: 1) ледник, подвергшийся сейсмогенной деформации и одномоментно потерявший значительный объем льда, деградировал быстрее остальных схожих по размерам ледников на склоне той же юго-западной экспозиции. В настоящее время он стабилизировался, но имеет намного меньшие размеры, чем «соседи»; 2) в климатических условиях Монгольского Алтая деградация льда в ледово-каменной лавине, вынесенной за пределы нивально-гляциального пояса, произошла в основном в первые 10-15 лет после события (к 2004 г.), но полностью лед вытаял через 30 лет (возможно, несколько раньше); 3) отложения и формы рельефа, возникшие в ходе деградации ледово-каменной лавины напоминают ледниковые отложения и формы рельефа, а обломочный чехол отложений лавины в нижней части долины полностью повторяет рельеф подстилающих морен, что может привести к неверной интерпретации возраста ледниковых событий в массиве Цамбагарав (при незнании сейсмического происхождения данных отложений).

Исследования проведены при поддержке РФФИ (гранты №№ 19-05-00535; 18-05-00998).

Ледники Корякского нагорья: оценка по космическим снимкам и на местности.

М.Д. Ананичева, А. А. Алейников, Г.Ю. Пакин

Институт географии РАН

Представлены предварительные результаты дешифрирования и анализа космических снимков (Sentinel-2A/B, 2019 г. и Ресурс-П, 2018 г.) с целью определить гляциологические характеристики ледников Корякского нагорья, такие как ледниковые площади, длины. Высоты нижней и верхней точек ледников, границ питания - определялись по детальным цифровым моделям рельефа 2016-2018 гг., полученных с сервиса Arctic DEM. Анализировались ледники большой группы северной части и меньшей по количеству ледников – южной части нагорья. Были выделены три группы объектов: ледники с открытым льдом (3 тип), ледники, покрытые каменным чехлом (2 тип), и возможно объекты, относящиеся к каменным глетчерам (1 тип). Из-за большой степени покрытости ледников каменным и моренным чехлом существовала неопределенность в отношении точности дешифрировании их размеров, поэтому определялись максимальные и минимальные их значения. Среднее отступление (уменьшение площади) ледников 3го типа от времени, указанном в Каталоге ледников СССР для северной части составило 0,42-0,35 км², для южной части 0,42-0,40 км², 2го типа – 0,18-0,13 км² и 0,15-0,13 км², и 1 типа (глетчеры) – 0,9 – 0,7 и 0,5 -0,4 км², соответственно. Соотношение *средних* площадей этих трех типов кратно примерно трем, т. е площади ледников 1 типа меньше 2-го в три раза, а площади 2-го типа меньше в три раза площадей 3-типа.

Для ледников с открытым льдом анализировалось отступление по экспозиции, большинство характеризуется С, СВ или СЗ румбами, их сокращение площади - 0,43-0,33 км², ледники других экспозиций, их заметно меньше, сократились на 0,35-0,30 км². Эти тенденции согласуются с климатическими условиями – бОльший рост летних температур и уменьшение твердых осадков зафиксировано на станциях, расположенных ближе к северной части нагорья. На выпадение твердых осадков (питание ледников) в этом регионе влияет положение Сибирского антициклона. Известно, что движение антициклонов по «Карской» оси сопровождается сильным «распуханием» сибирского антициклона на всю территорию Евразии. Б.П. Мультановский назвал этот процесс «внедрением Сибирского антициклона на запад». Степень сокращения оледенения также была рассчитана для отдельных бассейнов, выделенных в Каталоге ледников СССР.

Высоты границ питания (ВГП), рассчитанные по методу Гефера-Куровского для всех ледников, в том числе глетчеров, в северной части Корякского нагорья в среднем 1014 и 1023 м над у м, для южной части гораздо ниже 597-591 м. Среди ледников всех типов конкретно северных румбов ВГП в среднем 980-970 м над у.м., объектов других румбов – выше 1000 -991 м. В работе представлены поля ВГП для изучаемого района.

Целью экспедиционных исследований, которые планируются в середине августа 2020 г., является изучение реакции на изменение климата каровых ледников берегового Пылгинского хребта Корякского нагорья, которые можно отнести к типу субполярных высокоширотных с морским климатом, а некоторые - к типу слабо континентальных. На местности будут проведен ряд исследований (ГИС-съемка, термометрия, наличие донного таяния, описание стадияльных морен). Важной задачей экспедиционных работ послужит проверка точности оценок гляциологических параметров, сделанным с помощью космических снимков.

Работа сделана при поддержке Гранта РФФИ №19-05-00822

Оценка прочностей и толщин льда редкой повторяемости для акватории Карского моря.

Андреев О.М., Драбенко Д.В., Виноградов Р.А.

ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург

Для акватории Карского моря на основании оценок «сумм градусодней мороза» за холодный период года представлен способ подготовки исходных метеорологических данных редкой повторяемости. Для рекомендованного ВМО климатического периода 1980-2010 гг. с использованием данных метеорологического реанализа ERA-Interim получены ряды температур воздуха редкой повторяемости. Проведено сравнение полученных оценок температур со статистическими данными береговых метеорологических станций. Полученные ряды метеорологических данных редкой повторяемости подготовлены для использования в термодинамической модели.

В результате проведенных по термодинамической модели расчетов получены оценки потенциальных толщин ровного льда акватории Карского моря для средних и экстремальных климатических условий. Проведено сравнение полученных результатов с материалами наблюдений на прибрежных ГМС и с материалами доступных экспедиционных данных. Получено хорошее соответствие наблюдаемых и рассчитанных значений толщины ровного льда для «среднего» климатического года. Дается необходимое разъяснение относительно разницы в полученных оценках экстремальных толщин льда (между наблюдаемыми и расчетными величинами).

С использованием данных термодинамического моделирования проведены оценки прочностных характеристик льда (пределы прочности льда на сжатие и изгиб) редкой повторяемости для акватории Карского моря. Показано, что полученные величины прочностных характеристик льда имеют значительную внутрисезонную изменчивость и, в целом, не противоречат данным натурных наблюдений.

Изотопный состав льда ледников Юго-Восточного Алтая

Банцев Д.В.¹, Ганюшкин Д.А.¹, Екайкин А.А.^{1,2}, Токарев И.В.¹, Чистяков К.В.¹

1-Санкт-Петербургский государственный университет

2- Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

В период с 2012 по 2019 гг. производился отбор проб льда ледников Юго-Восточного Алтая. Основные районы исследования: массивы Монгун-Тайга, Табын-Богдо-Ола и Цамбагарав. Отбор проб производился в зонах абляции наиболее крупных ледников на территории данных массивов.

Были установлены средние изотопные характеристики льда. Данные значения могут быть использованы в дальнейшем при изотопном разделении гидрографа для определения вклада талых вод в сток высокогорных рек.

Показано отсутствие заметного вклада конжеляционного льдообразования в формирование льда. Также была отмечена основная роль осадков переходных сезонов (весна и осень) в питании ледников.

Наиболее тяжелый изотопный состав льда ($\delta^{18}\text{O}$ -16,9 ‰) отмечен на ледниках массива Цамбагарав, наиболее легкий ($\delta^{18}\text{O}$ -19,4 ‰) на территории массива Табын-Богдо-Ола. Различия в средних изотопных характеристиках объясняются местными климатическими особенностями.

Исследование проводилось при поддержке гранта РФФИ 9-05-00535 А «Природные катастрофы и трансформация ландшафтов юго-восточного Алтая и северо-западной Монголии в период с максимума последнего оледенения».

Отступление высокольдистых берегов острова Белого по материалам разновременной космической съемки

Баранская А.В., Новикова А.В., Огородов С.А.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, НИЛ геоэкологии Севера
Alisa.baranskaya@yandex.ru*

Усиление размыва берегов - одна из значительных угроз, вызванных глобальным изменением климата. Особенно быстро отступают арктические берега, сложенные многолетнемерзлыми породами. Для таких берегов увеличение энергии волн, вызванное уменьшением площади морского льда и увеличением безледного периода, и рост температуры приводит к увеличению размыва в последние десятилетия.

Термоабразия - разрушение берегов, сложенных мерзлыми грунтами; она включает механический размыв, с одной стороны, и оттаивание, вызванное тепловым воздействием, с другой стороны. Этот процесс особенно динамичен в высоких широтах, где многолетнемерзлые породы обладают наиболее низкими температурами, а увеличение безледного периода приводит к длительному контакту волн с уступами, которые ранее были защищены припаем в течение большей части года. Остров Белый в Карском море - одно из самых холодных мест на севере Западной Сибири. Его берега подвергаются значительному риску усиления термоабразии из-за их низкой высоты и наличия нескольких волноопасных направлений.

Для определения скоростей отступления берегов острова Белого использовались разновременные космические изображения: Согопа КН-4, снятый в 1969 г. и находящаяся в свободном доступе цифровая модель рельефа ArcticDEM, построенная на основе снимков WorldView 2016 года. После взаимной привязки изображений проводилось дешифрирование положения термоабразионных уступов в 1969 и 2016 г.; в программном пакете ArcGIS оконтуривалась бровка уступов. Вычисление скоростей отступления берегов производилось в программе DSAS 5.0 (DigitalShorelineAnalysisSystem) (Himmelstossetal., 2018). Вычисленные погрешности полученных скоростей отступления берегов не превышают 0,2 м/год.

Изученные сегменты термоабразионных берегов в западной и восточной части острова отступали со сравнимыми скоростями от 0,5 до 4,4 м/год в среднем за 47 лет. Полученные значения превышают скорости термоабразии на более южных участках побережья Карского моря на западном Ямале и берегах Байдарацкой губы, несмотря на то, что на о. Белом не обнаружено пластовых льдов, в отличие от упомянутых участков. Причина столь быстрого отступления берегов – высокое содержание в береговых уступах жильных льдов, низкая высота уступа, из-за которой размыв одного и того же объема пород приводит к большему расстоянию отступления, а также увеличение продолжительности безледного периода в последние десятилетия.

Исследования проведены при поддержке проекта РФФИ 20-35-70002.

Литература: Himmelstoss, E.A., Farris, A.S., Henderson, R.E., Kratzmann, M.G., Ergul, Ayhan, Zhang, Ouya, Zichichi, J.L., and Thieler, E.R., 2018. Digital Shoreline Analysis System (version 5.0)

Оценка скоростей течения льда на леднике Колка (Кавказ) по разновременным наземным снимкам

Е.И. Башкова¹, К.А. Аристов¹, Д.А. Петраков¹, Д.Д. Стрельцов² Н.В., Коваленко¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия;

*²Российский химико-технический университет имени Д.И. Менделеева, Москва, Россия.
ekateribashkova@gmail.com*

Ледник Колка, обрушившийся в долину реки Геналдон 20 сентября 2002 года, на данный момент находится на стадии восстановления и интенсивно набирает объём. Область питания ледника расположена под склонами г. Джимарай-хох, но рост высоты поверхности отмечается на большей части Колки. Причиной этого, вероятно, является интенсивное перераспределение массы за счет движения льда. Оценка скоростей течения льда на Колке проводилась по разновременным наземным фотоснимкам за период с июля 2017 г. по август 2018 г. и с августа 2018 г. по июль 2019 г.

Благодаря наземной фотосъёмке становится возможным более точно распознать объекты, маркирующие движение льда. Преимущество разновременных наземных снимков перед космическими заключается в том, что получение данных о гляциологическом объекте возможно с любой частотой и более высоким разрешением изображений. В рамках данной работы камера слежения фотографировала ледник Колка с частотой 8 раз в сутки (каждые 3 часа), размер изображений составил 3,15 Мп. Пространственное разрешение с учетом расстояния до центра снимка (1,5 км) составляет 0.15-0.30 м/пиксель (на переднем и заднем плане). Пространственное разрешение наземной фотосъёмки более чем на порядок выше, чем у космических снимков, находящихся в свободном доступе и превышает разрешение современных коммерческих спутников.

Полученные изображения были предварительно обработаны в программе Photoshop с целью улучшения качества изображения. Скорости течения льда были рассчитаны с помощью специального программного обеспечения (ПО) PythonTracking. Данное ПО кодируется на Python - языке программирования с открытым исходным кодом в свободном доступе. Для работы с данной программой необходимо иметь следующие данные: набор предварительно обработанных снимков, параметры калибровки камеры (фокусное расстояние, центр изображения и т.д.), опорные точки и их координаты, цифровую модель рельефа. Данное ПО применяется для распознавания и измерения характеристик (расстояния, размеров, скоростей и т.д.).

Было выявлено, что на леднике Колка в период с июля 2017 г. по август 2018 г. значения скоростей течения изменялись от 0,17 м/сутки (минимум – февраль) до 0,36 м/сутки (максимум – июль). Средняя скорость течения льда составила 0,25 м/сутки. Для периода 2018/19 года были получены следующие результаты: максимум скоростей течения льда составил 0,26 м/сутки и наблюдался в ноябре 2018 года, а минимум – 0,18 м/сутки в октябре. Средняя скорость течения льда в период 2018/19 гг. была равна 0,23 м/сутки.

Было установлено, что скорости течения льда на леднике Колка выше значений, которые были получены на опорных для Центрального Кавказа ледниках Джанкуат и Гарабаши на 72 и 80% соответственно. Это может быть обусловлено балансовой спецификой ледника Колка.

Изменения активности гляциальных селей в Заилийском Алатау во второй половине XX – начале XXI веков

А.Р. Медеу¹, В.П. Благовещенский^{1}, Н.Е. Касаткин¹, В.П. Капица¹, М.К. Касенов²,
Раймбекова Ж.Т.³*

¹Институт географии Министерства образования и науки Республики Казахстан, Алматы, Казахстан; ²Государственное учреждение «Казселезащита» Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан, Алматы, Казахстан

³Казахский национальный университет имени аль-Фараби

** victor.blagov@mail.ru*

Changes in the activity of glacial mudflows in Zailiysky Alatau in the second half of 20th and the beginning of 21st centuries

A.P. Medeu¹, V.P. Blagoveshchenskiy^{1}, N.E. Kasatkin¹, V.P. Kapitsa¹, M.K. Kasenov²,
Раймбекова Ж.Т.³*

¹Institute of Geography, Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan;

²State Agency «Kazselezashchita», Committee Emergency Situations of Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

³Al-Farabi Kazakh National University

** victor.blagov@mail.ru*

Заилийский Алатау является самым селеопасным горным районом Республики Казахстан. В то же время этот район является одним самых густонаселенных и экономически развитых районов. Поэтому сели здесь наносят большой ущерб. В статье выполнен анализ активности гляциальных селей за период с 1900 по 2019 гг. В качестве показателей селевой активности использовались число и суммарный объем гляциальных селей в год. В Заилийском Алатау за 120 лет наблюдений зарегистрирован 481 сель. Из них 24 % гляциальными. Эти сели являются самыми крупными и разрушительными. Из девяти селей объемом более 1 млн м³ семь селей были гляциальными. В статье приводится хроника селевых катастроф. Всего с 1950 по 2019 гг. в Заилийском Алатау отмечено 87 гляциальных селей. Из них 16 селей имели объем более 100 тыс. м³. Самыми крупными были сели в 1977 (6,0 млн м³), 1963 (5,8 млн м³), 1958 (4,0 млн м³), 1973 (3,8 млн м³). Причинами образования гляциальных селей являются прорывы моренных озер или подземных водоемов, а также обрушение склонов морен. Самые крупные сели образуются при прорывах озер поверхностным путем. Количество гляциальных селей росло с 1951 г. и достигла максимума в 1970-х годах. С 1978 г. число гляциальных селей стала снижаться, хотя их объемы сохранялись большими до конца 1990-х годов. С 1997 по 2013 годы селевая активность была низкой. Из 15 лет 11 были без селей. В год сходило всего по одному селю, а объемы селей не превышали 10 тыс. м³. С 2014 года наметилась тенденция увеличения селевой активности. Крупные гляциальные сели отмечены в 2014 и 2019 годах. Для защиты от селей в долинах Заилийского Алатау построено 14 плотин и намечено строительство еще двух. Для предотвращения прорывов моренных озер проводится их опорожнение с помощью насосов и сифонов. В 2019 г. началось создание сети автоматизированного мониторинга раннего предупреждения о селях, которая охватит все долины северного склона Заилийского Алатау.

Работа выполнена при поддержке Комитета Науки Министерства образования и науки Республики Казахстан по проекту «Селебезопасность Республики Казахстан» № AP05132214.

Выявление скрытых ледниковых трещин по материалам беспилотной аэрофотосъемки.

О.Т. Ишалина, Д.П. Бляхарский

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Санкт-Петербург, Россия

В Антарктиде на данный момент действует 5 Российских круглогодичных полярных станций. 4 станции прибрежные (Белингаузен, Новолазеревская, Прогресс и Мирный) и одна внутриконтинентальная (Восток). Для снабжения станции Восток организовываются снежно-гусеничные походы. Отправной точкой является станция Прогресс.

На пути встречаются большое количество трещин. Наибольшую опасность для участников похода представляют скрытые трещины, имеющие «снежный мост». Однозначного подхода к распознаванию подобных трещин на данный момент времени не существует. Однако выделяют наземный подход и дистанционный. Первый подход основан на георадарном профилировании, второй на использование данных дистанционного зондирования. Безопасность и эффективность георадарного профилирования вызывает сомнения. Развитие дистанционного зондирования привело к интенсивному применению беспилотных авиационных систем (БАС) для задач аэрофотосъемки.

Для безопасного выявления скрытых ледниковых трещин предлагается использовать БАС. Открытые трещины легко дешифрируются по ортофотоплану, скрытые трещины распознаются на основании анализа цифровой модели поверхности ледника. В основе анализа находится два предположения:

- 1) Скрытая трещина содержит полое пространство, соответственно образуется некоторая «канавка», положение которой может быть определено с использованием расчета геоморфометрических величин.
- 2) Наличие канавки приводит к изменению текстуры и структуры микрорельефа поверхности ледника, соответственно можно воспользоваться текстурным анализом. Классическим вариантом подобного анализа является расчет текстурных характеристик Харалика.

На начальном участке (30 км) трассы санно-гусеничного похода была произведена аэрофотосъемка общей площадью 100 км². Для верификации предложенных методов выявлено 15 скрытых трещин, определена вероятность распознавания трещин каждым из методов. Выполнен поиск скрытых трещин на всей площади аэрофотосъемки, определено 18 новых трещин.

Изменение климатических факторов формирования лавинных процессов на Сахалине

Д.А. Боброва^{1}, А.И. Казаков²*

¹ФГБУН Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия

*²ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия
darya-kononova@yandex.ru

Климат является главным и наиболее изменчивым фактором формирования большинства опасных процессов. Наряду с его цикличностью, внезапностью и случайностью существует также тенденция к его изменению, что особенно заметно в последние три десятилетия – на планете наблюдаются резкие изменения климатических параметров. Преимущественно это связано с ростом среднегодовых температур, что влияет на различные сферы человеческой деятельности.

Наиболее актуально влияние потепления на экономику и хозяйство, воздействие на флору и фауну, изменения в проявлении опасных природных процессов.

Так, например, на фоне роста температур воздуха в холодное время года происходит изменение лавинного режима. Исследования, проведенные другими авторами, показывают, что в некоторых регионах за счет изменения климатических параметров происходит сокращение температурного градиента внутри снежной толщи, что ведет к перераспределению долей лавин разного генетического класса, имеющих различные значения динамических характеристик

Поскольку Сахалинская область является регионом с высокой степенью проявления лавинных процессов, исследование динамики климатических параметров в регионе является актуальной задачей. На Сахалине наблюдается повышение среднегодовой температуры воздуха преимущественно за счет повышения значений температуры в зимние месяцы, кроме того, растет количество осадков, при этом количество твердых осадков увеличивается интенсивнее, таким образом, растет и их процент от общего количества осадков за год. Наблюдаются изменения в циркуляции воздушных масс, происходит изменение в скорости и направлении ветров, что ведет к формированию лавин в тех лавиносборах, где ранее на протяжении последних пяти десятилетий схода лавин не наблюдалось.

Конвективная неустойчивость воздуха в двухслойном снежном покрове сезонно-талых грунтов

П.В. Богородский, В.Ю. Кустов, В.В. Мовчан

Арктический и Антарктический НИИ, С.-Петербург, Россия

Рассмотрено возникновение макроскопического движения паровоздушной смеси в расположенной на поверхности грунта системе двух горизонтальных слоёв снега с проницаемой общей границей. Аналитическое решение задачи устойчивости в приближении Дарси-Буссинеска в длинноволновой асимптотике получено методом разложения амплитуд возмущений вертикальной скорости и температуры воздуха в ряды по чётным степеням безразмерного волнового числа. Проведено параметрическое исследование задачи в зависимости от толщин слоёв и их теплофизических свойств (коэффициентов теплопроводности, проницаемости и пористости), параметризованных по эмпирическим соотношениям. Выявлено своеобразие конвективной теплопередачи в двухслойной пористой системе, показаны её качественные отличия от переноса в аналогичной системе из двух однородных несмешивающихся жидкостей. По данным прямых измерений в пограничном слое атмосферы и снежном покрове восточного побережья залива Грён-фьорд (о. Западный Шпицберген) оценены приближённые значения и временная изменчивость фильтрационных чисел Рэлея. Сформулирован вывод о реальности конвективного механизма в слоях снега и необходимости учёта его вклада в тепловой, массовый и газовый обмен атмосферы с грунтом.

Современное состояние криосферы региона моря Лаптевых

¹Большаинов Д.Ю., ²Григорьев М.Н.

¹ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» г. Санкт-Петербург, ул. Беринга д. 38, электронный адрес bolshiyanov@aari.ru

²Институт мерзлотоведения им. П.И.Мельникова СО РАН, г. Якутск, ул. Мерзлотная д.36, электронный адрес grigoriev@mpi.usn.ru

Рассматриваются составляющие режима подземного и наземного оледенения региона моря Лаптевых. Оледенение архипелага Северная Земля находится в стабильном положении. Увеличение потерь массы ледников в летний период компенсируется накоплением осадков в холодный период года. Ледники, имеющие высоту 600-700 м, даже на южном острове Большевик увеличивают высоту на первые метры в противоборстве летней абляции и зимнего накопления в течение периода инструментальных наблюдений 2013-2019 г.г. Малые пассивные ледники также находятся в стабильном состоянии. Катастрофическая подвижка ледниковой лопасти купола Вавилова вызвана длительным преобладанием накопления массы ледника и реализации напряжений выдвиганием ледниковой лопасти в направлении наименьшего сопротивления – в сторону моря.

Находящиеся уже несколько десятилетий в неблагоприятных условиях накопления массы ледники гор Бырранга, сокращаются, но медленно и без явной перспективы исчезнуть навсегда.

Пассивные ледники о. Арга-Муора-Сисе в с-з части дельты р. Лены исчезли после 50-х годов XX столетия в результате окончания Малого ледникового периода, но и в настоящее время на этой низкой суше снежный покров залегает наиболее длительное время.

Реликтовая подводная мерзлота моря Лаптевых распространена вдоль суши полосой-козырьком шириной до 15 км и на глубинах моря менее 15 м. На остальных акваториях вопреки моделированию она отсутствует или залегает в виде новообразованных линз. Заметные потоки метана поступают из земных недр по разломам земной коры вокруг дельты р. Лены, но не оказывают влияния на его концентрацию в приземном слое воздуха. Потоки метана из деятельного слоя грунта ничтожны и также не могут повлиять на его концентрацию в приземном слое воздуха.

Многолетний режим протаивания деятельного слоя грунта по наблюдениям на о. Самойловском носит периодический характер и колеблется в пределах 40-60 см по результатам 20-ти летних наблюдений. Многолетний режим температур в скважинах не показывает тенденции к растеплению мерзлоты за исключением тех скважин, которые находятся под техногенным влиянием.

Интенсивность разрушения льдистых берегов также носит периодический характер. Скорости разрушения берегов зависят в основном от тенденций в изменениях уровня моря, но также от состояния самого берега и пространственного нахождения в нём льдистых толщ (экспозиция периодически обнажающихся ледяных жил).

Таким образом, нет фактических данных об усиленном таянии ледников и растеплении многолетнемёрзлых пород в регионе моря Лаптевых, реликтовая подводная мерзлота которого уже давно исчезла и сохранилась только в береговой зоне моря.

Данные по подземному оледенению получены в результате проведения российско-германских исследований в регионе моря Лаптевых с 1993 по 2019 г.г., а также частично поддержаны грантом РФФИ 18-05-70091. Данные по динамике ледников Северной Земли и гор Бырранга получены в ААНИИ в результате исследований на Ледовой базе «Мыс Баранова» на о. Большевик.

Свидетельства плейстоценового возраста покровного оледенения в системе грабена Ламберта (Восточная Антарктида)

Большаинов Д.Ю.

ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» г. Санкт-Петербург, ул. Беринга д. 38, электронный адрес bolshyanov@aari.ru

Массив Фишер – один из участков гор Принс-Чарльз, обтекаемых самым крупным выводным ледником мира – ледником Ламберта, который, всплывая, переходит в шельфовый ледник Эймери толщиной до 800 м.

На восточном крутом склоне низкогорного массива обнаружена толща морских отложений мощностью до 380 м. В основании разреза, в точке с координатами 71°32'36"ю.ш., 67°46'41,1"в.д., на высоте 320-335 м над уровнем моря найдена 4-х метровая банка из морских гребешков *Austrochlamys tuftensis* (Turner, 1967). Раковины имеют диаметр до 13 см. В других склонах, на высотах около 380 м обнаружены пляжевые фации морских отложений с раковинами другого двустворчатого моллюска *Hiatella antarctica* (Philippi, 1845). Традиционно эти ледниково-морские отложения относятся к среднему миоцену и даже к олигоцену [Laiba Pushina, 1997; McKelvey et.al, 2001]. Великолепная сохранность собранных раковин и определённых бразильским палеонтологом Фернандой Куаглио как вида, жившего в позднем плиоцене-эоплейстоцене, заставила усомниться в столь древнем возрасте их вмещающих морских толщ.

В образцах также обнаружена дальнезаносная пыльца деревьев и трав, споры мхов, ныне произрастающих в северном и южном полушариях, богатые комплексы диатомовых водорослей, кости пингвинов, трубки полихет. Палеонтологические остатки свидетельствуют о том, что во время осадконакопления в районе грабена Ламберта существовало открытое океану море с температурами вод выше 3°C, возможно периодически замерзавшее, без влияния ледникового щита или шельфового ледника. Ландшафты напоминали современные, существующие в районе острова Южная Георгия. Географическое положение места свидетельствует, что в таком случае тогда, когда формировались эти отложения ни выводного, ни шельфового ледника в этом районе не существовало, а, значит, не было и ледникового покрова в этой части Антарктиды, который только и может питать такие мощные ледники системы Ламберта-Эймери, имеющие в настоящее время площадь ледосбора около 1 млн. км². Такая ситуация по существующим представлениям могла иметь место 30-40 млн. л.н., когда единого ледникового щита в Антарктиде ещё не существовало.

Абсолютное датирование раковин двустворчатых моллюсков методом ЭПР (860±83 тыс. л.н., лаб. № RLQG395-2-088 по кальцитовый раковине морских гребешков и 850±102 тыс. л.н., лаб. № RLQG 409069 по арагонитовой раковине *Hialella antarctica* (Philippi, 1845), проведённое А.Н.Молодьковым в Таллинском техническом университете, уверенно указывают на возраст около 855 тыс. лет. Исследованные отложения являются свидетелями отсутствия ледникового покрова в бассейне ледника Ламберта в раннем неоплейстоцене.

Литература

Laiba A.A., Pushina Z.V. Cenozoic Glacial-Marine Sediments from the Fisher Massif (Prince Charles Mountains). In Ricci, C.A., ed. The Antarctic region: geological evolution and processes. Siena: Terra Antarctica publications, 1997. 977-984.

McKelvey B.C., Hambrey M.J., Harwood D.M., Mabin M.C.G., Webb P.-N. and Whitehead J.M. The Pagodroma Group – a Cenozoic record of the East Antarctic ice sheet in the northern Prince Charles Mountains. // Antarctic Science 13 (4) (2001): 455-468.

Морской лёд арктического бассейна в свете современных и прошлых климатических изменений

И.И.Борзенкова, А.А.Ершова, К.О. Шаповалова

Государственный гидрологический институт, 2я линия В.О., 23, С.Петербург, РФ

E-mail: irena_borzen@mail.ru

Быстрое сокращение площади морских льдов в Арктике за последние десятилетия обусловлены их реакцией на повышение глобальной температуры. Морские льды являются прекрасными индикаторами состояния глобальной климатической системы, как в историческое время, так и в отдаленном прошлом.

Известно, что во время глобальных потеплений в прошлом площадь морского оледенения Арктики значительно сокращалась. Во время теплых интервалов плейстоцена увеличение в приходе летне-весенней солнечной радиации в результате астрономических факторов могло выступать в качестве триггера для начала процесса таяния льдов. В настоящее время таким триггером является рост эмиссии CO₂, что приводит к повышению, как глобальной температуры, так и в значительной степени и температуры всей арктической области.

Палеоклиматические реконструкции для теплых межледниковий плейстоцена и в середине голоцена, когда глобальная температура превышала современную на 1.0-1.5°C, площадь морского льда сокращалась и постоянный морской лёд превращался в сезонный (Борзенкова, 2016; Величко, 2010; Berger et al., 2013; Herold et al., 2012). Относительно небольшие изменения приходящей солнечной радиации в весенне-летнее время выступали в роли триггера для начала таяния.

В настоящее время эмиссия CO₂ может выступать в роли триггера для начала процесса таяния морских льдов в Арктике. Таким образом, можно предположить, что запущен механизм замещения многолетних льдов сезонными, что является естественным состоянием перехода от сезонных льдов к следующей стадии, этапу безлёдной Арктики.

Нами была предпринята попытка реконструкции площади морских льдов в Арктическом бассейне во время потепления на границе позднеледникоья/голоцена и во время потепления среднего голоцена. Для этой цели были использованы данные новых биомаркеров IP25 и HB T25, полученных при морском бурении в разных частях Арктического бассейна (Belt et al., 2007, 2019; Müller, 2016). Кроме того, привлекалась независимая информация об изменении видового состава растительности вдоль побережья и на островах Арктического бассейна в виде данных спорово-пыльцевого анализа более чем 150 континентальных и озерных разрезов.

Анализ этих данных свидетельствует о значительном сокращении площади морского оледенения во время потепления раннего голоцена (около 10600 календарных лет т.н.) и середине голоцена, во время длительного теплого интервала. Данные индекса IP25 по данным бурения в северной Атлантике показывают резкое сокращение площади морских льдов в конце похолодания позднего дриаса и на границе с голоценом на протяжении всего нескольких десятилетий.

Анализ современных и палеоклиматических данных позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время запущен механизм замещения многолетних льдов сезонными, что является естественным состоянием перехода от этапа преобладания сезонных льдов к безлёдной Арктики. Оценки, приведенные в работе (Stroeve and Notz, 2018) показали, что сокращение площади морского оледенения в Арктике прямо следует за увеличением выбросов CO₂ в атмосферу. Если предположить, что рост концентрации CO₂ в атмосфере будет продолжаться, несмотря на принимаемые меры его ограничения, радиационный форсинг может приблизиться к удвоению его концентрации, может осуществиться один из сценариев, имевших место в прошлом.

Работа выполняется при финансовой поддержке гранта РФФИ (18-05-60005) .

Изменение геометрии и внутреннего строения ледника Альдегонда, Шпицберген с 1999 г. по 2019 г. по данным повторных радиолокационных съёмок

*Борисик А. Л.*¹, Новиков А. Л.¹, Глазовский А. Ф.², Лаврентьев И. И.², Веркулич С. Р.¹*

¹ААНИИ, Санкт Петербург

²ИГРАН, Москва

**alexborisik@gmail.com*

Ледник Альдегонда расположен на западном берегу залива Грёнфьёрд в 10 км от посёлка Баренцбург, Шпицберген. По данным топографической съёмки 2018 г., ледник лежит в интервале высот 120-450 м над ур.моря и занимает менее 6 км². Сейчас весь ледник находится ниже фирновой линии, и продолжается его сокращение, начавшееся десятки лет назад: в период с 1936 по 2006 гг. ледник отступил на 980 м и потерял 40 % своего объёма.

Исследования ледника с 1974 г. включали дистанционное и наземное радиолокационное зондирование, масс-балансовые измерения и изучение его дренажной системы. Детальные наземные георадиолокационные наблюдения были выполнены сотрудниками ИГРАН в мае 1999 г. Эти данные указали на двухслойную политермическую структуру ледника, позволили построить карту его мощности и наметить положение внутриледникового канала в его южной части.

В последующие годы в сфере разработок георадиолокационного и спутникового оборудования появились новые технологические решения, повышающие точность позиционирования, а также пространственное и временное разрешение получаемых геофизических результатов. В частности, появились георадарные комплексы с улучшенными характеристиками, существенно расширяющие границы их применения, а также глобальные навигационные спутниковые системы позиционирования, позволяющие получать высокоточные координаты в процессе геофизических исследований.

В 2018-2019 гг. на леднике Альдегонда были выполнены наземные георадиолокационные исследования с применением геофизической аппаратуры нового поколения. Они были нацелены на получение детальных данных о мощности и строении ледниковой толщи, а также на выявление изменений параметров ледника со времени геофизических исследований 1999 г.

Выполненные георадиолокационные исследования позволили проследить границу подошвы ледника Альдегонда и сопоставить полученные значения глубин с предыдущими наблюдениями спустя 19 лет. В результате повторной обработки данных георадиолокации за 1999 г., удалось выделить и оконтурить участки «тёплого» льда и произвести их сопоставление с современными данными. Установлено, что площадь ледника за истекший период сократилась на 23,1 %, а объём на 34,5 %, при этом площадь «тёплого» ядра уменьшилась на 32,7 %, а его объём на 42,4 %. Из полученных зависимостей можно сделать вывод о постепенном «выхолаживании» ледника с последующим вероятным изменением его термического типа с политермического на холодный.

Работа подготовлена по теме Государственного задания № 0148-2019-0004 (АААА-А19-119022190172-5) и при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60067.

Процессы таяния-намерзания под ледниковым покровом Антарктиды и условия формирования прорыва подледниковых водоёмов

Боронина А.С.¹, Попов С.В.^{2,1}, Пряхина Г.В.¹

¹ *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

² *АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Санкт-Петербург, Россия*

Попытки оценить температурные условия на ложе антарктического ледника предпринимались с середины прошлого века. В разное время, отечественными и зарубежными исследователями, по данным численного моделирования, были получены зоны интенсивного подлёдного таяния и установлено, что именно к ним тяготеет большинство подледниковых водоёмов. До недавнего времени считалось, что озёра под ледниковым покровом Антарктиды являются стабильными, и могут существовать в неизменном состоянии на протяжении долгого времени. Однако эти представления были пересмотрены после того, как в 124 пунктах высокоточные спутниковые данные показали изменения высот поверхности ледника. В этих районах расположены так называемые «активные» подледниковые водоёмы, которые заполняются и истощаются во временных масштабах от месяцев до нескольких лет. Подобные наводнения, протекающие на контакте ложа и ледника, получили название *jökulhlaups*. Недостаточные наблюдения за крупными циклическими прорывами подледниковых озёр ограничивают понимание формирования и эволюции этого процесса. По этой причине используются методы математического моделирования. Авторы предлагают рассмотреть вопрос комплексно, начиная с триггерных импульсов, приводящих к формированию и переполнению подледникового водоёма, до наступления подледникового паводка, его развития и прекращения.

В работе представлены вычисления полей температуры в ледниковом покрове Антарктиды, а также результаты расчёта областей донного таяния. Выделены наиболее прорывоопасные районы, оценены условия, приводящие к сбросу озёрных вод. Используя математическую модель подледникового дренажа, предложенную Дж. Наем (J. Nye), количественно оценены прорывные подледниковые паводки, зарегистрированные в районе подледникового озера Восток (Восточная Антарктида). По результатам расчётов установлены основные характеристики прорывного паводка: его объём, распределение расхода воды во времени, давление водного потока и распределение температуры воды в канале. Также обсуждаются причины, приводящие к изменению высоты поверхности ледника при прорывах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ №18-05-00421 «Особенности формирования и развития паводков подледниковых водоёмов Антарктиды».

Использование радиомаяков для измерения дрейфа ледяного покрова и айсбергов в 2012-2017 гг.

Бужин И.В.¹, Нестеров А.В.¹, Гудошников Ю.П.¹, Корнишин К.А.², Ефимов Я.О.

1- Лаб. «Арктик-шельф» им. Г.К. Зубакина, ФГБУ «ААНИИ», С.-Петербург

2- ПАО «НК «Роснефть», Москва

3- ООО «Арктический Научно-Проектный Центр Шельфовых Разработок», Москва

Использование радиомаяков с функцией определения координат и передачи этой информации является отработанной практикой изучения динамики ледяных образований, как в научных, так и в практических целях. С помощью этих устройств потребителю через спутниковые системы связи передается информация о географическом положении ледяного образования, а также ряде сопутствующих параметров. Кроме использования в сугубо научных целях, применение радиомаяков рекомендовано для сбора информации, необходимой для проектирования гидротехнических сооружений, и использования в составе оборудования для обеспечения Управления Ледовой Обстановкой.

Движение ледяных полей и айсбергов во многом определяет ледовые нагрузки на гидротехнические сооружения, режим их эксплуатации, выбор судов-снабженцев, систему управления ледовой обстановкой и т.д. В период проводившихся в 2012-2017 гг. на шельфе морей Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского комплексных экспедиционных исследований в интересах ПАО «НК «Роснефть» для получения информации о дрейфе различных ледяных образований активно применялись автоматические радиомаяки с функцией определения и передачи координат. В период выполнения работ был собран массив данных о дрейфе ледяных образований на акваториях, где такие наблюдения были редки или вообще ранее не проводились. Собранный массив данных является во многих отношениях уникальным. Получаемая в результате анализа информация позволяет построить картину перемещения конкретного ледяного образования за период работы радиомаяка и рассчитать различные характеристики его дрейфа.

В работе представлены основные результаты проведенных исследований дрейфа ледяных полей и айсбергов. Рассмотрены вопросы, касающиеся используемого оборудования, постановки экспериментов, даны оценки собранной базы данных дрейфа ледяных образований. Приведены основные результаты анализа дрейфов: характеристики скоростей и изменчивости при различных ледовых условиях.

Изменение ледника Томич (Центральный Алтай)

за период инструментальных наблюдений

Бурым Р.Д.¹, Ковалев М.В.¹, Останин О.В.¹, Дьякова Г.С.¹, Ракин Е.М.²

Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

Катунский биосферный заповедник, Усть-Кокса, Россия

Ледник Томич расположен в Центральном Алтае, Западном ледниковом узле Катунского хребта, в верховье долины р. Мульта, в истоках р. Томички. Он имеет небольшую (чуть более 1 кв. км) площадь и залегает в двухкамерном цирке в диапазоне высот 2260-2850 м. Большая часть ледника приурочена к правому кару.

Первая топографическая съемка ледника Томич была проведена Р.М. Мухаметовым в 1973 г. Повторные съемки ледника проводились в 1983, 1995, в 2009-2010 гг., в 2016 г. (частичная – правый кар).

В 2017 г. нами была проведена съемка поверхности ледника, с использованием GNSS-приемника (ГЛОНАСС/GPS) Leica GS08plus (база и ровер). Съемкой было охвачено не менее 80% площади ледника.

Также с целью выявления мощности были проведены геофизические исследования ледника Томич методом георадиолокации. Первые подобные геофизические исследования проводились на данном леднике в 2000 г. под руководством Никитина С.А.

Нами был использован георадар PУTHON-3 с антенным блоком 50 МГц. Эта частота позволяет достигать глубинности 40 м. Профили георадиолокационного зондирования были заложены в зоне аккумуляции ледника, с таким расчетом, чтобы пройти вблизи максимальных отметок толщины ледника, указанных в работе Никитина С.А. (2000).

Сравнение данных о леднике за период с 1973 по 2017 гг., позволило оценить темпы понижения поверхности ледника, изменение его площади и объёма.

Взаимосвязь характеристик снежного покрова и растительности в сухой степи

Кулунды

¹Быков Н.И., ²Рыгалов Е.В., ²Рыгалова Н.В., ²Бондарович А.А., ²Шигимага А.А.,

³Кожанов Н.А., ³Руднев Н.В., ¹Сабаев А.А.

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

²Алтайский государственный университет, г. Барнаул

³ООО «Партнер», с. Полужанки, Алтайский край

В докладе рассматриваются вопросы влияния растительности на распределение снежного покрова в сухостепной подзоне в пределах Алтайского края, а также анализ связи между характеристиками снежного покрова и шириной годичных колец древесных растений, урожайностью естественных сенокосов и культурных растений.

В основу исследования положены результаты наблюдений за снежным покровом на метеостанциях Росгидромета (на площадках и снегомерных маршрутах) и собственных снегомерных работ, проводимых на полях ООО КХ «Партнер» и в интразональных ленточных борах, дендрохронологические исследования в борах и полезащитных лесных полосах исследуемого района, данные дистанционного зондирования, Федеральной службы государственной статистики и ООО КХ «Партнер». Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ №19-45-220011 р_а.

Ревякин В.С.: географ, гляциолог, педагог, общественный деятель

¹Быков Н.И., ¹Галахов В.В., ²Ревакина Н.В., ²Останин О.В., ²Харламова Н.Ф.,
³Харламов С.В.

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

²Алтайский государственный университет, г. Барнаул

³Алтайский государственный университет культуры, г. Барнаул.

1 февраля 2020 г. на 84-м году жизни скончался Виктор Семенович Ревакин, доктор географических наук, профессор. Ревакин В.С. родился на Алтае и впоследствии стал один из известнейших его исследователей и защитников. Природные льды Алтая он стал исследовать будучи студентом Томского университета, защитив в итоге дипломную работу на тему «Следы древнего оледенения северного склона Биш-Иирду». После окончания аспирантуры Томского университета он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Влияние рельефа на оледенение горного узла Биш-Иирду (Центральный Алтай)» и докторскую диссертацию на тему «Нивально-гляциальный комплекс Алтае-Саянской горной страны». В 1979-1981 был руководителем проблемной научно-исследовательской лаборатории гляциоклиматологии ТГУ и профессором кафедры общей географии. В томский период жизни он был участником и организатором многих экспедиций по изучению ледников, снежного покрова, лавин и наледей Алтая.

Вернувшись на родину в 1981 г. он продолжил работы по изучению природных льдов Алтае-Саянской горной страны, в том числе являясь редактором Атласа снежно-ледовых ресурсов мира, а также был организатором географического образования в Алтайском государственном университете, создав географический факультет. В этот период он принимал активное участие в общественной жизни Алтайского края: руководил отделением Русского географического общества, входил в Президиум регионального отделения общества охраны природы, вел многие годы передачу «Край родной». Был инициатором региональной Целевой комплексной программы «Экология», одной из первых в стране. Он выступил активным противником строительства Катунской ГЭС.

В 1991 г. он был избран депутатом РСФСР и вошел в Президиум Верховного Совета России, где возглавил комитет по экологии и участвовал в решении многих экологических проблем, возникших в то время перед нашей страной. В это время он организовал в Барнауле Институт горного природопользования. Дважды являлся деканом географического факультета в Алтайском государственном университете. Там же возглавлял диссертационный совет.

Виктор Семенович работал до последних дней. В круг его интересов входило множество вопросов: написание школьных учебников по географии Алтайского края, создание схем территориального планирования, планирование природоохранной работы в регионе и т.д.

Коллектив алтайских географов намерен просить поддержки участников Гляциологического симпозиума о присвоении одному из безымянных ледников Алтая имени Ревакина В.С.

Сравнительный анализ выводных ледников северной земли как источников формирования айсбергов, по спутниковым данным 2014-2019 гг.

И.А. Бычкова, В.Г. Смирнов

ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург

В работе на основании анализа спутниковых данных видимого спектрального диапазона выполнена оценка айсбергопродуктивности выводных ледников Северной Земли в период 2014-2019 гг. В качестве источника информации использовались спутниковые данные высокого пространственного разрешения, полученные с некоммерческих спутников Sentinel-1 (пространственное разрешение 10 м) и Landsat-8 (разрешение 15 м). Сбор данных осуществлялся в условиях достаточной для использования данных видимого спектрального диапазона естественной освещенности в Арктике (март-сентябрь). За каждый год рассмотренного периода было проанализировано свыше 100 спутниковых изображений.

Примененная методика обнаружения айсбергов основана на статистических критериях поиска градиентных зон при анализе двумерных полей спутниковых изображений. Генерация айсберга от конкретного ледника подтверждается посредством использования шаблона формы обнаруженного айсберга, который учитывает совокупность нескольких параметров объекта: геометрическую форму, размеры, характерные особенности «рисунка» поверхности (наличие и взаимное расположение трещин, вершин, озерков талой воды...). Высота айсберга определялась по его тени на снимке.

Основными источниками айсбергов на Северной Земле являются выводные ледники, расположенные на островах Комсомолец и Октябрьской революции. По спутниковым данным последних лет наибольший вклад в айсберговый сток в прибрежной зоне архипелага вносят выводные ледники ледникового купола Академии наук и шельфовый ледник фьорда Матусевича.

В проливе Красной армии наибольшее количество айсбергов образовано от ледника в западной части пролива (ледник №16 Всемирного каталога ледников, WorldGlacierInventory), горизонтальные размеры образующихся у этого ледника айсбергов достигают 420 м при высоте около 20 м и соотношении длины к ширине 1,5-2:1. Ледник №13 шита Академии наук (каталог WGI) по количеству отколовшихся айсбергов занимает 2е место, его айсберги достигают размера 300 м при соотношении сторон 2,1-2,4:1. Ледник 12 шита Русанова (каталог WGI) в юго-восточной части пролива порождает единичные крупные столообразные айсберги, размером до 1 км при высоте около 30 м и соотношении сторон 5:1.

Во фьорде Матусевича большинство айсбергов образует быстро распадающийся в последние годы шельфовый ледник, размеры айсбергов различны, наибольший из них достигал, по спутниковым данным, 3 км в длину.

В море Лаптевых основной айсберговый сток дают ледники северо-восточного склона ледникового купола Академии наук, здесь айсберги достигают длины 1 км при высоте 40 м. В Карском море наибольшее число айсбергов образует ледник Вавилова, здесь преобладают мелкие айсберги, размером 40-50 м. Выводные ледники купола Академии наук, выходящие в заливы Ковалевской и Журавлева, дают отдельные крупные айсберги в 400-700 м.

В целом, по спутниковым данным последних лет, айсберговый сток выводных ледников Северной Земли имеет устойчивую тенденцию к росту.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-60109).

Пространственно-временная изменчивость дрейфа айсбергов у берегов северной земли по спутниковым данным 2014-2019 гг.

И.А. Бычкова^{1,2}, В.Г. Смирнов^{1,2}

¹ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург»; ²Российский государственный гидрометеорологический университет

По спутниковым наблюдениям прослежено перемещение айсбергов у побережья Северной Земли в 2014- 2019 г. Показано, что в весенне-осенний период в этом регионе можно наблюдать за дрейфом айсбергов с помощью аппаратуры оптического диапазона, установленной на спутниках типа Landsat-8 и Sentinel-2. При пространственном разрешении спутниковой аппаратуры 10-15 м по снимкам удалось проследить дрейф около 200 крупных айсбергов (свыше 100 м в длину) в течение 20-120 суток.

Установлено, что в сплоченном ледяном покрове скорость дрейфа айсбергов зависит от силы приводного ветра и его направления. Максимальная скорость айсбергов, определенная по спутниковым данным), составила 29,5 км/сут. и была получена при скорости приводного ветра свыше 20 м/с.

Анализ спутниковых изображений показал, что айсберги у восточного побережья архипелага дрейфуют в генеральном направлении на северо-запад, из моря Лаптевых в Арктический бассейн. По средней скорости дрейфа айсберги у Северной Земли в море Лаптевых разделены на три группы: айсберги прибрежной зоны со скоростями менее 1 км/сут., переходной зоны – со скоростями 1,3–1,6 км/сут. и транзитной зоны – со скоростями 2–4 км/сут.

У западного побережья архипелага наблюдались айсберги малых размеров, дрейфовавшие в Карском море в юго-западном направлении с высокой среднесуточной скоростью дрейфа (10 км/сут.). Проследить дрейф айсбергов в Карском море по спутниковым снимкам удавалось лишь в течение нескольких дней.

В проливе Красной армии дрейфуют айсберги, образованные выводными ледниками, выходящими в этот пролив. В зимний период айсберги стоят в припае, в июле-августе происходит откол новых айсбергов, начинающих возвратно-поступательное движение в соответствии с изменениями направления ветра. Скорости айсбергов составляют 0,3-1 км/сут; большинство из них в течение 3х месяцев (июль-сентябрь) циркулирует в самом проливе, лишь незначительное число выходит в море Лаптевых.

Во фьорде Матусевича в период наблюдения шло разрушение шельфового ледника, образующиеся при этом крупные айсберги циркулировали с малыми скоростями (менее 1км/сут) в самом фьорде несколько лет, а затем дрейфовали либо в пролив Шокальского, либо в море Лаптевых.

Характеристики дрейфа айсбергов, полученные на основании спутникового мониторинга, могут быть полезны для использования в региональных моделях дрейфа айсбергов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-60109) и за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-77-30019) в Российском государственном гидрометеорологическом университете.

Многолетняя изменчивость характеристик снежного покрова на водосборе залива Гренфьорд

Василевич И.И., Ромашова К.В., Третьяков М.В.

ФГБУ «АНИИ»

Снег покрывает большую часть Архипелага Шпицберген с середины осени по начало лета. В современных исследованиях изменяющегося климата снег играет заметную роль, вследствие своей чувствительности к этим изменениям.

Гидрологическая группа АНИИ проводит исследования снежного покрова (снега) на водосборе залива Гренфьорд начиная с 2001 года. В состав наблюдений входят измерение высоты, описание структуры и измерение плотности снежного покрова. Измерения проводятся в период максимального снегонакопления – с середины марта по конец апреля. В 2015 году были увеличены объемы ежегодно выполняемых работ. В настоящее время исследования снега проводятся на водосборах рек Грендален, Гренфьорд, Брюде, Конгресс, на ледниках Восточный и Западный Гренфьорд, а также на леднике Альдегонда – непосредственно на леднике и на его моренной части. Наиболее продолжительные наблюдения велись за долиной Грендален и ледником Альдегонда.

Межгодовая изменчивость характеристик снежного покрова не имеет явно выраженных статистически значимых трендов. Средние значения толщины снежного покрова за период наблюдений с 2002 по 2019 год для долины Грендален составляют 57 см (СКО = 21 см), влагозапасов – 273 мм в. экв. (СКО = 95 мм в. экв.). Для ледника Альдегонда эти значения равны 157 см (СКО = 32 см) и 629 мм в. экв. (СКО = 170 мм в. экв.). Как правило, толщина снежного покрова и влагозапас напрямую зависят от количества осадков и климатических условий в зимний период, которые являются следствием развития и взаимодействия макромасштабных барических образований. Эти взаимодействия и их результаты частично характеризуются (или описываются) индексами осцилляций. При обработке результатов измерений было выяснено, что не прослеживается связь между представленными характеристиками снежного покрова и индексом североатлантического колебания. Однако, присутствует связь между индексом арктического колебания и толщиной и влагозапасом снежного покрова в долине Грендален, максимальное значение коэффициента корреляции (0,5) приходится на его сезонную часть, а именно среднее значение индекса за январь, февраль и март. Коэффициент корреляции между индексом арктического колебания и толщиной снежного покрова на леднике Альдегонда незначителен (0,25).

Климатическая изменчивость в позднем голоцене (последние 2000 лет) в окрестностях ст. Восток: предварительные результаты изучения снежно-фирнового керна VK16

А.Н. Верес^{1,2}, А.А. Екайкин^{1,2}, В.Я. Липенков¹, А.В. Туркеев¹, Т.В. Ходжер³

1 – ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

2 – Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Санкт-Петербург, Россия

*3 – Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия
veres@aari.ru

Изучение снежно-фирновых кернов, добытых в центральной части Восточно-антарктического ледяного щита, необходимо для реконструкции палеоклиматических условий позднего голоцена (последние 2000 лет) как в континентальном, так и в региональном масштабе. Основываясь на большом объеме гляциологических и изотопных данных по керну скважины VK16, пробуренной в районе станции Восток, были реконструированы климатические характеристики за период с 216 г. до н. э. по 2010 г. н. э. По данным электропроводности фирна были выявлены 14 точно датированных вулканических извержений, которые позволили построить надёжную хроностратиграфическую шкалу. Показано, что для этого интервала времени был характерен стабильный температурный режим без статистически значимого тренда. В то же время, скорость снегонакопления существенно колебалась вокруг среднего значения равного $1,83 \text{ г см}^{-2} \text{ год}^{-1}$. Последние 200 лет являются эпохой наибольшей скорости снегонакопления, которая составляет $2,08 \text{ г см}^{-2} \text{ год}^{-1}$. Выполненные исследования позволили отработать методику изучения фирновых кернов для дальнейших исследований и получить предварительные данные о климатической изменчивости в районе станции Восток в позднем голоцене.

Современное состояние лавинной опасности в Хибинах

М.А. Викулина¹, Е.С. Марченко²

¹Кафедра криолитологии и гляциологии Географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова, masanna2003@mail.ru; ²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Хибины в настоящее время один из самых динамично развивающихся регионов Арктики. Данный район уникален долгосрочным рядом наблюдений за лавинами, связанным с промышленным освоением гор с начала XX века. Хотя высота Хибин относительно невелика, зоны зарождения лавин имеют значительную крутизну и составляют в среднем 35-50 градусов. Частая повторяемость метелей, значительная снежность, продолжительный лавиноактивный период приводят к тому, что лавины угрожают горнодобывающей и туристической инфраструктуре, населенным пунктам, местным жителям и туристам.

Последнее десятилетие характеризуется изменениями в горнодобывающей промышленности. Районы добычи апатитовой руды расширились, появились новые транспортные коммуникации. Одновременно с этим в регионе происходит увеличение туристического потока. По некоторым оценкам количество туристов увеличилось в 4 раза. В связи с этим оценка изменений показателей лавинной опасности и риска в регионе является критически важной.

Оценка показателей лавинной опасности и лавинного риска была проведена в Хибинах в рамках ГИС «Хибины». Был рассчитан полный социальный (коллективный) и индивидуальный риск с использованием методики, основанной на сочетании социальных и природных показателей. Социальный риск показывает ежегодное количество погибших в результате лавинного воздействия. Индивидуальный лавинный риск - это вероятность несчастного случая со смертельным исходом на исследуемой территории в течение одного года.

Проведенная оценка позволила сделать вывод, что расчетные показатели лавинного риска в Хибинах выросли в 7 раз за последнее десятилетие. Это подтверждается и статистическими данными. Количество катастрофических событий, связанных с лавинами, растет с каждым годом и приближается к показателям на момент начала освоения горных территорий. Динамика лавинного риска ясно демонстрирует, что при развитии в регионе туризма и промышленности необходимо учитывать существование лавинной угрозы и принимать соответствующие меры.

ГИС-слои, отражающие состояние лавинной опасности и риска могут быть опубликованы в виде интерактивной веб-карты, созданной с помощью библиотеки Leaflet на языке JavaScript. Карта поддерживает функции измерения расстояний, рисования новых объектов, их скачивания и загрузки при новом открытии и не требует установки какого-либо программного обеспечения помимо браузера. Во всплывающих окнах при наведении на объект приводятся фотографии и данные об объекте.

Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ № 18-05-60221 «Методология оценки состояния и динамики наземных экосистем Арктики в условиях антропогенного воздействия по данным ДЗЗ».

Динамика ледников высокогорных массивов аридного Алтая

Ганюшкин Д.А, Банцев Д.В, Волков И.В., Чистяков К.В.

На основе полевых данных и дешифрирования дистанционных материалов исследована динамика ледников горных массивов юго-востока Русского алтая и северо-западной Монголии после максимума малого ледникового периода (МЛП). Площадь оледенения массива Монгун-Тайга сократилось с 49,46 км² в максимум МЛП до 23,3 км² в 1995 году, 21,86 км² в 2001 году, 18,6 км² в 2011 году и 17,78 км² в 2016 г (64% сокращения с максимума МЛП). Наибольшая скорость деградации ледников наблюдалась в интервале с 1995 по 2011 гг. Долинные ледники массива в последние годы ускорили отступление (44 м в год в интервале 2013-2016 ледник Селиверстова и 40,7 м в год ледник Восточный Мугур (2016-2019 гг)).

Оледенение горного узла Таван-Богдо-Ола в максимум МЛП имело площадь 353,4 км². К 1968 г. площадь оледенения сократилась до 242 км², к 2010 г. до 201 км² (сокращение на 43% с максимума МЛП). После 2010 г. отмечается ускорение отступления крупны долинных ледников до 22 м./год (Аргамджи-3), 41,3 м/год (Аргамджи-2), 62,3 м/год (ледник Канас и Александры) и 76, 5 м/год (ледник Потанина) .

На территории хребта Цамбагарав площадь ледников уменьшилась с 128,4 км² в максимум МЛП до 82,69 км² в 1968 г, 71,32 км² в 2006 г. и до 66,9 км² в 2019 г (сокращение на 48% с максимума МЛП). Полученные ряды данных об отступании концов 11 ледников этого центра оледенения хребта Цамбагарав выявили в последнее десятилетие ускорение отступления только у двух ледников (до 20 м/год), остальные ледники в последние 2 года замедлили отступление. В 2019 г. обследован ледник в верховьях р. Зуслангийн, на котором в 1988 г. после землетрясения произошел обвал и сход каменно-ледяного материала на 5 км вниз, по долине. Выяснилось, что ледник не восстановил свой объем и размеры, а напротив, зафиксирована его дальнейшая деградация и разделение на 2 ледника, в связи с чем вероятность его повторного схода представляется крайне низкой.

Результаты расчетов индексов баланса массы долинных ледников данных горных массивов дает основание предполагать, что высокие скорости отступления крупных ледников вызваны резким ухудшением условий питания в 1990-е годы, в силу инерционности ледников проявившимся через 20-25 лет.

Выполнено при поддержке гранта РФФИ 19-05-00535 А Природные катастрофы и трансформация ландшафтов юго-восточного Алтая и северо-западной Монголии в период с максимума последнего оледенения.

Сокращение ледников Шапшальского центра оледенения после максимума малого ледникового периода

Ганюшкин Д.А, Банцев Д.В, Волков И.В., Екайкин А.А., Конькова О.С.

На основе впервые проведенных полевых гляциологических наблюдений и дешифрирования космических снимков обновлены каталоги и карты современных ледников Шапшальского центра оледенения, расположенного в восточной части Русского Алтая. Всего выделено 123 ледника суммарной площадью 14,07 км². Преобладают малые каровые ледники северо-восточной экспозиции (70% ледников имеют площадь менее 0,1 км²), долинные ледники отсутствуют. Реконструировано положение, размеры и характеристики ледников в максимум малого ледникового периода (МЛП) (всего 372 ледника суммарной площадью 84,43 км²). При последующем сокращении произошел распад долинных ледников, исчезли ледники в бассейне р. Каргы. Выявлена слабая заозеренность морен МЛП (0,17%) и малая вероятность их прорыва. Получены данные по отступанию ледника Муштук (№78), крупнейшего для Шапшальского центра оледенения, по пяти временным срезам с максимума МЛП, наиболее высокие скорости отступления реконструированы в интервале 1989-2001 гг, в интервале 2010-2016 гг. средние скорости снизились до 5 м/год. Рассчитано изменение индекса баланса массы ледника Муштук в период с 1961 по 2018 гг. Выявлено резкое снижение баланса массы в 1990-е годы и стабилизация значений на низком уровне после 2001 года. По результатам расчетов время отклика ледника Муштук составило около 9 лет. При сохранении современных климатических условий в ближайшие годы есть основание предполагать стабилизацию ледников.

Выполнено при поддержке гранта РФФИ 19-05-00535 А Природные катастрофы и трансформация ландшафтов юго-восточного Алтая и северо-западной Монголии в период с максимума последнего оледенения.

Недоучет осадков в горных районах Дальнего Востока, как фактор занижения характеристик опасных процессов (лавин, снеговых нагрузок, уровней половодья, селей), при проведении инженерно-гидрометеорологических изысканий.

*Генсиоровский Ю.В., Лобкина В.А., Музыченко Л.Е., Музыченко А.А.,
Михалев М.В.*

*ФБГУН ДВГИ ДВО РАН, Сахалинский филиал, г. Южно-Сахалинск, ул. Горького, 25.
e-mail: gensiorovskiy@mail.ru*

Несколько последних лет наблюдается активизация в освоении месторождений полезных ископаемых в районах Дальнего Востока России. Зачастую, это отдаленные горные территории, почти не охваченные наблюдательной сетью Росгидромета. При проведении изысканий для строительства, существующими нормативными документами: СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» Актуализированная редакция СНиП 11-02-96, СП 11-103-97. «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства» рекомендовано принимать климатические данные по ближайшим метеорологическим станциям (МС) района изысканий. Абсолютная высота расположения этих метеостанции, обычно, гораздо ниже территории предполагаемой к освоению, и тем более, зон формирования таких природных процессов, как снежные лавины и селевые потоки.

Принятые в климатологических справочниках данные о выпадающем количестве жидких, твердых осадков и снежном покрове, необходимые для расчета характеристик лавинных и селевых процессов, снеговых нагрузок, стока половодья и паводков, требуют в каждом конкретном случае, серьезной корректировки. Проведение специализированных метеорологических наблюдений, которые позволяют уточнить необходимые климатические данные для конкретной местности, зачастую не возможны по целому ряду причин, и в первую очередь, недостаточностью финансирования изыскательских работ на данном направлении. Все это в комплексе, приводит к занижению данных о выпадающих осадках, скорости ветра, интенсивности снегопереноса и тд. Как следствие, это ведет к недостоверности расчета значений, вышеназванных природных процессов.

В нашей работе для понимания всего комплекса проблем рассматривается территория басс. р. Урми, ограниченная Баджальским и Урмийским хребтами, на которой сотрудниками лаборатории лавинных и селевых процессов СФ ДВГИ ДВО РАН в 2018 – 2020 гг, проводились исследования снежного покрова, лавин и селей.

**Современное состояние подвижки купола Вавилова, Северная Земля, по
дистанционным данным**

Глазовский А. Ф., Бушueva И. С., Носенко Г. А.

Институт географии РАН, Москва

glazovsky@igras.ru, bushueva@igras.ru, nosenko@igras.ru

В докладе представлены последние сведения о развитии крупной подвижки в западном бассейне ледникового купола Вавилова на Северной Земле, полученных на основе анализа космических изображений, данных воздушной радиолокации и всех имеющихся опубликованных данных.

Ледниковый купол Вавилова (79,30° N, 95,47° E) расположен на острове Октябрьской революции архипелага Северная Земля. В Каталоге ледников СССР купол Вавилова показан как один ледник общей площадью 1816,8 км². В данном исследовании речь идет о западной части этого купола, которая, примерно совпадает с ледниковым бассейном G094974E79307N площадью 354,648 км², выделенным в каталоге RGI. Уточненная нами площадь этого ледосбора составляла 309,2 км² в 2007 г.

Анализ космических изображений (начиная с 1963 года по настоящее время: Corona, Landsat 1, 5, 7, 8, Terra (Aster), Sentinel-1 и Sentinel-2), позволил проследить, как в течение всего этого периода развивалась подвижка в этом бассейне, оценить темпы, стадии и динамику выдвижения выводной части ледникового бассейна в прилегающую акваторию Карского моря. По данным анализа серии изображений были оценены скорости продвижения ледникового фронта, поверхностные скорости течения ледника.

Полученные данные о подвижке ледника Вавилова сравниваются с данными о развитии подвижки ледникового бассейна Восточного ледникового поля на Северо-Восточной Земле арх. Шпицберген.

Работа подготовлена по теме Государственного задания № 0148-2019-0004 (AAAA-A19-119022190172-5) и при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60109.

Влияние опасных криогенных процессов на урбанизированную среду в Российской Арктике

Гребенец В.И., Юров Ф.Д., Толманов В.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии

vgreb@inbox.ru

В последние годы на освоенных территориях криолитозоны фиксируются негативные изменения мерзлотно-экологической обстановки и генотехнической безопасности, обусловленные как климатическими изменениями, так и техногенным влиянием на мерзлые грунты. Наиболее критическая ситуация сложилась на урбанизированных территориях: в городах и крупных населенных пунктах, где происходит активное изменение мерзлотных условий за счет техногенного воздействия и, следовательно, активизация опасных инженерно-криогенных процессов. В крупных поселениях формируются особые природно-техногенные геокриологические комплексы, в пределах которых поведение мерзлоты может кардинальным образом отличаться от естественных условий вне застройки.

Исследования позволили для большинства городов и поселений криолитозоны впервые составить «Карту активизации инженерно-криогенных процессов на урбанизированных территориях», в которой выделены разные типы мерзлоты, отмечена людность поселений, экономическая деятельность и проявление тех или иных криогенных процессов на хозяйственно освоенных территориях. Характерно, что техногенные воздействия могут спровоцировать опасные процессы, которые для данной территории в естественной среде не характерны или существенно подавлены. Безусловно, выявляется зависимость активности многих опасных криогенных процессов от длительности существования поселения (продолжительность тепловой и механической нагрузки на мерзлоту), существующих производств (за счет сброса различных типов отходов, силовых и тепловых воздействий), площади хозяйственно освоенных территорий.

Во многом проявление инженерно-криогенных процессов подчиняется законам зональности и секторности. Например, в пос. Диксон (73° с.ш.), где мерзлые грунты имеют температуру -5° С и ниже, а мощность активного слоя не превышает 1 м, фиксируется меньший спектр инженерно-криогенных процессов, чем г. Игарке (67° с.ш.), где температура мерзлых грунтов составляет -0,5°...-1,5° С, а мощность активного слоя достигает 1,8 м. Чрезвычайно важны также и литологические особенности мерзлых толщ. Например, в Воркутинском промышленном районе в льдистых суглинистых грунтах наблюдается большая активность инженерно-криогенных процессов по сравнению с грубообломочными породами в Кайеркане Норильского промрайона, несмотря на сходное широтное расположение и производства (добыча угля).

Для 38 муниципальных образований Арктической зоны России впервые оценены степень риска и возможные ущербы при развитии опасных криогенных процессов (морозобойное растрескивание, наледееобразование, морозное пучение, склоновые процессы, термоэрозия и термоабразия берегов, термокарст).

На урбанизированных территориях криолитозоны инженерно-криогенные процессы развиваются наиболее активно, их проявление связано не только с природными условиями, но и с характером и масштабом техногенного воздействия.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 18-05-60080 «Опасные нивально-гляциальные и криогенные процессы и их влияние на инфраструктуру в Арктике».

Малые ледниковые формы Ламских гор (плато Путорана) и их современное состояние

В.В. Поповнин, Н.В. Коваленко, А.С. Губанов, Е.И. Успенская
Географический факультет МГУ

Ключевые слова: ледник, снежник, колебания, мониторинг, абляция, аккумуляция, плато Путорана, баланс массы.

Своеобразие оледенения плато Путорана предопределяет принципиальную специфику как своей современной эволюции, так и собственно той методической базы, которая используется для соответствующих суждений. Особенность Путораны заключена прежде всего в том, что местные гляциологические объекты представлены малыми ледниковыми формами и многолетними снежниками, имеющими в своём режиме и геоморфологических характеристиках настолько много общего, что отделить эти 2 категории нивально-гляциальных образований одну от другой чрезвычайно затруднительно. Из-за отсутствия строгих и чётких критериев подобного разделения задача дистанционной каталогизации ледников Путораны в огромной степени зависит не столько от разрешения используемых снимков, сколько от субъективизма исследователя. Поэтому различия в итогах повторных сводок слишком велики (так, Каталог ледников СССР оценивал местные ресурсы в 22 ледника общей площадью 2,5 км², а В.Сарана [2005] – в 61 ледник и 7 км²), чтобы на основе их сопоставления строить сколько-нибудь показательные выводы о современных тенденциях путоранского оледенения. В таких условиях весьма ценными становятся материалы редких мониторинговых работ на отдельных нивально-гляциальных образованиях.

3 экспедиционных сезона 2002-2004 гг. тщательных геодезических и балансовых исследований трёх опорных объектов Мальборо, Привес и Струдомс на северном уступе Ламских гор (первые два из которых были отнесены к категории ледников, а последний – к снежникам) получили своё продолжение летом 2019 г. Изменение конфигурации каждого из них по данным цифровой фотосъёмки (наземной и с БПЛА), включая результаты анализа космоснимков на отдельные рубежи времени между полевыми кампаниями, убеждает в том, что колебания его площади год от года происходят в основном не за счёт флуктуаций фронтальной точки, а вследствие разновекторных смещении различных его секторов вдоль всего периметра. Такие сдвиги обусловлены меняющимся каждый год соотношением между контактирующими сезонно-снежными полями и глетчерными массами, а также развитием в основании снежного покрова (как на леднике, так и за его пределами) слоя наложенного льда. Подобная динамика роднит относимые к ледникам образования Привес и Мальборо со снежниками и заставляет если не критически переосмыслить изначальное отнесение их к категории ледников, то по крайней мере рассматривать их как некую переходную форму, эволюция которой вряд ли может быть достоверно оценена напрямую по материалам дистанционного зондирования.

Несколько неожиданное благоприятное состояние всех 3 объектов в 2019 г., проявляющееся в положительной аномалии как их площадей, показателя AAR, так и водозапаса фирнового остатка по данным площадных снегосъёмов, диссонирует со сделанным ранее заключением о стойком господстве тенденций к дегляциации Путораны. Бюджетная специфика малых форм оледенения в 2019 г. вызвана уменьшением абляции из-за ослабления инсоляционного потока радиации вследствие редких по своей масштабности лесных пожаров в Сибири в этом году.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 18-05-60080_Арктика).

Проблемы защиты дорог России от снежных лавин

Гулевич В.П.¹, Черноус П.А.², Созаев С.Х.³, Селиверстов Ю.Г.⁴

1 - ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет, 2 - Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск, 3 – экс Высогогорный геофизический институт, 4 - Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова.

Воздействию лавин подвержены автомобильные и железные дороги в различных районах России. Случаи попадания людей и технических средств в лавины происходят регулярно. Среднее число жертв лавин на дорогах России составляет около 3 в год.

Объединяющими моментами для совместного рассмотрения влияния лавин на автомобильные и железные дороги, являются их линейное проведение, безальтернативность, чаще всего, их расположения, постоянная востребованность.

Существует около 40 документов, регламентирующих защиту от лавин в России. Разнообразие применяемых противолавинных мероприятий определяется степенью лавинной активности территорий, значением и расположением защищаемых объектов. Существенна роль исторических традиций. Влияние оказывает ведомственная принадлежность - если большая часть железных дорог находится в ведении одной организации - ОАО "РЖД", то автомобильные дороги принадлежат и обслуживаются различными организациями.

Проведенный анализ показывает, что наибольшее применение для защиты дорог имеют профилактические мероприятия: прогноз, организационно-хозяйственные действия, предупредительные спуски с использованием разнообразных средств активного воздействия. Ожидается, что такое положение будет сохраняться еще продолжительное время.

Эффективность применения противолавинных мероприятий определяются научным обоснованием их выбора, а также экономическим и человеческими факторами. Необходимо отметить по-прежнему сохраняющийся недостаток знаний о лавинах, условиях их образования и динамике, определяемый во многом отсутствием достоверных фактических данных.

Возможные пути решения проблем защиты дорог от лавин рассматриваются в настоящем докладе.

Формирование, динамика и прорыв ледникового озера Тогуз-Булак (Северный Тянь-Шань)

Дайыров М¹, Нарама Ч², Кааб А³, Усубалиев Р¹.

1- Центрально-Азиатский Институт прикладных Исследований Земли (ЦАИИЗ), г. Бишкек, Кыргызская Республика. 2 - Университет Нигата, Япония 3 - Университет Осло, Норвегия

На фоне глобального изменения климата увеличиваются количество прорывоопасных ледниковых озер в горах Кыргызстана и каждый год их прорывы увеличиваются. Один из последних прорывов ледниковых озер является озеро Тогуз-Булак расположенное в хребте Тескей Ала-Тоо Северного Тянь-Шаня, 8-го августа 2019 года. Нами были изучены причины прорыва озеро Тогуз-Булак. Выявлено, что до прорыва озеро имело 20,6 тыс. м² площади, а после прорыва уменьшилось до 5909 м². В ванне озеро до прорыва была около 200 тыс. м³ воды. Во время прорыва озеро, максимальный расход воды достиг до 50,218 м³ в час.

В результате анализа ДЗЗ выяснилось, что динамика озеро сильно варьировалось в летний период 2017, 2018 и 2019 годы. Это связано с высокой температурой атмосферного воздуха и поступлением большого объема ледникового стока. Озеро Тогуз-Булак каждый год появился в июне и исчезало в сентябре и максимальный пик заполнения ванны озеро наблюдались в конце июля и в начале августа. Динамика озеро Тогуз-Булак начал сильно варьироваться ещё с 2010 г. и с расширением размера акватории озера в период с 2010 по 2019 гг в конце концов привело озеро к прорыву. Также было выяснено, что воду озеро до прорыва задержало дамба высотой 1м. Кроме того, DInSAR анализ показывал, что в участке ванны озеро и непосредственно на его дамбе произошли активные смещения и оседания моренных пород за счет интенсивного таяния по гребенного льда. ЦМР анализ в 1964 и 2010 гг. также подтверждает снижения озеро ванны на 8,0-8,5м, плотина озеро на 1м. За девять лет высота дамба озеро, то есть после прорыва озеро, понизилось ещё на 1м.

Проблемы крупномасштабного картографирования антарктического оазиса Холмы Ларсеманн по данным БПЛА

Данилова О.И.¹, Бляхарский Д. П.², Сидорина И. Е.³

Danilova O.I., Bliakharskii D. P., Sidorina I.E.

Санкт-Петербургский государственный университет

Saint-PetersburgStateUniversity

oks28363440@yandex.ru¹, d.blyakharskiy@spbu.ru², i.sidorina@spbu.ru³

Использование методов беспилотной аэрофотосъемки возрастает в связи с разработкой удобных алгоритмов автоматизированной обработки. В современной геодезии и картографии данные БПЛА широко используются не только для создания ортофотопланов, цифровых моделей рельефа, но и для топографических карт и планов. Благодаря технологиям получения и обработки крупномасштабных снимков, фотограмметрическому и геоинформационному программному обеспечению, становится осуществимой задача составления топографических карт и планов крупного масштаба на территорию Антарктиды.

В 2017 году была проведена съемка антарктического оазиса Холмы Ларсеманн с помощью БПЛА. Для получения топографического плана масштаба 1:2000 необходимо было выполнить несколько этапов обработки данных (геодезический, фотограмметрический, картографический). В ходе выполнения работ возникли технические проблемы. Главной задачей на этапе геодезической обработки снимков стал выбор системы высот. Было решено осуществить переход от геодезической системы высот к ортометрической путем полного пересчета центров фотографирования снимков. Основная сложность состояла в отсутствии нуль-пункта для Антарктики, так как для топографических планов и карт используется нормальная система высот.

На этапе картографирования территории возникла проблема выбора высоты сечения рельефа. Местность крайне неоднородна по величине уклона поверхности: от 0 на ледяной и заснеженной поверхности до 88° на выходах коренных пород антарктического оазиса.

Антарктида является территорией международных интересов, а в каждой стране свои особенности картографирования. Поэтому необходимо было определиться с выбором системы условных обозначений, делением на номенклатурные листы, согласованием топонимов.

Оазис Холмы Ларсеманн представляет большой интерес для ученых различных областей науки. Создание топографического плана необходимо для его дальнейшего изучения. Опыт решения проблем картографирования сложной антарктической территории может быть полезен для исследователей полярных регионов.

Применение методов относительного датирования в палеогляциологических исследованиях гор Внутренней Азии

Деркач Екатерина Сергеевна

Санкт-Петербургский государственный университет

Одним из направлений многолетних исследований горных массивов Юго-Восточного Алтая и Монгольского Алтая, осуществляемых Санкт-Петербургским государственным университетом, являются палеогляциологические исследования, проводимые с помощью дистанционных методов, а также в полевых условиях с привлечением методов абсолютного и относительного датирования.

Среди методов относительного датирования, применяемых для реконструкции палеогляциологических обстановок, автором для исследования горных массивов Монгун-Тайга (Юго-Восточный Алтай) и Цамбагарав (Монгольский Алтай) были выбраны метод относительного датирования Портера-Девяткина и метод определения остаточной прочности (тест Шмидт-Хаммера).

Исследования проводились в долине реки Толайты (массив Монгун-Тайга), долинах рек Эрегтийн-Гол и Ямат-Гол (массив Цамбагарав). В ходе исследования были заложены площадки относительного датирования, образующие ряд профилей от низовьев речных долин до современных ледников. В соответствии с методом относительного датирования Портера-Девяткина на площадках велся подсчет количества больших и малых валунов; оценивалась степень задернованности площадки, степень покрытия валунов лишайниками, их трещиноватости и утопленности в мелкозем. Параллельно на площадках измерялась прочность крупных валунов склерометром ADA Schmidt Hammer 225.

При анализе полученных результатов были выявлены следующие закономерности: степень задернованности площадок, покрытия валунов лишайниками и их утопленности в мелкозем достигает наибольших значений на моренах, относимых по совокупности геоморфологических признаков и данных абсолютного датирования в геоморфологически схожих районах к моренам последнего ледникового максимума (II морская изотопная стадия). Площадки, заложенные на молодых моренах малого ледникового периода, характеризуются наименьшими значениями вышеперечисленных показателей. Относительно высокие значения теста остаточной прочности характерны для валунов неогляциальных морен, тогда как существенные различия между значениями прочности валунов различных плейстоценовых оледенений при имеющихся объемах полевых данных на данный момент не выявлены.

Работа поддержана грантом РФФИ № 19-05-00535 «Природные катастрофы и трансформация ландшафтов юго-восточного Алтая и северо-западной Монголии в период с максимума последнего оледенения».

**Мониторинг пульсирующих ледников Памира по данным
космической съемки 2015 - 2020 годов**

*В.М. Котляков, Л.В. Десинов, С.Л. Десинов, В.А. Рудаков, И.Л. Ивонин
Институт географии РАН*

В 2015 – 2020 гг. слежение за подвижками ледников в горах Памира выполнялось по данным дешифрирования и анализа фотоснимков, которые получены космонавтами МКС в рамках программы «Ураган», с привлечением материалов съемок со спутников ДЗЗ и фотографий участников спортивных групп, маршруты движения которых пролегли по объектам исследований.

За 5 лет выявлено около 20 пульсаций ледников, включая внутренние подвижки, которые происходили, а в ряде случаев продолжатся в ближайшие годы в бассейнах рек Сурхоб, Муксу, Обихингоу и Ванч, которые относятся к Северо - Западному, Северному и Центральному Памиру. В других провинциях этой горной территории активных ледников не обнаружено.

Особое место в исследовании занимают 2 самых известных ледника, с которых в советское время началась программы мониторинга пульсирующих ледников отечественной гляциологии. Кульминация подвижка ледника Дидадь произошла в 2016 г., что показало периодичность его активизации в 42 года, а периодически пульсирующий ледник Медвежий после подвижки 2011 г. вновь активизировался. Предыдущие продвижения этого ледника, сопровождавшиеся перекрытием долины Абдукагор с образованием временного озера и сбросом его воды в долину реки Ванч и проходившие без создания катастрофической обстановки, состоялись в 1951, 1963, 1973, 1989, 2001 и 2011 гг., с периодом в среднем около 12 лет.

Все изученные за последние 5 лет пульсации ледников хотя и относятся к катастрофическому типу природных явлений, не представляют опасности населению и инфраструктуре.

Активизация обвалов на Центральном Кавказе и их влияние на динамику ледников и селевые процессы

Докукин М.Д.¹, Беккиев М.Ю.¹, Калов Р.Х.¹

Черноморец С.С.², Савернюк Е.А.²

¹Высокогорный геофизический институт Росгидромета

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

В результате дешифрирования разновременных космоснимков в ледниковой зоне Центрального Кавказа в 21 веке обнаружены более 30 проявлений обвальных процессов.

Многочисленные обвалы предшествовали сходу (обвалу) ледника Колка 20 сентября 2002 г. и были одной из основных причин этого сложного процесса, сопровождавшегося выбросом более 100 млн м³ льда и обломков на расстояние до 20 км вниз по долине р. Геналдон. В цирке ледника Колка активность обвальных процессов наблюдалась и после схода ледника. В октябре 2002 г. произошёл обвал с дальностью выброса обломков более 3500 м, образовавший на ложе бывшего ледника Колка многочисленные «муравьиные кучи». В результате продолжавшихся в период 2005-2006 гг. обвалов висячего ледника и его коренного основания испытал подвижку в 2006 г. на расстояние до 200 м правый приток бывшего ледника Колка. В ноябре и декабре 2019 г. с этого же места произошло несколько обвалов, дальность выброса одного из которых составила более 2000 м.

17 мая 2014 г. произошёл ледово-каменный обвал с горы Казбек. Значительная часть обвальных масс аккумулировалась в области питания ледника №2416 (бывшего правого притока Девдорацкого ледника). Вследствие этого ледник №2416 стал наступать и вышел на поверхность языка Девдорацкого ледника, пройдя с 14 августа 2015 г. по 12 апреля 2017 г. 410 м со средней скоростью около 0,7 м в сутки (максимальная скорость наступания превышала 1,0 м в сутки). Далее, вследствие того, что скорость наступания стала меньше, чем скорость движения Девдорацкого ледника, произошёл отрыв наступившей части ледника 2416, находящейся на языке Девдорацкого ледника, от основного тела. Затем наплыв ледника 2416 на Девдорацкий ледник повторилось несколько раз.

Наибольшая активность обвалов отмечена на участке Главного Кавказского хребта (северный и южный склон) протяжённостью около 20 км между вершинами Башкара и Кулакту. Здесь зафиксировано 15 обвалов, из которых 5 обвалов произошло в 2019 г., причём два обвала было с горы Башкара на ледники Башкара и Лекзыр в апреле и ноябре. В июле 2019 г. в цирке ледника Муркхам произошёл обвал, массы которого пронесли на расстояние более 4500 м и на непродолжительное время перекрыли р. Местиячала.

Обвалы 20 века, в результате которых были покрыты обломочным чехлом значительные площади зоны абляции ледников, привели к резкому замедлению отступания ледников Юсеньги (Озеноги), Бартуйцете, Штулу Восточный и Мосота.

Последствиями обвалов стали катастрофические селевые процессы в долинах рек Геналдон (Гизельдон) в 2002 г., Амалишка-Кабахи в 2014 г., Местиячала в 2019 г. Активизация обвалов может привести к прорывам ледниковых озёр.

Первые гляциологические исследования на Ледоразделе Б, центральная Антарктида
*А.А. Екайкин^{1,2}, А.В. Большунов³, В.Я. Липенков¹, М. Шайнерт⁴, Л. Эберляйн⁴, Е. Бровков⁵,
С.В. Попов^{6,2}, А.В. Туркеев¹*

1 – Арктический и антарктический НИИ, г. Санкт-Петербург, Россия

2 – Институт наук о Земле, СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

3 – Горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

4 – Институт планетарной геодезии, Технический университет г. Дрезден, Германия

5 – Аэрогеодезия, г. Санкт-Петербург, Россия

6 – Полярная морская геологоразведочная экспедиция, г. Ломоносов, Россия
ekaykin@aari.ru

Район Ледораздела Б в центральной Антарктиде – одна из последних малоисследованных областей шестого континента и, в то же время – одно из наиболее перспективных мест для поиска древнейшего льда на Земле. В январе 2020 г. мы осуществили первый научный поход со станции Восток к топографическому куполу Ледораздела Б (Куполу Б, 3807 м над у.м., 79,02°ю.ш., 93.69° в.д.). Гляциологическая программа включала непрерывное профилирование снежной толщи с помощью снежного радара, точное геодезическое позиционирование маршрута движения, установку снегомерных вех, измерение плотности снега, отбор образцов для изотопных и химических анализов, а также бурение 20-м фирновой скважины. Первые результаты похода показали, что скорость накопления снега на Куполе Б ($2,28 \text{ г см}^{-2} \text{ год}^{-1}$) – одна из самых низких в Антарктиде. Температура фирна на глубине затухания сезонных колебаний ($-58,1 \pm 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$) примерно на $1,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже, чем в районе Востока. На расстоянии 170 км от станции Восток был обнаружен минимум изотопного состава снега ($-58,2 \text{ ‰}$ для кислорода 18). Это говорит о том, что эта точка является одной из наиболее удалённых мест Антарктиды от источника влаги. Этот поход – первый шаг на пути к детальному изучению Ледораздела Б, направленному на определение лучшего местоположения для новой глубокой скважины с целью бурения древнейшего льда на Земле и изучению климата планеты за последние 2 млн. лет.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант 18-17-0010.

Нелинейные волновые явления при контактном разрушении льда

В. П. Епифанов

Институт проблем механики имени А.Ю. Ишлинского РАН, Москва

Исследуются нелинейные волновые явления, которые происходят во льде при резонансе, наложении фронтов волн в условиях компрессионного сжатия при сдвиге и распространении ударной волны [1]. Эти явления наблюдаются при контактном разрушении льда, например, в процессах подвижки ледников, а также при взаимодействии льда с ледостойкими платформами и при работе ледокола. Влияние нелинейных волновых явлений на реологические характеристики льда изучается в условиях, имитирующих реальные процессы [2-3]. Исследуется механизм сдвига при гидростатическом давлении, передача упругих возмущений, создаваемых на пластическом фрикционном контакте вглубь льда, обтекание льдом препятствий и распределение скоростей по сечению цилиндрического канала. С помощью акустико-механического метода и метода электромагнитной эмиссии определяются эволюция структуры льда, кинетика её изменения и влияния вторичной структуры на реологические и прочностные свойства. Устанавливается количественная связь микро и макроскопических параметров льда, разрабатываются теоретические модели контактного разрушения льда в квазистатическом режиме нагружения и при ударном взаимодействии. Для установления такой связи используется методология, основанная на применении скалярных величин.

Полученные результаты исследований нелинейных волновых явлений и их влияния на формирование вторичных структур и прочностные свойства пресного и солёного льда будут способствовать более глубокому пониманию процессов, происходящих на ложе ледников, а также в морском льде при его контактном разрушении. Выполненные количественные исследования вторичных структур солёного льда и механизмов его контактного разрушения создадут новые возможности для решения широкого круга практических задач по освоению и развитию Арктики.

Исследования выполняются при финансовой поддержке РФФИ проект № 20-01-00649.

Литература

1. Epifanov V.P., Sazonov K.E. Effect of standing waves on the local strength of a modeled ice field // Doklady Physics, 2019, Vol. 64, No. 12, pp. 14-18.
2. Епифанов В.П. Физическое моделирование процессов движения ледников по ложу // Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах: Пятая международная научная конференция, ИПМЭХ РАН, 23-25 октября 2019 г., М., ООО «ПРИНТ ПРО». 2019. с. 49-51.
3. Епифанов В.П. Волновые процессы при контактном разрушении пресноводного льда // 10-я международная конференция «Волны и вихри в сложных средах» М., 03-05 декабря 2019. ООО «Премимум-принт», 2019. с.156-165.
4. Епифанов В.П., Нестеров С.В. Электромагнитная эмиссия как метод количественных исследований пластической деформации льда // Природные процессы в геосредах. ООО "Кватернион". 2019. № 4 (22), с. 480-489. <http://www.geomediacentr.ru/index.php/ru/publications>

Геоморфологические процессы и формы рельефа в зонах дегляциации бассейна реки Актру

Ерофеев А.А., Хэддинг Д.В., Хон А.В., Аббасов З.Р.

В работе представлены результаты первого крупно масштабного геоморфологического картографирования верховьев бассейна реки Актру, расположенного на Юго-Востоке Алтая. Blombin соавторами (2016) связывают уменьшение осадков и увеличение высоты линий равновесия (ELAs) с запада на восток с ограниченной протяженностью современных ледников в восточной части России и в Монгольском Алтае. На основе анализа картографического материала была выявлена скорость отступления ледников Актру. Между 1952-2017 гг. отступление ледника Малый Актру составило 12,4 метра в год. В промежутке между 1999-2013 гг. средние скорости отступления этого ледника составили 27 метров в год, а в 2013-2017 гг. достигли 43 метров.

Для понимания процессов эволюции рельефа, начиная с 2017 года, нами выполнялись работы по геоморфологическому картографированию верховий бассейна Актру. По мнению Ely et al. (2017), помимо информации о форме и об основных движущихся процессах, освободившиеся от ледника территории могут давать представление о подледниковых и/или субмаргинальных процессах. При этом, точную интерпретацию форм рельефа важно выполнять до этапа проведения палеоклиматических реконструкций, особенно при установлении связи между процессом и формой.

Поскольку выполнение геоморфологического картографирования в крутых горных районах весьма затруднено, помимо полевых работ для этих целей мы использовали космические снимки в сочетании с аэрофотосъемкой с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Были отмечены важные этапы процедуры, используемой для обработки изображений, полученных при помощи БПЛА, и трудности, возникающие при съёмке нивально-гляциальных геосистем.

Выполненное геоморфологическое картографирование верховьев Актру позволило создать геоморфологические карты приледниковых территорий трёх основных районов – Малого, Большого (Левого и Правого) Актру, а также ледника Водопадный. Помимо этого, полученные данные позволили картографировать и классифицировать небольшие переходные геоморфологические объекты, такие как осыпи, гляциальные и флювиогляциальные формы рельефа. Динамика этих явлений дает представление о надледниковых и подледниковых процессах в верховьях бассейна реки Актру, их последующей парагляциальной перестройки, колонизацией и стабилизацией биотой.

Список литературы

Blombin R, Heyman J, Stroeve AP, et al. (2016) Glacial geomorphology of the Altai and Western Sayan Mountains, Central Asia. *Journal of Maps* 12(1): 123-136. <https://doi.org/10.1080/17445647.2014.992177>

Ely JC, Graham C, Barr ID, et al. (2017) Using UAV acquired photography and structure from motion techniques for studying glacier landforms: application to the glacial flutes at Isfallsgläciären. *Earth Surface Processes and Landforms* 42: 877–888. <https://doi.org/10.1002/esp.4044>

Метан в подземных льдах Западной Арктики

Стрелецкая И.Д. (МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, irinastrelets@gmail.com),

Васильев А.А. (ИКЗ ТюмНЦ СО РАН, г. Тюмень),

Задорожная Н.А. (ИКЗ ТюмНЦ СО РАН, г. Тюмень; ИГ РАН, г. Москва)

Районы Западной Арктики (п-ов Ямал, Гыдан) имеют общую палеогеографическую историю: преимущественно морской характер седиментации в четвертичное время и быстрое промерзание отложений после выхода поверхностей дна из-под уровня моря. Формировались однотипные геокриологические разрезы. К особенностям таких разрезов относятся дисперсность пород, большая мощность газосодержащих мерзлых отложений, высокая степень засоления пород, линзы криопэггов, мощные залежи пластовых льдов (ПЛ), сингенетические полигонально-жильные льды (ПЖЛ) в верхних частях разрезов.

В качестве объекта выбран район полярной станции Марре-Сале (Западный Ямал), где ПЛ залегают неглубоко от поверхности и доступны для исследования в морских обрывах, а ПЖЛ представлены несколькими генерациями. Образцы льда дегазированы методом «Head space». Содержание газа определялось в лаборатории ФГБУ «ВНИИОкеангеология» на газовом хроматографе SHIMADZU GC 2014 и лаборатории геологического факультета МГУ. Для проб газа с высоким содержанием метана (более 0,5%) в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН на изотопном масс-спектрометре (в конфигурации GC-C-IRMS) определены значения изотопов $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$, значения изотопов водорода в метане D (CH_4) получены в ISOLAB B.V. (Нидерланды). Пузырьки во льдах содержат углеводородные (больше всего метана) и не углеводородные газы (азот, кислород, углекислый газ, водород и др.). Из углеводородных компонентов в воздушных пузырьках преобладает метан, его на порядок больше всех остальных углеводородных газов. В ПЖЛ содержание метана невысокое и меняется в пределах 300-400 ppm. ПЛ содержат метана значительно больше, характеризуются крайне высокой изменчивостью – от 85 до 23352 ppm в среднем составляя 6076 ppm, что объясняется неоднородностью концентрации газовых включений (пузырьков) в ледяных телах. Это обусловлено миграцией (вытеснением) метана из вмещающих отложений в формирующееся ледяное тело при промерзании обогащенной метаном глинистой толщи. Количество метана в ПЛ соизмеримо с количеством метана в придонно-пограничном слое водной толщи Карского моря в этом районе, что позволяет предполагать, что газопроявления на дне Карского моря могут быть связаны не только с нарушением сплошности субаквальной мерзлоты, но и с высвобождением находящегося в ней метана при оттаивании субаквальных отложений. Значения изотопного состава углерода $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$ из газовых включений пластовых залежей изменялись от -58,1‰ до -71,4‰, а значения D(CH_4) по метану изменялись от -231‰ до -326‰. Изотопный анализ метана и соотношение изотопов $\delta\text{C}^{13}(\text{CH}_4)$ и D(CH_4) свидетельствует о его биогенном генезисе. При повышении температуры мерзлоты в пластах льда образуются замкнутые полости с газом, водой и солью. Объем и давление газа в полостях зависят от изменения поверхностных условий. Повышение температуры пород понижает прочностные свойства перекрывающих отложений, что приводит к образованию воронок газовых выбросов. Воронки газового выброса – опасный инженерно-геокриологический процесс.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 18-05-60080). Данные по газовой компоненте в отложениях и подземных льдах района Марре-Сале получены в рамках проекта РФФИ № 18-05-60004.

Снег и лавины Африки

Ибраев К.А., Глазовская Т.Г., Селиверстов Ю.Г.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Атласские, Драконовы, Капские горы, нагорья Аххагар, Тибести, горы Сыменпокрываются с определенной периодичностью снегом. Сведения, собранные в международных метеорологических и гляциологических центрах данных, содержащиеся в научных публикациях и сообщениях информационных агентств, данные дистанционного зондирования Земли были использованы для составления базы данных о нивально-гляциальных системах Африки и наблюдаемых в них явлениях. Существуют здесь и горнолыжные курорты.

Рассмотрены факторы, определяющие возникновение снежного покрова и лавин. По результатам систематизации данных составлены карты распространения снежного покрова, частоты снегопадов, лавиноактивных районов континента.

Использование беспилотного летательного аппарата для исследования альbedo снежно-ледовых поверхностей Арктики и Антарктиды

*Б.В. Иванов^{1,2,3}, У.В. Прохорова^{1,3}, П.Н. Священников^{2,1}, М.В. Курапов¹,
Д.М. Журавский¹, А.В. Уразгильдеева^{2,1}, С.С. Сыроветников¹,
А.М. Безгрешнов¹*

¹*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт;*

²*Санкт-Петербургский государственный университет;*

³*Институт Физики Атмосферы РАН;*

Приводятся результаты использования БПЛА (квадрокоптер) для изучения альbedo естественных и искусственных снежно-ледовых поверхностей. Объектами исследований в Антарктиде являлись: ледниковый купол, шельфовый ледник, эпিশельфовые озера, припай, взлетная посадочная полоса (ВПП) ледового аэродрома. Районы исследований – станции Прогресс, Новолазаревская, Молодежная. В Арктике исследования проводились на архипелаге Шпицберген (ледник Альдегонда, краевая зона ледника Эсмарк). Для наблюдений использовался специальный измерительный комплекс, разработанный в ААНИИ, на базе новейших микропроцессорных контролеров и фотометра LI-190SA (фирма *LICOR*, США), работающего в диапазоне длин волн 400-700 нм. С помощью портативной фотокамеры, вмонтированной в измерительный комплекс, осуществлялась синхронная съемка изучаемых участков поверхности. При совместном анализе данных фотометра и камеры использовалась методика, разработанная в ААНИИ (Журавский и др., 2018). На методику получен патент РФ установленного образца. Для верификации результатов дистанционных наблюдений (БПЛА) на выбранных участках поверхностей устанавливалась актинометрическая установка, включающая аналогичные средства измерений (фотометры *LICOR*), регистрирующие проходящую и отраженную солнечную радиацию. Преимущество отдавалось наблюдениям, выполненным либо в абсолютно ясную погоду, либо при 100% сплошной облачности. На каждом выбранном полигоне (профиле) производились наблюдения на высотах: 2, 5, 10, 20, 50 м над уровнем поверхности. Поскольку использовались, практически безинерционные датчики, полет коптера осуществлялся при постоянной скорости и неизменной дискретности наблюдений. Особое внимание уделялось естественным поверхностям, включающим торосы, снежники, ледниковые трещины, переходные зоны «оазис – ледник», а также искусственным покрытиям, таким, как ВПП (Журавский и др., 2019; Фролов и др., 2019). Исследования выполнены в рамках ЦНТП Росгидромета 1.5.6.1, 1.5.3.7, 5.1.4 при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-05-00471, логистической поддержке 63, 64, 65 Российской Антарктической экспедиции и Российского научного центра на архипелаге Шпицберген.

Журавский Д.М., Б.В. Иванов, С.В. Кашин, Н.М. Куприков. Способ дистанционной оценки альbedo при помощи фоторегистрирующего оборудования. Исследования Земли из Космоса. 2018, №1, СС 52-59, DOI: 10.7868/S0205961418010050

Журавский Д.М., Прохорова У.В., Б.В. Иванов, А.С. Янжура, Н.М. Куприков, М.В. Курапов. Полевые испытания методики фотограмметрической оценки альbedo снежно-ледниковых поверхностей. Исследования Земли из Космоса. 2019, №4, СС. 18-28, DOI: <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019418-28>

И. Е. Фролов, В. В. Иванов, К. В. Фильчук, А. П. Макштас, В. Ю. Кустов, И. А. Махотина, Б. В. Иванов, А. В. Уразгильдеева, В. Л. Сёмин, О. Л. Зимина, А. А. Крылов, В. А. Богин, В. Ю. Захаров, С. А. Малышев, Е. А. Гусев, П. Е. Барышев, С. В. Пильгаев, С. М. Ковалев, А. Б. Тюряков. Трансарктика 2019: зимняя экспедиция в Северный Ледовитый океан на НЭС «Академик Трешников. 2019, т. 65, №3, СС. 255-274 DOI: 10.30758/0555-2648-2019-65-3-255-274.

Экспериментальные исследования содержания и массы ледяных кристаллов вторично-идиоморфного снега

Н.А. Казаков^{1,2}

¹*Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО
РАН, Южно-Сахалинск, Россия;*

²*Научно-исследовательский центр "Геодинамика", Южно-Сахалинск, Россия*

При исследовании снежной толщи структура ледяных кристаллов описывается двумя параметрами: размер кристалла и его форма. Однако не менее важно знать массу и объём кристаллов и их процентное содержание в снежном слое.

Как правило, слою сопоставляется один класс формы кристалла. Однако наши полевые исследования структуры снежана о. Сахалин, Курильских о-вах, на Западном Кавказе, п-в Ямал, на Кольском п-ве, в Подмоскowie, Архангельская области, Западной Сибири, в Забайкалье (1980 - 2020 гг.) показали, что процентное содержание ледяных кристаллов разных классов формизменяется с возрастом снежного слоя и зависит как от его начальной плотности, так и от погодных условий зимы.

На ранних стадиях конструктивного метаморфизма снежной толщи содержание ледяных кристаллов гранного класса форм в слое возрастом 7 - 12 суток может составлять 100 %, а в слое возрастом 20 - 50 суток - 30 - 40 %. В слое возрастом 15 - 30 суток содержание кристаллов скелетного класса форм (наивысшая стадия развития кристаллов льда в снежной толще) составляет 6 - 18%, в слое возрастом 20 - 50 суток - 30 - 40 %, в слое возрастом 55 - 65 суток - 50 - 60 %. В слое возрастом 50 - 60 суток содержание ледяных кристаллов гранного класса форм может составлять 10 - 20 %, кристаллов полускелетного класса форм - 20 - 50 %, кристаллов скелетного класса форм - 40 - 70 %, кристаллов секториального класса форм - 2 - 40 %.

Содержание в снежном слое ледяных кристаллов разных классов форм определяет как прочностные характеристики снежного слоя (что важно для прогноза лавин), так его акустические и электрические характеристики.

Экспериментальные исследования массы ледяных кристаллов вторично-идиоморфного снега разных классов форм проводились на Южном Сахалине в 2011 - 2019 гг.

Кристаллы полускелетного, скелетного и секториального классов форм размером более 1,0 мм отбирались из снежных слоёв разного возраста и взвешивались на электронных лабораторных весах GR-202 (I класс точности), позволяющих определять массу с точностью до 0,01 мг. Средний вес кристаллов гранного класса форм размером менее 1,0 мм определялся из выборки (2 кристалла и более). Объём кристаллов определялся пикнометрическим методом.

Значения массы ледяных кристаллов вторично-идиоморфного снега лежат в интервале от 0,1 до 10,0 мг. Максимальная измеренная масса кристалла скелетного класса форм размером 3,5 мм и возрастом 74 суток составила 8,40 мг при объёме кристалла (без учёта внутренней полости) 0,1633 см³. Массакристаллов секториального класса форм возрастом 50 суток - 0,03 мг, вторичных кристаллов гранного класса форм размером около 1,0 мм (возраст снежного слоя - 80 суток) - 0,009 мг.

Строение снежной толщ на Кольском полуострове

Н.А. Казаков^{1,2}, Е.Н. Казакова^{1,2}, А.В. Волков³

¹Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия;

²Научно-исследовательский центр "Геодинамика", Южно-Сахалинск, Россия;

³Управление главного инженера АО «Апатит», г. Кировск, Россия

В 2016 - 2019 гг. исследовалось строение снежной толщи в северной и центральной части Кольского п-ва (от Баренцева моря до Хибин) в тундровых, лесотундровых, таёжных, высокогорных арктических и др. ландшафтах в периоды максимальной перекристаллизации снежной толщи (февраль - апрель) и начального снегонакопления (октябрь).

В 35 шурфах исследовано 388 снежных слоёв разного возраста (расчёт скорости эволюции снежного слоя) и генезиса, выполнено 388 измерений плотности, пористости, структуры снега (размер и форма ледяных кристаллов) и текстуры (ориентация кристаллов и пор) снежных слоёв, 402 измерения температуры на контактах между слоями, 46 измерений временного сопротивления слоя разрыву и 27 измерений временного сопротивления сжатию, 119 измерений твёрдости (наконечником крестообразной формы, позволяющим учитывать анизотропию снежного слоя). По статистической выборке (20 - 100 кристаллов из каждого слоя) рассчитывалось процентное содержание кристаллов разных классов форм. По снегосъёмке определялись высота и водный эквивалент снежного покрова. Использовались, также, материалы наблюдений в 92 шурфах в Хибинах (370 – 1075 м абс. (Н.А. Казаков, 1985 – 1988 гг.), (А.В. Волков, 2016 - 2018 гг.)

Результаты. На Кольском п-ве высока скорость эволюции снежной толщи (табл. 1). Даже в многоснежные зимы (в т.ч., в ландшафтах высокогорных Арктических пустынь в Хибинах и Монче-тундрах) к марту до 90% снежной толщи выполнено ледяными кристаллами полускелетного и скелетного классов форм диаметром до 3,95 мм пристолбчатой и волокнистой текстуре. На абс. отм. более 1000 м формируются ослабленные снежные слои из погребённой зернистой изморози, сильно уменьшающие прочность снежной толщи.

Табл. 1. Скорость эволюции структуры снежной толщи (Кольский п-в).

Возраст снежного слоя, сут.	Содержание ледяных кристаллов разных классов форм, %			
	гранный	полускелетный	скелетный	секториальный
7 – 12	100	0	0	0
15 - 30	60 - 70	10 - 20	6 - 18	0
20 - 50	30 - 40	20 - 40	30 - 40	0
55 - 65	10 - 20	20 - 50	40 - 70	2 - 40

Эти закономерности эволюции снежной толщи характерны для Арктики и Субарктики (подтверждается исследованиями на п-ве Ямал, в низовьях р. Северная Двина и в Карелии).

Определение снежной толщи как горной породы, снежного слоя – как *фашии*, совокупность снежных слоёв – как геологической *формации*, позволяет описать снежную толщу в однотипных ландшафтах (проходящую седиментацию и диагенез в сходных гидрометеорологических и геофизических условиях, формируя в однотипные зимы спектры стратиграфических колонок с близким строением физическими характеристиками) как *литолого-стратиграфический комплекс (ЛСК)*. Эволюция ЛСК детерминирована: структурно-текстурные и физические характеристики снежной толщи задаются гидрометеорологическими и геофизическими условиями вмещающего ландшафта и могут быть рассчитаны. В *однотипных* ландшафтах формируются сходные ЛСК. Это позволяет на основе исследований снежной толщи в разных ландшафтах построить карты её строения для малоизученных территорий. Критерии выделения ЛСК: коэффициенты перекристаллизации, вторичного расслоения снежной толщи и текстуры

снежного слоя, позволяющие количественно описать строение снежной толщи в любой период зимнего сезона на любой территории для разных типов зим.

Карту ЛСК центральной части Кольского полуострова в масштабе 1:1000000 можно использовать для прогноза периодов массового формирования эпигенетических лавин и половодья и для оценки проходимости снежной целины транспортными средствами.

Максимальные объёмы лавин в низкогорье о. Сахалина

Н.А. Казаков^{1,2}

¹Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия;

²Научно-исследовательский центр "Геодинамика", Южно-Сахалинск, Россия

Считается, что объёмы лавин в низкогорье сравнительно невелики: от 0,5 - 10 тыс. м³ до 100 – 200 тыс. м³. Однако по данным полевых исследований в низкогорье о. Сахалин и Курильских островов (1970 – 2019г.г.) установлено, что максимальные объёмы лавин здесь превышают 1,0 млн. м³, дальность выброса – 3,5 км, высота фронта – 100 м. Толщина линий отрыва лавин достигает 400 см, толщина лавинных отложений – 26 м (Табл. 1.). Определение объёма и дальности выброса лавин проводилось как путём прямых измерений лавинных отложений и оторвавшегося снежного пласта после схода лавины, так и путём обмера лавинных снежников в весенне-летний период. Высота фронта лавин определялась по следам, оставленным лавинами на склонах долин.

Табл. 1. Лавины больших объёмов, зарегистрированные на о. Сахалине в 1970 – 2019г.г.

Дата	Адрес	Объём, тыс. м ³	Дальность выброса, м	Абс. отметка, м		Высота фронта лавины, м	Линия отрыва	
				Линии отрыва	Нижней границы конуса выноса		Длина, м	Толщина, м
17-18.03.1970	Сусунайский хр., пик Чехова, р. Уюновка	500,0	2500	900	300	-	400	4,0
28-29.02.1972	Сусунайский хр., пик Чехова, р. Перевальная	120,0	2000	900	300	-	-	-
17.03.1981	Сусунайский хр., пик Чехова, р. Скальная	230,0	1900	850	300	50	330	4,0
03.01.1991	Восточно-Сахалинские горы, Чамгинский перевал, г. Граничная	1400,0	3800	1300	500	100	500	4,0
03.01.1991	Восточно-Сахалинские горы, Чамгинский перевал	1000,0	2600	1100	500	80	-	-
Зима 2005/2006	Поронайский хр., г. Ледяная	400,0	2100	1240	400	-	-	-

Зимой 2005/2006 гг. несколько лавин объёмом до 1 млн. м³ при высоте фронта до 100 м сошли со склонов г. Лопатина (Восточно-Сахалинские горы, абс. отметка 1609 м). На Среднем Сахалине лавины объёмом 150 - 300 тыс. м³ сходят 1 раз в 3-5 лет, объёмом 1 млн. м³ и более – не реже 1 раза в 5-7 лет. На Южном Сахалине лавины объёмом более 200 тыс. м³ сходят 1 раз в 5-7 лет. Формирование в низкогорье о. Сахалин лавин больших объёмов обусловлено большой глубиной расчленения рельефа (300-1000 м); уклонами, оптимальными для накопления и перекристаллизации снежной толщи (30-45°); большим количеством твёрдых осадков (зарегистрированные максимумы осадков: за снегопад – 333 мм; суточный – 127 мм, часовой – 43 мм; 03-16.01.1991г., Чамгинский перевал); сильной перекристаллизацией снежной толщи (в январе – апреле значения коэффициентов перекристаллизации – 0,80-0,95, вторичного расслоения – 0,50-1,0 текстуры – 0,50-0,80). В образовании лавин больших объёмов перекристаллизация снежной толщи играет ведущую роль: в декабре – мае обрушение снежного пласта происходит по снежным слоям с волокнистой или столбчатой текстурой, сложенным кристаллами скелетного и полускелетного классов форм.

Ледниковые озера Юго-Восточного Казахстана: современное состояние и прогноз изменений в будущем

Капица В.П.^{1}, Касаткин Н. Е.¹, Шахгеданова М. В.², Северский И.В.¹, Медеу А.Р.¹,
Усманова З.С.¹, Благовещенский В.П.¹, Касенов М. К.³*

¹АО «Институт географии и водной безопасности» МОН РК

²University of Reading, UK

³Государственное учреждение «Казселезащита» Комитета по чрезвычайным ситуациям
Министерства внутренних дел Республики Казахстан, Алматы, Казахстан

*vasil.geo@mail.ru

Многочисленные ледниковые озера – неотъемлемый элемент ландшафта гляциально-нивального пояса гор Юго-Восточного Казахстана. Многие из них являются прорывоопасными и создают угрозу возникновения разрушительных паводков и селей.

В период 2009-2019 гг. Институт географии совместно с Казселезащитой проводил мониторинг состояния и батиметрическую съемку прорывоопасных ледниковых озер в горах Заилийского, Джунгарского и Кунгей Алатау. Батиметрическая съемка была выполнена на 71 озере. Из них 63 озера были расположены на современной морене, 7 – на старой морене, 1 озеро было завальным. Батиметрическая съемка наиболее прорывоопасных озер проводилась от 3 до 6 раз.

В условиях меняющегося климата и деградации оледенения происходят изменения состояния существующих приледниковых озер нередко со значительным увеличением их емкости, а на освободившейся ото льда площади формируются новые озера, что увеличивает вероятность возникновения разрушительных гляциальных селей. Использование современных ГИС-технологий в сочетании с данными наземного мониторинга и возможностями модели GlabTop позволило оценить динамику состояния приледниковых озер и оценить возможные изменения их морфометрических характеристик.

Диапазон измеренных площадей и объемов озер на современной морене составил 2,0-234,0 тыс. м² и 2,9-5389,0 тыс. м³, а для озер на старой морене – 4,3-197,5 тыс. м² и 9,7-534,2 тыс. м³ соответственно. По результатам исследований выявлена тесная связь объема озера V с его площадью F : для озер, имеющих контакт с ледником $V=1.44 \cdot F^{1.37}$, а для озер на современной морене, не имеющих контакта с ледником, $V=0.05 \cdot F^{1.46}$ с коэффициентами корреляции 0,92 и 0,94 соответственно. Наибольшими глубинами (до 50 м) и объемами характеризуются озера, расположенные между фронтальными валами современных морен и языками ледников.

Результаты моделирования с использованием программы GlabTop показали, что при условии сохранения современных темпов отступления ледников, большинство озер, примыкающих к языкам ледников, будут увеличиваться. Так объем воды озера 13 бис в Заилийском Алатау после проведения превентивных мероприятий по состоянию на 2019 г составлял 146 тыс. м³ при максимальной емкости 500 тыс. м³. Согласно результатам моделирования, в будущем объем озера может увеличиться до 1 млн. м³.

Работа выполнена при поддержке Комитета Науки Министерства образования и науки Республики Казахстан по гранту № AP05133077.

Расчет гидрографа прорыва ледниково-подпрудного озера Спартаковское (о. Большевик, Северная Земля)

Кидяева В.М.², Саргсян Г.Г.³

(1 – Институт географии РАН, 2 – МГУ им. Ломоносова, 3 – Университет штата Луизиана)

Прорывы ледниково-подпрудных озер в Арктической зоне – события редкой повторяемости и катастрофических масштабов. Они приводят к образованию айсбергов при отколе от ледников, спускающихся в море и могут представлять существенную опасность для судоходства. В Российском секторе Арктики описаны единичные случаи прорывов озер (озера Ольгинское, Высокое, Провальное, Экспедиции на Новой Земле, озера у ледника Авсюка, Земля Франца-Иосифа), хотя это достаточно распространенные явления на территории зарубежной Арктики (Норвегии, Исландии, Британской Колумбии и Аляски). Озеро Спартаковское, расположенное на о. Большевик, Северная Земля, – крупнейшее озеро в Российской Арктике. Озеро подпружено ледником Семенов-Тянь-Шанский, который спускается в фьорд Спартак, пролив Шокальского, по которому проходят судоходные пути.

Прорыв озера Спартаковское 25-27 августа 2016 г. – классический пример спуска озера через ледовую плотину. Аналогами этому событию являются, например, прорывы ледниково-подпрудных озер у ледников Вальдез (2017), Хаббард (1986, 2002), Джордж (последний прорыв в 1967 г.) в залив Аляска.

Существуют как эмпирические методы и формулы для оценки максимальных расходов воды и форм гидрографа, так и расчетные методы, разработанные для различных случаев прорывов. Наиболее изученный на данный момент метод расчетов разработан Ю.Б. Виноградовым для озер, подпруженных ледовыми массивами. Начальные и граничные условия модели Виноградова могут быть получены в ходе полевых исследований. По нашим оценкам, высота поверхности ледяной перемычки над максимальной глубиной озера составляла 200–250 м, разница в отметках высот между началом и концом тоннеля, по которому происходил сброс воды, – 100–150 м, длина тоннеля от 4,5 до 5 км. В момент прорыва уровень озера более чем 100 метров превышал уровень моря. Модельные оценки среднего расхода воды в период спуска озера дают величину не менее 4600 м³/с. Максимальные оценки расхода воды достигают 20000 м³/с. Форма гидрографа ассиметричная, с пологим подъемом и резким спадом, что характерно для такого типа процессов. Продолжительность излияния воды оценивается в 1,5–2 суток.

Исследование производилось в рамках Государственного задания № 0148-2019-0004 (АААА-А19-119022190172-5) «Оледенение и сопутствующие природные процессы при изменениях климата». Работа осуществлялась при поддержке грантов РФФИ № 18-05-60067 Арктика и № 18-05-00520 А.

Оценка опасности прорыва ледниковых озер Западного и Центрального Кавказа

Бондарев С.А., Кидяева В.М.

МГУ им. Ломоносова

Современные подходы к оценке опасности горных озер отходят от простых экспертных оценок и основываются на статистическом анализе. Предпосылкой к этому стали появления автоматических методов дешифрирования космических снимков высокого разрешения, повсеместное распространение цифровых моделей рельефа, в том числе на горные территории, а также составление расширенных баз данных горных озер.

В основе оценки прорывоопасности лежит анализ факторов формирования опасных гляциальных процессов – прорывов озер. Наиболее значимые факторы по результатам факторного анализа должны стать независимыми переменными, определяющими вероятность прорыва того или иного озера.

Была составлена база данных высокогорных озер Кавказа, расположенных выше горизонтали 2000 м н.у.м. База данных состоит из характеристик озер, которые отобраны в первую очередь по возможности их оценки с использованием топографических карт и космических снимков. Затем был произведен выбор параметров озер, которые в дальнейшем будут участвовать в факторном анализе. Выбор производился с учетом региональных особенностей оледенения и развития гляциальных процессов, а также уже произошедших прорывов. Для целей статистического анализа характеристики были формализованы в виде номинальных значений.

Факторный анализ собранных в базе данных параметров заключался в сокращении количества индикаторов за счёт отброса взаимно скоррелированных показателей и выявлении тех факторов, которые объясняли наибольшую дисперсию в выборке. Отбор факторов проводился с помощью метода главных компонент.

Оценка опасности опирается на предположение, что вероятность прорыва горного озера может быть рассчитана с помощью бинарной логит-регрессии, где зависимая переменная принимает значения 0 – прорыв не произошёл и 1 – прорыв произошёл, а независимыми переменными являются характеристики озер или долин, в которых они расположены, отобранные на основе факторного анализа.

Работа осуществлялась при поддержке гранта РФФИ № 18-05-00520 А.

Режимно-статистические особенности экстремального дрейфа льда, полученные по результатам модельных расчетов

Клячкин С.В., Гузенко Р.Б., Май Р.И.

ФГБУ «ААНИИ»

Общеизвестно, что дрейф морского льда является одним из важнейших элементов динамики ледяного покрова. Иногда, при определенных сочетаниях внешних сил и свойств самого ледяного покрова, скорости дрейфа могут достигать очень больших значений, что оказывает сильное влияние на общий характер ледовых условий в море, а также создает угрозы любым видам хозяйственной деятельности.

Для получения статистически значимых объемов информации об экстремальном дрейфе льда в данном исследовании была использована разработанная в ААНИИ численная динамико-термодинамическая модель эволюции ледяного покрова. Модель представляет собой численную реализацию уравнений динамики и термодинамики океана и ледяного покрова. Океанский блок методики основан на модели океана Принстонского университета (PrincetonOceanModel, POM), ледовый блок - на модели ААНИИ, главной особенностью которой является имитация ледяного покрова с помощью так называемых маркеров (условных льдин). В качестве исходной ледовой информации используются ледовые карты, которые составляются специалистами ФГБУ «ААНИИ» по спутниковым снимкам различных диапазонов и разрешений. В качестве исходных гидрологических данных используются результаты предыдущего прогноза, в отдельных случаях - среднемесячные поля температуры и солености воды на стандартных горизонтах. Для задания атмосферного форсинга используется глобальная модель атмосферы Глобальной Прогностической Системы США (GlobalForecastingSystem, GFS).

С помощью модели была воспроизведена эволюция ледяного покрова в юго-западной части Карского моря в период с 1 января по 5 апреля 2018 г. с дискретностью 1 час и с тремя вариантами пространственного разрешения: 5 км, 12,5 км и 25 км. Для трех специально выбранных точек (соответственно, на подходах, в горле и в центре Байдарацкой губы) были получены оценки повторяемости направлений дрейфа, оценки средней и максимальной скорости, оценки стандартного отклонения скорости, а также гистограммы распределения скорости по 8 основным румбам. Кроме того, используя известное распределение Гумбеля, были рассчитаны экстремальные значения скоростей дрейфа заданной обеспеченности в терминах «1 раз в N лет».

Далее были вычислены парные коэффициенты корреляции скорости дрейфа льда с основными влияющими на дрейф факторами (инерция, ветер, течения и т.д.) в разных диапазонах скоростей. Это позволило качественно оценить изменение вклада каждого фактора в зависимости от скорости дрейфа и, соответственно, получить более подробную картину механизма формирования экстремальных скоростей.

Поскольку все модельные расчеты и выполнялись для трех вариантов пространственного разрешения, обработка результатов позволила также получить представление о влиянии пространственной детализации модели на статистические оценки экстремального дрейфа.

Исследования изотопного состава водяного пара в Южной полярной области для уточнения палеоклиматических реконструкций по ледяным кернам

Козачек А.В.¹, Екайкин А.А.^{1,2}, Стеен-Ларсен Х.К.³, Ландэ А.⁴

- 1. Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*
- 2. Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*
- 3. Центр льда и климата, Университет Копенгагена, Копенгаген, Дания*
- 4. Лаборатория наук о климате и окружающей среде, Сакле, Франция*

В докладе представлен анализ результатов непрерывных измерений изотопного состава водяного пара над поверхностью Южного океана во время Антарктической кругосветной экспедиции АСЕ (2016-17 гг).

Дана сравнительная характеристика нескольких типов оборудования для измерения изотопного состава водяного пара. Во время экспедиции было использовано три типа приборов одновременно, что позволило получить более достоверные данные

В результате анализа полученных данных были выявлены закономерности формирования изотопного состава водяного пара в зависимости от температуры поверхности океана и влажности воздуха.

Полученные данные включены в модель формирования изотопного состава ледяных кернов и модели циркуляции атмосферы, что позволило уточнить количественные реконструкции изменения температуры воздуха в Антарктиде.

Полевые работы выполнялись при финансовой поддержке Федеральной политехнической школы Лозанны, компании FerringPharmaceuticals и фонда АСЕ. Анализ данных выполняется при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-05-16001 НЦНИЛ_a).

Эволюция оледенения северного склона Заилийского Алатау

А.Л. Кокарев, И.В. Северский, И.Н. Шестерова

*Институт географии и водной безопасности Комитета Науки Министерства
образования и науки Республики Казахстан, Алматы*

Оледенение северного склона Заилийского Алатау по состоянию на 2017 г. оценено в результате инвентаризации по данным оперативных космических съёмок сенсора Landsat 8 OLI TIRS, дата съёмки – 03.09.2017, наземное разрешение – 30 и 15 м, применяемая проекция – UTM WGS 84, применяемая ЦМР – ASTER GDEM. Для оценки изменения оледенения использовались данные предыдущих каталогов этой ледниковой системы – за 1955, 1974, 1979, 1990 и 2008 гг. На северном склоне Заилийского Алатау в 2017 г. зарегистрировано 470 ледников. Общая площадь открытой части всех ледников составляет 148,2 км², объём льда – 5,29 км³. Для сравнения, в первом Каталоге по состоянию на 1955 г. зафиксировано 307 ледников с общей площадью открытой части 287,3 км² и объёмом льда 13,76 км³. За 62 года оледенение северного склона Заилийского Алатау сократилось по площади на 139,1 км² (на 48,4 %), теряя в год по 2,24 км² или по 0,78 % своей площади. Следует отметить, что общий темп деградации с 1955 года практически не изменился в сравнении с исследованиями оледенения этого региона по состоянию на 1990 и 2008 годы. Максимальные темпы деградации (до 1,24% в год) характерны для бассейнов с преобладанием малых ледников, особенно для бассейна р. Чамалган с минимальным коэффициентом оледенения (общая площадь ледников по состоянию на 2017 г. всего 0,6 км²), тогда как в бассейнах рек Талгар, Иссык, Тургень, где основная доля площади оледенения приходится на ледники площадью более 1 км² и коэффициент оледенения наибольший, темп деградации ледников с учетом данных нового каталога не изменился относительно среднего за период с 1955 по 2008 г. За тот же период ледники уменьшились по объёму на 8,5 км³, или на 61,6 %, средний темп деградации объёмов ледников составил 1 % в год.

На основе устойчивости соотношения площади ледников частного бассейна площади ледников соответствующей ледниковой системы и данных нового каталога ледников Заилийской ледниковой системы мы рассчитали площадь ледников Джунгарской и Верхне Илийской (китайской части бассейна реки Или) ледниковых систем по состоянию на 2017 г. Учет данных каталога ледников Заилийского Алатау по состоянию на 2017 г. не изменил параметров трендов динамики оледенения всех трех ледниковых систем: продолжается сокращение площади оледенения региона с интенсивностью 0.73-0,75% а⁻¹.

Работа выполнена при поддержке гранта Комитета Науки МОН РК № AP05133077 «Эволюция снежности зоны формирования речного стока Балхаш-Алакольского бассейна в условиях меняющегося климата как фактор водной безопасности и устойчивого развития».

Пространственно-временная изменчивость снежного покрова континентальных районов Аляски

Комаров А. Ю¹, Sturm M².

¹ *НИЛ Снежных лавин и селей, Географический факультет МГУ*

² *Geophysical Institute, University of Alaska, Fairbanks*

Снежный покров характеризуется высокой изменчивостью своих свойств и характера залегания в зависимости от климатических и погодных условий, особенностей распределения рельефа и растительности исследуемой территории.

Исследования снежного покрова проводились на протяжении более чем 6 месяцев в течение зимнего периода 2019-2020 годов в окрестностях города Фэрбанкс, центральная Аляска, США. Они были направлены на изучение особенностей распределения и эволюции снежного покрова на качественно разных участках таежного ландшафта. Измерения температуры воздуха и грунта, плотности, стратиграфии, формы и размера кристаллов снежной толщи проводились вдоль 5-6 метровых траншей с пространственным разрешением 50-100 см на 3-х основных и ряде дополнительных площадках: в густом хвойном лесу, в лиственном лесу с полигонально-жильным рельефом и на открытом поле.

Рассмотрены закономерности залегания и особенности метаморфизма снежной толщи в зависимости от температуры воздуха, микрорельефа подстилающей поверхности и растительности. Особое внимание уделено взаимному влиянию снежного покрова и древесной растительности на лесных участках.

Установлено, что перечисленные факторы оказывают значительное влияние на развитие снежной толщи в течение зимнего периода даже при отсутствии ветра, значительно увеличивая пространственную неоднородность снежной толщи и изменяя ее механические и термические свойства.

Строение и формирование линзовидно-пластовых льдов в озерно-аллювиальной террасе на севере Гыдана

Королева Е.С.^{1,3}, Слагода Е.А.^{1,2,3}

¹*Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень*

²*Тюменский государственный университет, Тюмень*

³*Тюменский индустриальный университет, Тюмень*

e-mail: koroleva_katy@inbox.ru

Отложения 2-й аллювиальной террасы в низовьях р. Гыда представлены песчаными отложениями с двумя генерациями ледяных жил. Первая генерация представляет собой крупные ледяные жилы, уходящие под урез воды, их ширина в средней части около 3 м. Между ними располагаются более узкие ледо-грунтовые жилы. В формировании ледяных и особенно ледогрунтовых жил участвуют не только элементарные жилки, но и сегрегационные льды. В разрезе террасы, кроме полигонально-жильных систем, распространены крупные линзовидно-пластовые льды.

В 2016-19 гг в мерзлой толще террасы были изучены разрезы западнее и восточнее п. Гыда. В разрезе ВЗ-19 вскрыты по-разному ориентированные ледяные жилы 2-й генерации, которые имеют неровную, сниженную до глубины 2-4 м кровлю с плечиками на боковых контактах. Жилы залегают в сильнольдистых пылеватых песках с линзовидно-слоистыми, поясковыми и линзовидно-сетчатыми криотекстурами. Слои вмещающих песков изогнуты вверх вблизи жил.

В этом разрезе изучены две разновидности линзовидно-пластовых тел: ледяное и ледогрунтовое. В верхней части разреза линзовидное пластовое тело пересечено жилой льда. Линзовидно-пластовый лед обладает четкой наклонной слоистостью, образованной тонкими прослоями песков, и залегает наклонно согласно седиментационной слоистости. Его нижняя граница осложнена затеком в оплавленную кровлю второй ледяной жилы. В средней части разреза вскрыт контакт второй ледяной жилы и двух разных линз льда. Жила пересекает вторую наклонную линзу прозрачного льда и продолжается ниже. Третья горизонтальная линза мутного, белого льда с торфом, возраст которого около 6,5 т.л.н. врезана с секущим контактом в жилу и линзу прозрачного льда.

По структурно-текстурным особенностям установлены взаимоотношения линз льда с повторно-жильными льдами, инфильтрационный и сегрегационный генезис наклонных линз 1 и 2. Линзу 3 составляет конжеляционный лёд, характерный для термоэрозионных каналов или термоабразионных ниш. Линзовидно-пластовые льды, осложняющие строение многолетнемерзлой голоцен-неоплейстоценовой толщи с полигонально-жильными системами, имеют разный генезис и время образования.

Работа выполнена по грантам РФФИ № 18-05-60222 Арктика "Криогенные рельефообразующие процессы..." (ИКЗ ТюмНЦ СО РАН), № 18-55-11005 АФ_т "Механизмы, траектории и пятнистость изменений арктических экосистем..." и плану НИР ТюмНЦ ИКЗ СО РАН. Проект IX.133.1.2. "Закономерности стадийных изменений мерзлых толщ, льдов..."

Суточные колебания уровня воды равнинного ручья в период снеготаяния

А.Г. Косицкий, М.Б. Киреева, А.Н. Лукьянова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Известно, что на горных реках с преимущественно ледниковым питанием в летний период прослеживаются суточные колебания водности, вызванные разной интенсивностью таяния ледника. Очевидно, что такой же эффект должен иметь место и для равнинных рек в период снеготаяния. Проследить его можно только для водотоков, имеющих небольшую площадь водосбора, чтобы различия во времени добегания были минимальными.

В качестве объекта исследования выбран небольшой ручей Егорова оврага, протекающий в центре Восточно-Европейской равнины и являющийся правым притоком р. Протвы. Площадь поверхностного водосбора ручья составляет 0,51 км². В период весеннего снеготаяния 2019 г. в ручье был установлен автоматизированный измеритель уровня воды *Levelogger*. Измерения проводились в течение 24 дней каждые 3 часа и совпадали со сроками наблюдений на метеостанциях. Точность определения уровня составляла 1 мм.

За каждые сутки были взяты максимальные и минимальные значения уровня воды. За первые 14 суток, соответствующих периоду снеготаяния, 8 раз из 14 минимум уровня воды пришелся на 6 утра, то есть в наиболее холодное время суток. Максимум уровня ровно в половине случаев пришелся на 15 часов, то есть в наиболее теплые часы, когда интенсивность снеготаяния наибольшая. В последующие 10 суток, когда снежного покрова на водосборе не было, наступление максимумов и минимумов уровня воды носило более хаотичный характер.

В период снеготаяния разница между максимальным и минимальным уровнем воды в течение одних суток составляла в среднем 2,4 см. В один из дней эта разность достигла 10 см. Это бы день наибольшего за весь исследуемый период уровня воды. Следует подчеркнуть, что и в этот день, и во второй и третий по величине разности максимального и минимального уровней воды (5,0 и 4,5 см) минимум уровня наступал в 6 часов, а максимум в 15 часов.

После завершения снеготаяния средняя разность между максимальным и минимальным суточными уровнями воды составила 0,8 см, а максимальная – 1,2 см. Таким образом, в период отсутствия снеготаяния явно выраженные суточные колебания уровня воды в ручье прекратились.

Состав снега в районе разработки месторождения алмазов им. М.В.

Ломоносова

Котова Е.И.¹, Бедрина Д.Д.¹, Дружинин С.В.¹

¹ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Архангельск, Россия

На территории Архангельской области ведется разработка месторождения алмазов им М.В. Ломоносова, в результате которой происходит трансформация естественных экосистем территории. Помимо прямого изменения ландшафтов одним из источников загрязнения окружающей среды является аэрогенный перенос пылевых частиц от отвалов вмещающих пород. Цель работы – изучить состав снежного покрова в районе месторождения им М.В. Ломоносова и оценить аэрогенное распространение поллютантов.

В рамках работы были отобраны пробы снега вблизи разрабатываемой трубки Архангельская, радиусе 1-20 км и в фоновом районе в 40 км от трубки (всего 11 точек). Отбор проб производился в марте 2019 года на всю глубину залегания снежного покрова в пластиковые ведра с помощью пластиковой лопаты во избежание загрязнения металлами. В лаборатории снег растапливался при комнатной температуре в ведрах, в которые был отобран. Нерастворимое взвешенное вещество снега было выделено методом вакуумной фильтрации на фильтры с порами 0,45 мкм. Разложение фильтров проводилось путем кислотного вскрытия в автоклавной микроволновой системе минерализации проб под давлением (TORwave, Analytikjena). Анализ проб на содержание марганца, свинца, кадмия, цинка, хрома, никеля, кобальта, меди, железа был проведен в ЦКП НО «Арктика» Северного (Арктического) Федерального Университета имени М.В. Ломоносова методом ИСП-МС (AuroraElite, Bruker).

По результатам полевых работ высота снежного покрова в точках отбора составляла 20-23 см на льду, 92-97 см – в лесу.

Общее содержание взвеси в пробах составляло 1,5-9,3 мг/л, при этом максимальные значения определены в пробах, отобранных вблизи карьера. Для района месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова в снеге характерно наличие мелких частиц, окрашивающих фильтры в коричневато-красноватый цвет.

Согласно полученным данным содержание алюминия, хрома, марганца, кобальта, никеля и железа во взвешенном веществе снежного покрова в районе в 19-30 раз выше по сравнению с фоновыми точками. Влияние аэрогенного переноса с отвалов на содержание меди, цинка, кадмия и свинца в снежном покрове не так явно. Среднее содержание кадмия в районе карьера (в фоновом районе) составило 0,016 мкг/л (0,010 мкг/л); меди – 0,63 мкг/л (0,58 мкг/л), цинка – 0,79 мкг/л (0,76 мкг/л), свинца – 0,34 мкг/л (0,22 мкг/л)

Таким образом, влияние разработки месторождения им М.В. Ломоносова на окружающую среду вследствие переноса пылевых частиц проявляется в распространении взвешенного вещества, содержащего алюминий, хром, марганец, кобальт, никель и железо.

Факторы, влияющие на процесс прорыва водоёма, подпруженного снежно-ледовой плотиной

М.Р. Кузнецова^{1,2}, С.Д. Григорьева^{1,2}, Э.Р. Киньябаева^{1,2}, Г.В. Пряхина¹, С.В. Попов^{1,3},

1 - СПбГУ, 2 – ФГБУ «ААНИИ», 3 – АО «ПМГРЭ»

Прорыв водоёма, подпруженного любой природной плотиной – грунтовой, моренной, ледяной, является сложным и многофакторным процессом. Это также справедливо и для озёр, подпруженных снежно-ледовой плотиной, встречающихся в районах Антарктических оазисов.

Комплексные исследования их гидрологического режима имеют не только научное, но и прикладное значение. Прорывы озёр, расположенных в районе объектов инфраструктуры (трассы для перемещения санно-гусеничной техники, отдельные строения), нередко приводят к их полному или частичному разрушению, а также являются источником повышенной опасности для людей.

Система «водоём-снежник» образуется благодаря тому, что накапливающаяся в отрицательных формах рельефа вода удерживается снежной-ледовой перемычкой, не стаивающей в течение всего летнего периода. При достижении водой критического уровня происходит разрушение перемычки, сопровождающееся формированием канала, через который осуществляется сброс озёрных вод. Таким образом, процесс формирования прорывного паводка зависит как от уровня режима водоёма, так и от структуры и состояния снежно-ледовой перемычки.

В рамках работ летнего полевого сезона 65-й РАЭ (2019-2020 гг.) выполнены детальные исследования систем озёр ЛН-73 – Прогресс – Сибторп и ЛН-59 – Нелла – Дискашн (холмы Ларсеманн, Земля Принцессы Елизаветы, Восточная Антарктида), включающие наблюдения за динамикой уровней воды озёр и их гидрологическим режимом, а также за состоянием снежно-ледовой перемычки.

На каждом из водоёмов выполнялись ежедневные измерения уровня воды на свайных водомерных постах; на озерах Прогресс и Дискашн с помощью самописца уровня были получены детальные данные о динамике уровня воды при формировании прорывного паводка. Мониторинг состояния снежно-ледовых перемычек осуществлялся преимущественно геофизическими методами, которые дополнялись визуальными наблюдениями и послойным изучением снежного покрова в отдельных точках снежников. Дополнительно выполнялась фотофиксация с использованием БПЛА.

Анализ данных, полученных в 65-ю РАЭ и в предшествующие полевые сезоны, позволил выявить сформулировать основные факторы, запускающие процесс прорыва водоёма и влияющие на его развитие. К ним относятся:

(1) климат и погодные условия теплого сезона; (2) строение снежно-ледовой перемычки; (3) состояние (степень разрушения) снежной-ледовой перемычки на момент прорыва; (4) динамика уровня воды прорывоопасного водоёма; (5) в случае системы прорывоопасных озёр, уровень воды нижерасположенного водоёма и поступление воды из выше расположенного водоёма. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-05-00343 А.

**Особенности формирования химического состава рек ледникового питания
Центрального Кавказа при интенсивной деградации оледенения**
Керимов А.М., Курашева О.А. ФГБУ «ВГИ»

Для оценки качества талых вод ледникового происхождения представляет большой интерес исследование их загрязнённости химическими веществами. Особый интерес вызывает оценка загрязнённости снега и льда тяжёлыми металлами и их миграция в системе «снег-фирн-лёд-талые ледниковые воды», что позволяет определить масштаб происходящего загрязнения, его направленность и динамику. Для исследования выбраны реки ледникового питания Центрального Кавказа бассейна реки Терек. Но наиболее длительный период наблюдений и большой объём статистического материала накоплен для бассейна р. Баксан.

Истоком реки Баксан служат талые воды ледников южного сектора оледенения Эльбрусского вулканического центра. На эталонном леднике Гарабаши (южный склон Эльбруса) с начала 80-х годов прошлого столетия при проведении масс-балансовых работ, отбирались пробы снега и льда с языка ледника до вершин Эльбруса, для определения содержания тяжёлых металлов, главных ионов и микрочастиц. Из всех категорий образцов, взятых на склоне Эльбруса. Меньше всего примесей отмечается в чистом льде на конце ледника. В нём содержится втрое меньше примесей Ag, Ni, Mo, Pb: 0,014; 1,15; 0,18; 0,83 мкг/л соответственно. По оценкам исследователей данного района (Рототаева О.В., и др.), время оборота массы в леднике Гарабаши составляет порядка 160-170 лет, поэтому лёд, тающий сейчас на конце ледника, начал формироваться полтора века назад, когда и воздушные потоки и осадки в высокогорье Кавказа были значительно чище, чем в настоящее время. Концентрации тяжёлых металлов в снежной толще к моменту максимального снегонакопления на леднике Гарабаши и в речных водах рек: Азау, Гарабаши, Терскол, являющихся истоками реки Баксан одного порядка, носят индивидуальный характер. Их содержание, как правило, меньше предельно-допустимых концентраций для рыбохозяйственных водоемов.

Для остальных рек Центрального Кавказа ледникового питания наблюдение в высокогорной зоне не проводилось. В предгорной и равнинной зонах проводилось определение загрязнённости почти всех основных рек Центрального Кавказа ледникового питания (рр. Терек, Малка, Баксан, Чегем, Черек, Урух, Ардон). Как следует из результатов анализа уровень загрязнения рек зависит от фазы водного режима. В дождевые паводки средние концентрации микропримесей увеличиваются в 2-8 раз. Такое увеличение загрязнённости рек связано с повышением, как естественной составляющей (за счёт вымывания тяжёлых металлов из подстилающих пород), так и антропогенной деятельностью (влияние населённых пунктов и агропромышленного комплекса).

Мониторинг загрязнённости рек ледникового питания - основных источников пресной воды в период интенсивной деградации горного оледенения становится весьма актуальной.

**Биологические объекты атмосферных осадков в зонах взаимодействия
нивально-гляциальных систем Алтая**

Н.А. Курятникова^{1,2}, Н.С. Малыгина², Е.Ю. Митрофанова²

¹*Алтайский государственный университет,* ²*Институт водных и экологических
проблем СО РАН*

В последнее время одним из основных подходов к исследованию нивально-гляциальных систем является комплексное применение надежных биологических маркеров, которые отличаются хорошей сохранностью (пыльца с оболочкой из спорополленина и водоросли с кремниевым панцирем – диатомей). Данные объекты зарекомендовали себя хорошими индикаторами палеоклиматических и палеоэкологических событий, наблюдаемых, в том числе и в холодных территориях, где ведущая роль отводится изучению атмосферных осадков и снежного покрова, которые в континентальных районах наблюдаются в течение большей части года (или круглогодично).

В настоящей работе представлены результаты микроскопического анализа проб твердых атмосферных осадков (снега), отобранных в начале зимнего периода 2019-2020 года в точках, расположенных в соседних нивально-гляциальных системах, а именно Атлантико-Североевразийской и Атлантико-Евразийской гляциологических провинциях, а также на границе их взаимодействия. При проведении микроскопического анализа с использованием светового микроскопа Laboval 4 Carl Zeiss были идентифицированы пыльцевые зерна *Betula* sp., *Pinus* sp., представители сем. *Asteraceae*, *Chenopodiaceae*, *Poaceae*. Однако, у 10% пыльцевых зерен не удалось идентифицировать таксономическую принадлежность, для чего в дальнейшем запланировано электронно-микроскопическое изучение образцов (СЭМ Hitachi S-3400N).

Все пыльцевые зерна, идентифицированные в атмосферных осадках, принадлежали анемофильным (ветроопыляемым) растениям, пыльца которых приспособлена для переноса по воздуху на значительные расстояния. Для определения потенциальных территорий, с которых поступали пыльцевые зерна, будет реализован анализ метеорологических данных (NCEP/NCAR, ERA5), карт распространения снежного покрова, а также рассчитаны обратные траектории движения воздушных масс (модель HYSPLIT) для высот пограничного слоя атмосферы (ERA5). Дополнительно на модельных полигонах в период максимального снегонакопления (начало марта) будет проведен отбор проб снежного покрова (как интегрального показателя атмосферных осадков за холодный период) с целью изучения процессов как накопления, так и распределения биологических объектов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90078

Алгоритм определения территорий поступления пыльцевых зерен и водорослей с зимними атмосферными осадками на юг Западной Сибири

Н.А. Курятникова^{1,2}, Н.С. Малыгина², Е.Ю. Митрофанова²

¹Алтайский государственный университет, ²Институт водных и экологических проблем СО РАН

В последнее время при исследовании объектов криосферы большое внимание стали уделять рассмотрению биологических объектов (в первую очередь, пыльцы и водорослей) как индикаторов климатических и экологических изменений в регионе. Пыльцевые зерна и водоросли характеризуются сезонным характером распространения и часть из них имеют прочную внешнюю оболочку (пыльца с оболочкой из спорополленина, диатомеи с кремниевым панцирем), что позволяет им сохраняться под воздействием внешних факторов. Морфологические особенности (например, наличие воздушных мешков, малые размеры) позволяют данным частицам переноситься на значительные расстояния, что накладывает определенные ограничения при палеоклиматических и палеоэкологических реконструкциях. Однако, изучению поступления пыльцевых зерен и водорослей с атмосферными осадками (особенно в холодный период), играющими важную роль в формировании как всей криосферы, так и отдельных ее компонентов, к сожалению, все еще не уделяется должного внимания.

В работе представлены результаты пыльцевого и альгологического анализа проб твердых атмосферных осадков (снега), отобранных в течение пяти холодных периодов (2014/15 гг., 2015/16, 2016/17, 2017/18, 2018/19 гг.) на юге Западной Сибири. Проведенный микроскопический анализ позволил идентифицировать пыльцевые зерна древесных (*Betula* sp., *Populus* sp., *Alnus* sp., *Salix* sp.) и травянистых (*Artemisia* sp., сем. *Chenopodiaceae*, *Asteraceae*, *Poaceae*) таксонов. В пробах были выявлены золотистые (*Chrysococcus rufescens* Klebs, стоматоцисты) и диатомовые (*Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun., *Encyonema ventricosum* (Ag.) Grun. и *Achnanthes minutissimum* (Kütz.) Czarnecki, *Cyclotella* sp. и *Navicula* sp.) водоросли.

Для определения территорий поступления пыльцевых зерен и водорослей с зимними атмосферными осадками был реализован следующий алгоритм. Во-первых, проанализированы карты (NCEP/NCAR) распространения снежного покрова, который лимитирует количество потенциальных территорий поступления биологических объектов. Во-вторых, проведен анализ синоптических ситуаций (NCEP/NCAR, ERA5 и карты барической топографии Р 00, АТ-500) на даты выпадения атмосферных осадков. Далее рассчитаны обратные траектории движения воздушных масс (модель HYSPLIT) продолжительностью 96 часов для высот, соответствующих высотам пограничного слоя атмосферы. Все это позволило определить потенциальные территории, откуда могли поступать пыльца и водоросли. На последнем этапе были проанализированы карты произрастания идентифицированных таксонов и экологические характеристики видов водорослей по маршруту обратной траектории движения воздушных масс, что позволило более точно определить регионы-источники поступления пыльцевых зерен и водорослей.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ХАЦ ИВЭП СО РАН за помощь в отборе проб и частичную пробоподготовку. Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН АААА-А17- 117041210242-1 (№0383-2019-0002).

Система измерений и расчета баланса массы ледника Гарабаши
Кутузов С.С., Смирнов А.М., Носенко Г.А., Лаврентьев И.И., Рототаева О.В., Никитин С.А., Елагина Н.Э.
Институт географии РАН

Исследования изменения ледников Эльбруса на основе сравнения материалов инструментальных съёмок показали, что в последние десятилетия наблюдается резкое сокращение площади и объема ледников. Для ледников Эльбруса характерна чрезвычайно высокая изменчивость составляющих баланса массы. После нескольких лет детальных измерений составляющих баланса массы ледника Гарабаши в 1983-1991 гг. было выявлено, что стабильная внутренняя структура полей составляющих баланса массы позволяет производить расчет баланса массы всего ледника по данным для ограниченного числа точек. С тех пор измерения на леднике Гарабаши проводились лишь по правому профилю. В связи с резкой деградацией ледника возникает вопрос о применимости полученных в 1980е годы зависимостей для расчета поверхностного баланса массы ледника Гарабаши.

В 2018-2019 гг. проведены детальные измерения аккумуляции и абляции на леднике Гарабаши по всей площади, получены данные АМС, установленной на леднике. Использование разновременных ЦМР позволило рассчитать баланс массы геодезическим методом за 1997-2017 гг. Расчет баланса массы ледника Гарабаши в 2017/2018 и 2018/2019 гг. был выполнен двумя способами. 1 – расчет по высотному профилю на основе зависимостей, полученных во время проведения подробных измерений в 1986-1991 гг. Помимо этого, был выполнен независимый расчет составляющих баланса массы исключительно по данным детальных измерений (снегомерная съемка и наблюдения на абляционных рейках). Дополнительно были использованы данные о положении снеговой линии по космическим снимкам.

При сравнении значений аккумуляции, полученных расчетным методом (традиционный для Гарабаши) и по данным измерений 2019 г. оказалось, что значение общей аккумуляции фактически идентично (1057 мм в.э. и 1059 мм. в. э.). Однако, это сходство достигается за счет существенных различий с обратным знаком. Значения абляции рассчитанные двумя методами дают близкие значения -1893 мм в.э. (метод интерполяции), -1887 (метод профилей). В результате суммирования аккумуляции и абляции получено значение общего баланса массы ледника Гарабаши в 2018 и 2019 г. составившее -888 и -834 мм. в.э., соответственно. Данные были переданы в Мировую службу мониторинга ледников. Начиная с 2020 г. ледник Гарабаши включен в список опорных ледников мира. Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 18-05-00838.

Потенциал развития ледниковых озёр на Центральном Кавказе

И.И. Лаврентьев¹, Д.А. Петраков², С.С. Кутузов¹, Н.В. Коваленко² и А.М. Смирнов¹

¹ – ИГРАН, ² – МГУ, Географический ф-т

Сокращение ледников способствует появлению озёр на территориях, освобождающихся ото льда. В Приэльбрусье прорывы озёр, сформировавшихся в последние десятилетия, привели к человеческим жертвам и значительному ущербу. Действующие нормативные документы Российской Федерации по инженерным изысканиям не регламентируют возможность появления озёр на месте отступающих ледников, что может привести к ошибкам при проектировании. На основе данных наземного и воздушного радиолокационного зондирования, а также глобальных моделей толщины льда, мы выявили участки возможного формирования озёр (замкнутые понижения на ложе) на ложе ряда ледников Приэльбрусья.

На основе ретроспективного моделирования ложа ледников Большой Азау и Джикиуганкез по топографической карте 1957 г. проведена проверка метода. На месте исчезнувших к 2017 г. частей ледников из 13 смоделированных замкнутых углублений ложа 7 были предсказаны по гидравлическому потенциалу и им соответствуют 7 существующих в настоящее время озёр. 6 замкнутых углублений на ложе ледника Джикиуганкез по состоянию на 1957 г. в настоящее время отсутствуют, что может быть связано как с погрешностями самой модели и исходной ЦМР, так и с заполнением озера наносами. Ретроспективное моделирование ложа ледника Башкара по ЦМР 2000 г. отобразило потенциал роста оз. Лапа и отсутствие потенциала роста оз. Мизинчик, впоследствии заполненного наносами. Ретроспективное моделирование ложа ледника Каяарты по ЦМР 2000 г. не дало однозначного ответа о возможности прорыва подледникового озера, как импульса к формированию катастрофического озера летом 2000 г.

Установлено, что при полном исчезновении ледников Большой Азау, Джикиуганкез и Башкара может образоваться не менее 11 новых озёр общей площадью около 1,7 км² и средней глубиной 8 м. При этом самые глубокие озёра окажутся в современной области абляции ледника Большой Азау в интервале высот 3100-3400 м н.у.м. Самое крупное по площади (1 км²) прогляциальное озеро образуется на месте языка ледника Джикиуганкез, его максимальная глубина будет достигать 40 м при среднем значении 7,2 м. В современных условиях под ледниками также возможно существование депрессий, заполненных водой. Как показало моделирование, такие участки существуют на всех исследованных ледниках, но количество, а главное плановые размеры таких понижений отличаются. Наши оценки могут содержать неопределенность из-за низкого разрешения данных воздушной радиолокационной съёмки и отсутствия данных о толщине для ледника Каяарты, ошибок ЦМР и модели толщины льда. Детальная наземная радиолокационная съёмка, запланированная на лето 2020 года, позволит оценить размеры и объём потенциальных озёр под ледником Большой Азау.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-05-00520.

Об условиях криогенеза Тобол-Ишимского междуречья в позднеледниковье

С.И.Ларин¹, В.А.Алексеева², С.А.Лаухин³, Н.С.Ларина⁴

¹ *Институт криосферы Земли ТЮМНЦ СО РАН;*

² *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;;*

³ *Российский государственный геологоразведочный университет им.Серго*

Орджоникидзе;

⁴ *Тюменский государственный университет*

В пределах Тобол-Ишимского междуречья (57-54⁰с.ш.) основание покровных отложений часто разбито небольшими трещинами и жилами, полностью заполненными материалом вышележащих осадков. Обнаружены одиночные, реже парные и полигональные образования. Наиболее молодая фаза криогенеза в пределах рассматриваемой территории, проявилась во время похолодания позднего дриаса (11.0-10.3 тыс.л.н.). Расположение характеризуемых жильных структур в самой приповерхностной части разрезов свидетельствует об их относительно молодом возрасте и указывает на возможное формирование во время позднедриасового похолодания, а последующая деградация связана с потеплением в начале голоцена. Обнаруженные авторами в ряде разрезов следы полигональных мерзлотных сетей, показали наличие в пределах рассматриваемой территории сплошной мерзлоты в сартанском криохроне[1].

Изучение заполнения жил в основании покровных отложений методами гранулометрии, геохимии, морфоскопии кварцевых зерен, коэффициентов криогенной контрастности (по В.Н. Конищеву и В.В.Рогову), выявило их криогенный изначально-грунтовый генезис в слое сезонного протаивания/промерзания, возможно, совместно с трещинами усыхания при активной роли эоловых и флювиальных процессов в условиях ландшафтов северной тайги, со значениями средних годовых температур поверхности пород от 0⁰...-2⁰С, островной криолитозоной и глубоким сезонным промерзанием.

Значения геохимических коэффициентов и индексов-климатических модулей показывают слабую и умеренную степень гипергенного преобразования заполняющих жилы осадков, их формирование на однородной материнской породе, в диапазоне ландшафтно-климатических условий северной, средней и даже южной тайги. В основании некоторых жил фиксируется кратковременный этап суровых мерзлотно-климатических условий, индицирующий вероятно более суровые условия сартанского криохрона[2,3].

Работа выполнена за счет гранта РФФИ № 20-05-00734А.

Литература

- 1.Ларин С.И., Ларина Н.С., Лаухин С.А., Шилова Н.Г., Алексеева В.А. Особенности морфологии и генезис реликтовых полигональных образований конца плейстоцена на юго-западе Западно-Сибирской равнины // Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы: Труды международной конференции. Тюмень: Изд-во Эпоха, 2015.- С.199-201.
- 2.Ларин С.И., Алексеева В.А., Лаухин С.А., Ларина Н.С., Максимов Ф.Е., Алексеев А.О., Алексеева Т.В. О генезисе реликтовых грунтовых жил в отложениях позднего неоплейстоцена на юго-западе Западно-Сибирской равнины // Материалы Пятой конф. геокриологов России (Москва, 14–17 июня 2016 г.). М., Унив. книга, 2016, т. 2, с. 188-195.
3. Ларин С.И., Алексеева В.А., Алексеев О.А., Алексеева Т.В., Лаухин С.А., Ларина Н.С., Максимов Ф.Е. Криогенные структуры и трещины усыхания на юго-западе Западно-Сибирской равнины // Сб.докл. расширенного заседания Научного совета по криологии Земли РАН «Актуальные проблемы геокриологии» с участием российских и зарубежных ученых, инженеров и специалистов (Москва, 15–16 мая 2018 г.). М., «КДУ», Унив. книга, 2018, т. 1, с. 276-281.

Морфометрия подземных льдов в обнажениях центрального Ямала

*Лейбман М.О.^{1,2}, Хайруллин Р.Р.¹, Хомутов А.В.¹, Белова Н.Г.^{1,3}, Тихонравова Я.В.^{1,4},
Бабкина Е.А.¹, Кизяков А.И.³*

¹*Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН*

²*Тюменский государственный университет*

³*Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова*

⁴*Институт мерзлотоведения СО РАН*

Подземные льды центрального Ямала изучены в обнажениях морских побережий, а более ограниченно - в речных и озерных обнажениях и в скважинах. Морфометрия пластовых льдов может быть установлена, если пробурено значительное количество скважин достаточной глубины. Исследование полигонально-жильных льдов (ПЖЛ) по скважинам чрезвычайно затруднено. Достаточно протяженных обнажений пластовых и полигонально-жильных льдов на центральном Ямале не обнаруживалось, поэтому некоторые характерные только для этого региона уровни рельефа не были охарактеризованы с криолитологической точки зрения.

После экстремально теплого лета 2012 г. на центральном Ямале активизировались процессы термоденудации на ранее стабильных склонах, сформировав протяженные (десятки и сотни метров) обнажения подземных льдов. Ежегодное отступление стенок термоцирков позволяет установить исходную форму ледяных тел через их последовательные субвертикальные срезы. Для ПЖЛ, весьма ограниченно изученных на центральном Ямале, возникла возможность оценки размеров полигональной сети вследствие усиления термокарстово-термоэрозионных процессов.

Документирование разрезов, наземная съемка и БПЛА-съемка позволили получить данные о глубине залегания, структуре и текстуре, характере вмещающих пород. Наблюдения на разных геоморфологических уровнях и ландшафтах показали некоторые закономерности размещения пластовых льдов. Они вскрываются на глубине от 0,7 м (сразу под сезонноталым слоем) до 7 м. Пластовые льды вскрыты на склонах. Бровки термоцирков расположены на абс. высотах до 26 м, аближайшие вершины - на высотах, как правило, от 26 до 33 м, что для исследуемого района соответствует III аллювиально-морской равнине, а в одном случае 44 м, что соответствует IV прибрежно-морской равнине.

Мониторинг в течение ряда лет показал, что глубина верхней границы пластового льда увеличивается во времени. Это связано с тем, что вскрытие пласта происходит в точке его наибольшей близости к поверхности вогнутого склона. По мере отступления бровки термоцирка вскрывается всё более глубоко залегающая поверхность пласта. С этим, скорее всего, и связано достаточно быстрое затухание термоденудации.

В единичном случае термоцирк, обнаживший как ПЖЛ, так и пластовые льды, сформировался в результате вскрытия льда термоэрозией по полигональному рельефу в мощном торфянике с ледяными жилами, проникавшими нижними концами в пластовый лёд. В прочих случаях ПЖЛ залегают в песчано-супесчаных отложениях, характеризуются относительно широкой верхней частью и узкими «хвостами», проникающими на глубину более 7 м. Участки с ПЖЛ концентрируют сток и способствуют преобладанию процессов термоэрозии над термоденудацией.

Таким образом, активизация криогенных процессов на центральном Ямале привела к образованию значительных по протяженности обнажений подземного льда, позволила выявить небольшие глубины его залегания на склонах и, видимо, более глубокое залегание на вершинах, что и привело как к быстрым изменениям в рельефе с формированием термоцирков, так и к быстрому затуханию термоденудации и зарастанию обнажений в течение нескольких лет. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60222, и логистической поддержке РЦОА.

Гляциация и дегляциация шельфа Южных Оркнейских островов в позднем плейстоцене-голоцене

*Лейченко Г.Л., Баженова Е.А., Гусева Ю.Б., Кубова В.В., Сергеева В.М.
ФГБУ «ВНИИОкеангеология», СПбГУ, АО «ПМГРЭ», Санкт Петербург;
NIWA, New Zealand*

Шельф Южных Оркнейских островов (ЮОО) имеет площадь 40 000 кв. км и характеризуется глубинами от 100 до 500 м. Его морфология в основном формировалась под влиянием последнего оледенения, развивавшегося 30 000 – 20 000 лет назад и последующей деградации ледника. К югу от ЮОО шельф имеет ширину 100-150 км и пересекается экзарационными долинами Сигню и Оруэлл. Образование долин связано с существованием выводных ледников, которые дренировали менее подвижный ледовый купол, перекрывавший внутреннюю часть шельфа в периоды ледниковых максимумов. В 2018 г. (63 РАЭ) на шельфе ЮОО выполнена детальная съемка с многолучевым эхолотом (в центральной части долины Сигню) и проведены сейсмические исследования. Анализ сейсмических и батиметрических данных позволил выявить важные элементы рельефа морского дна, связанные с ледниковой деятельностью – наступлением ледового покрова на шельф с налеганием на дно в позднем плейстоцене и отступлением в конце плейстоцена - раннего голоцена. Максимальное распространение льда маркируется непрерывной моренной грядой (конечной мореной), расположенной вдоль среднего шельфа ЮОО между изобатами 300 и 400 м и образовавшейся в зоне налегания ледника на морское дно 30-20 тыс. лет назад. В результате интерпретации сейсмических данных впервые удалось выявить самую удаленную от ЮОО моренную гряду высотой 30-40 м. Эта дистальная гряда расположена в южной части шельфа, ближе к его бровке, имеет протяженность около 100 км и могла образоваться в эпоху предпоследнего ледникового максимума. На внутреннем шельфе, в бортах экзарационных долин, обнаружен комплекс морен отступления ледника. Наиболее крупная морена шириной 7-8 км выявлена в восточном борту долины Сигню на глубинах около 270 м. Она имеет СВ-ЮЗ простирание и достигает высоты 40 м. Вторая морена (до 30 м высотой) развита в западном борту и характеризуется СЗ-ЮВ простиранием. Обе морены образовались на линии налегания ледника в период временной стабилизации его положения в условиях общего разрушения ледникового покрова. Обнаружена также серия узких (около 1 км) параллельных хребтов высотой 10-20 м, которые прослеживаются и коррелируются по простиранию (СВ-ЮЗ) на обоих бортах долины. Эти хребты представляют собой моренные отложения, формировавшиеся при относительно быстрой деградации ледника в конце позднего плейстоцена-начале голоцена. Интерпретация сейсмических и эхолотных данных о развитии моренных гряд, а также информация о возрасте донных отложений и общих сведений об изменении климата в Антарктике, позволяет сделать предварительные выводы о характере и динамике оледенения шельфа ЮОО: 1) максимальное распространение ледникового покрова с его налеганием на дно произошло в период предпоследнего плейстоценового оледенения; площадь оледенения достигала 21 000 кв. км; еще более 10 000 кв. км, вероятно, занимали шельфовые ледники; 2) в последний ледниковый максимум (30 000 – 20 000 лет назад) площадь распространения льда составляла около 19 000 кв. км; 3) в конце плейстоцена - начале голоцена (14 000 – 9 000 лет назад) началось отступление ледника в сторону внутреннего шельфа; в какое то время этого периода произошла стабилизация фронта ледника с образованием крупных моренных гряд на линии налегания в бортах долин Сигню и Оруэлл; площадь оледенения составила около 5 000 кв. км. Работа выполнена по проекту РФФИ № 19-05-00858.

Лед возрастом 1,2 млн. лет обнаружен в районе станции Восток

*В.Я. Липенков (1), А.Н. Саламатин (2), А.А. Екайкин (1), В. Джиянг (3), Ф. Риттербуш (3),
М.Л. Бендер (4), А. Орси (5), А. Ландэ (5), , Д. Рэйно (6)*

1 – Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия;

2 – Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия;

3 – Университет науки и технологии Китая, Хэфэй, Китай;

4 – Принстонский университет, Принстон, США;

5 – Лаборатория наук о климате и окружающей среде, Сакле, Франция;

6 – Институт наук об окружающей среде, Гренобль, Франция

Одной из наиболее приоритетных задач международного антарктического сообщества является получение и исследование керна древнего льда возрастом более 1 млн. лет с целью изучения причин перестройки климатической системы планеты, произошедшей в середине плейстоцена. В поисках такого льда мы повторно исследовали нижнюю часть колонки ледяного керна, поднятой на станции Восток, и попытались продатировать наиболее древний атмосферный лед с нарушенной стратиграфией, слагающий керн в интервале глубин 3318-3538 м. Для этого мы использовали три различных метода датирования: 1) новый метод, основанный на феномене роста кристаллических включений клатратных гидратов воздуха в полярных ледниках; 2) определение возраста с помощью космогенного радиоактивного изотопа ^{81}Kr ; 3) метод датирования, основанный на измерении изотопного отношения $^{40}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$ в экстрагированном из льда воздухе. Исследования показали, что возраст атмосферного льда, залегающего в интервале глубин 3500-3538 м, достигает 1,2 млн. лет. Эта находка стала первым прямым свидетельством сохранности древнего льда в центральной части Восточно-антарктического ледникового щита, подтвердившим обоснованность усилий международного научного сообщества по получению в этом районе Антарктиды ледяных кернов, возраст которых превышает возраст среднелейстоценового перехода. Обнаружение льда возрастом более 1 млн. лет под станцией Восток означает, что вверх по течению льда от станции, в районе Ледораздела В, откуда берет начало линия тока льда, проходящая через «восточную» скважину, может залегать еще более древний антарктический лед с ненарушенной стратиграфией. Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ, грант 18-17-00110.

Трехмерные и двумерные геоэлектрические модели гляциально-мерзлотных каменных образований Центрального Алтая

Лобачев Д.С.¹, Дьякова Г.С.¹, Останин О.В.¹, Горяевцева А.А.²

¹Алтайский государственный университет

²Новосибирский государственный университет

Гляциально-мерзлотные каменные образования (ГМКО) являются уникальными объектами криолитозоны, интерес к изучению которых в последнее время отчасти связан с глобальными климатическими изменениями и потенциалом данных объектов в качестве запаса пресной воды. Геофизические методы хорошо зарекомендовали себя при изучении объектов с многолетнемерзлыми породами: высокие значения УЭС среды позволяют получать качественные геоэлектрические разрезы. На территории Центрального Алтая проведено изучение гляциально-мерзлотных каменных образований с целью выявления особенностей их внутреннего строения по геофизическим данным и геоморфологическим характеристикам по данным геодезической съемки и аэрофотосъемки.

На объектах в долинах рек Джело, Елангаш и Аккол были проведены геофизические измерения методом электротомографии с использованием многоэлектродной электроразведочной станции «Скала-48» и георадиолокационного зондирования с помощью моностатичного глубинного георадара «Phyton-3».

Применение геофизических методов позволило локализовать каменно-ледяные ядра в ГМКО, и рассмотреть их взаимосвязь с морфологическим строением поверхности. В результате анализа геоэлектрических разрезов было зафиксировано, что каменно-ледяные ядра характеризуются высокими значениями УЭС (10 – 100 кОм·м). На геоэлектрических разрезах выделена мощность каменно-ледяного материала, глубина его залегания, локализованы ниши протаивания и зоны разгрузки талых вод. По данным метода георадиолокационного зондирования было уточнено положение кровли каменно-ледового материала. На одном из исследуемых участков (ГМКО в долине реки Джело) были проведены площадные измерения по пяти профилям. В ходе дальнейшей обработки данных в программе Res3Dinv была построена объемная геоэлектрическая модель, которая отражает распределение каменно-ледяного материала в теле ГМКО. При анализе трехмерной модели ГМКО хорошо заметно, что характер распределения УЭС отражает неоднородное распределение льдистости внутри каменно-ледяного ядра ГМКО. В результате площадных исследований методом электротомографии и интерпретации трехмерной геоэлектрической модели была проведена оценка потенциального объема каменно-ледяного ядра.

Таким образом, в результате геофизических и геоморфологических исследований установлены особенности внутреннего строения ГМКО на объектах в долине реки Джело, Елангаш и Аккол. Для каждого ГМКО определены мощности, УЭС и глубина залегания каменно-ледяных ядер, а также рассмотрена зависимость морфологического строения поверхности ГМКО от их внутреннего строения. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-35-00463\19)

Периферическая зона скандинавского ледникового покрова 20–18 тыс. лет назад

М.А. Фаустова¹, А.Н.Маккавеев¹, Н.В.Карпухина¹

¹Институт Географии РАН

Анализ материалов различных исследователей послужил основой для обоснования положения максимальной границы распространения Скандинавского ледникового покрова (СЛП) в конце последней ледниковой эпохи. Имеющиеся к настоящему времени данные о возрасте максимальной границы СЛП показывают, что он достигал своей максимальной границы в своих разных частях в различное время. Разногласия в проведении границ оледенения объясняются асинхронностью развития самого ледникового покрова как сложной палеогляциологической системы. Она определялась региональными климатическими условиями и термическим состоянием подошвы ледника. Большое значение имело положение края покрова – на суше или на море и увеличение континентальности климата в восточном направлении. Прослеживается тенденция «омоложения» максимальной границы от западной периферии к восточной, что подтверждается имеющимися к настоящему времени многочисленными хронологическими данными о возрасте максимальной границы на его разных склонах СЛП. Экспансия льдов на юго-восточных окраинах ледникового покрова происходила на фоне его деградации на западном фланге.

СЛП на своих западных склонах достиг своих максимальных границ уже 29 тыс.кал.л.н. – до максимума похолодания (25–23 кал.тыс.л.н.). Но на территорию на юго-восточном фланге СЛП в раннем и среднем валдае не покрывавшуюся льдами, скандинавские льды продвинулись позднее и покрывали бассейн Сев. Двины – около 17 тыс. л.н.

Подобного быстрого продвижения ледника, преодолевшего за 8 – 10 тыс. лет расстояние не менее 700 км – от северной Финляндии и Карелии - не отмечено в других секторах ледникового покрова. Высказывается предположение, что причиной роста ледника на его восточной периферии послужило отступление льдов в западных (приатлантических) секторах покрова и связанное с этим снижение его поверхности, позволившее влажным морским ветрам приносить твёрдые осадки на восточные, подветренные склоны. Быстрому продвижению льда способствовало и то, что лёд продвигался во время начавшегося потепления, а в тёплое время года интенсивно таял, что облегчало его скольжение. Древние европейские ледниковые покровы не были прямыми аналогами современных Антарктического и Гренландского покровов, которые находятся в более однородных климатических условиях.

**Процессы энергообмена и динамика промерзания деятельного слоя грунта на о.
Большевик**

А.П. Макинас¹, Махотина И.А.¹, П.В. Богородский¹, Т. Лаурила²

¹Арктический и антарктический научно – исследовательский институт,

²Финский Метеорологический Институт

Происходящие в последние десятилетия глобальные изменения климата резко усилили внимание к оценке их геокриологических последствий. В этой связи исключительный интерес представляют данные о динамике термической структуры и мощности сезонно талого слоя (СТС) вечной мерзлоты, определяющие интенсивность геоморфологических процессов и физико-механические свойства грунтов. В 2013 г. на НИС «Ледовая база Мыс Баранова» были развернуты экспериментальные исследования процессов энергообмена подстилающей поверхности с атмосферой, включая измерения термической структуры деятельного слоя грунта. В докладе представлены результаты расчета основных характеристик теплового баланса подстилающей поверхности и измерений термического режима верхнего метрового слоя грунта в годы экстремального сокращения морского ледяного покрова в регионе Баренцева и Карского морей. Экспериментальные данные дополнены оценками многолетней динамики СТС, рассчитанными с помощью варианта известной модели Кудрявцева по данным атмосферного реанализа NCEP/NCAR, показавшими уверенный рост глубины протаивания с 80-х гг. прошлого столетия, хорошо согласующийся с гипотезой глобального потепления.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Проект RFMEFI61617X0076).

Изотопный состав зимних атмосферных осадков в предгорьях Алтая: наблюдения и моделирование

Н.С. Малыгина¹, А.Н. Эйрих¹, Денисова Н.Ю.^{2,3}, Грибанов К.Г.², Вернер М.⁴

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН

²ФГАОУ ВПО «Уральский Федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

³Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН

⁴Институт полярных и морских исследований имени Альфреда Вегенера

Для верификации моделей общей циркуляции атмосферы ECHAM5-wiso и ECHAM6-wiso, дополненных изотопными модулями выполнено моделирование в режиме релаксации к известным значениям температуры, давления, скорости и направления ветра, полученным из ретроспективного анализа и получены данные для предгорий Алтая (52.5 с.ш., 85.3 в.д.). Сравнение результатов моделирования с данными по изотопному составу атмосферных осадков, выпадавших в холодные периоды года (2014-2015 и 2015-2016 гг.), показало высокую согласованность (коэффициенты корреляции больше 0,65). Выявленные несоответствия изотопного состава осадков объясняются как их конвективным происхождением, так и локальными синоптическими процессами (по данным ERA5), которые вероятно были недоучтены при моделировании.

Первые результаты идентификации микропластика в снежном покрове предгорий

Алтая

*Н.С. Малыгина¹, Р.Ю. Бирюков¹, А.В. Дьяченко¹, Д.В. Золотов¹, Н.А. Курятникова¹,
Е.Ю. Митрофанова¹, Д.П. Першин¹, Д.В. Черных¹*

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН

В последнее время микропластик (частицы пластика с размером менее 5 мм и/или микроволокна) был обнаружен как в густонаселенных, так и отдаленных регионах Земли. Однако изучение его распространения в горных и сопредельных с ними территориях, преимущественно антропогенно не нагруженных, до настоящего времени практически не проводилось. В работе представлены первые результаты по идентификации микропластика в снежном покрове предгорий Алтая, полученные с использованием как световой, так и сканирующей электронной микроскопии (SEM S-3400N HitachiScienceSystemsLtd, Япония (степень увеличения до 300 000, разрешающая способность до 3,0 нм)). Применение SEM позволило получить максимально четкие изображения частиц и волокон в пробах снежного покрова по сравнению со световой микроскопией, также определить их размеры и предварительно их отнести к микропластику. Далее, методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (система рентгеновского энергодисперсионного микроанализа QUANTAX EDS, SDD детектор XFlash 4010, Bruker AXS MicroanalysisGmbH, Германия)) был выявлен элементный состав этих же образцов, который позволил подтвердить, что идентифицированные частицы и волокна являются микропластиком. Таким образом, проведенные в соответствии с международными протоколами и стандартами отбор и микроскопирование проб снежного покрова, полученных в предгорьях Алтая, показали присутствие частиц и волокон микропластика в анализируемых образцах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50055.

Оледенение Камчатки в голоцене

Маневич Т.М.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

Представлены результаты палеогляциологических исследований на склонах горных хребтов и вулканов Камчатки. Первые целенаправленные исследования 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.

Географически район исследований охватывает оледенение 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 хребты, входящие в систему Восточного вулканического хребта освободились ото льда практически полностью.

Первичные результаты анализа сейсмических событий, сопровождающих нивально-гляциальные процессы на активных вулканах Камчатки.

Соболевская О.В., Маневич Т.М.,

*Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, sva06@emsd.ru
Институт Вулканологии и Сейсмологии ДВО РАН, lav217@kscnet.ru*

Камчатский регион наравне с высоким уровнем сейсмичности, характеризуется большим количеством осадков. Накопление их на склонах активных вулканов приводит к формированию нивально-гляциальных явлений, которые в совокупности с сейсмическими событиями представляют особый научный и практический интерес. Взаимодействие гляциальных и сейсмических процессов является предметом этого исследования.

Камчатский филиал Геофизической службы (КФ ФИЦ ЕГС РАН) с 2000 года проводит мониторинг сейсмической и вулканической активности на полуострове в режиме реального времени. Сейсмологический мониторинг является ведущим методом, так как позволяет проводить непрерывный контроль окружающей среды независимо от погодных условий. В настоящее время созданная в КФ ФИЦ ЕГС РАН сеть станций позволяет наблюдать с разной степенью детальности за сейсмической активностью на 13-ти активных вулканах полуострова, которые несут на себе современное оледенение.

В работе представлены первичные результаты исследований такого взаимодействия на склонах вулканов Ушковский, Авачинский и Корякский. Для Авачинской группы вулканов представлена общая характеристика сейсмических событий, вероятно, гляциального генезиса. В частности, для вулкана Корякский проанализировано поверхностное землетрясение, сопровождавшие сход снежной лавины в апреле 2017 г. На Ушковском вулкане подобные события, по-видимому, отражают активность в леднике Бильченок в зоне его ледопада. Для всех локализованных поверхностных сейсмических событий представлены карты эпицентров, проекции гипоцентров, их глубина и энергетический класс.

В отсутствии непосредственного наблюдения за ледниками, сейсмические данные могут быть использованы для определения времени, продолжительности и уровня активности гляциальных процессов на вулканах. С другой стороны выделение сейсмичности гляциального генезиса повысит качество интерпретации вулкано-тектонических землетрясений в их постройках. Приведённые результаты являются первичными и планируется продолжать наблюдения за подобными процессами. В настоящее время продолжается работа по составлению фактографической базы данных аналогичных сейсмических событий.

**Особенности гидротермической структуры политермических ледников
Шпицбергена и Тянь-Шаня по данным наземного радиозондирования**
Василенко Е.В., Мачерет Ю.Я., Глазовский А.Ф., Лаврентьев И.И., Мацковский В.В.
Институт географии РАН

Содержание воды в ледниковом льду существенно влияет на его вязкость и скорость деформации в толще и у ложа ледников и в целом на скорость их движения. Особенно важно знать характеристики тёплых и политермических ледников, почти полностью или частично состоящих из тёплого льда, находящегося при температуре таяния при соответствующем давлении. Содержание воды во льду сильно зависит от его температуры, поэтому знание распределения масс холодного и тёплого льда и воды в ледниках и ледниковых покровах важно для моделирования из динамики и реакции на изменения климата. Здесь мы рассматриваем особенности гидротермической структуры ледников на Шпицбергене (Восточный Гренфьорд) и на Тянь-Шане (Центральный Туюксу) по данным наземного радиозондирования, с применением моноимпульсного лоатора с центральной частотой 20 МГц. Результаты измерений времени запаздывания и амплитуды отраженных сигналов от поверхности раздела холодного и теплого льда (CTS), от ложа и из толщи теплого льда были использованы для определения толщины и объема холодного и теплого льда, относительной мощности отражений и оценки относительного содержания воды в теплом льду. Установлено, что средняя толщина холодного и теплого льда в этих ледниках изменяется соответственно от 11 до 107 м и от 6 до 96 м, а объем холодного и теплого льда – от 0,0006 до 1,352 км³ и от 0,003 до 3,733 км³. Относительное содержание воды у поверхности CTS ниже, чем у границы теплый лед-ложе, и может быть меньше, чем вблизи трещин и ледниковых колодцев, достигающих CTS и ложа. При среднем содержании воды 2 % в теплом льду, оцененном по скорости распространения в нём радиоволн, может быть достаточно для образования зимой наледи у конца ледника Восточный Гренфьорд. Работы выполнены при поддержке РФ госконтракта 0148-2019-0004 (AAAA-A19-119022190172-5) и гранта РФФИ №18-05-60067.

Опасные ледяные образования в морях Российской Арктики – их пространственное распределение и морфометрия

*Миронов Е.У., Гузенко Р.Б., Дымент Л.Н., Май Р.И., Павлова Е.А.
ФГБУ «ААНИИ», Санкт-Петербург*

В настоящее время отсутствуют статистически достоверные актуализированные данные об угрозе появления возникновения опасных ледовых явлений и опасных ледяных образований (айсберги, стамухи, гряды торосов, поля многолетнего льда) в конкретных районах Арктики в конкретный сезон года. Этот факт связан с изменением динамики ледников и интенсивности процессов формирования опасных ледовых явлений в современных климатических условиях. Одновременно, в связи с расширением хозяйственной деятельности в Арктике, особенно при освоении шельфа и интенсификации судоходства на Северном морском пути, возросла востребованность информации об опасных ледовых явлениях и опасных ледяных образованиях.

Основным источником информации о распространении опасных ледяных образований являются данные спутникового дистанционного зондирования. С помощью этих данных можно с достаточной точностью определять координаты и линейные размеры айсбергов и стамух, а также выделять зоны многолетнего и деформированного льда. Морфометрические характеристики ледяных образований в настоящее время определяются с помощью контактных измерений на льду, с судна или дистанционно с вертолета или БПЛА. Сформированы базы данных о положении айсбергов на основе спутниковых изображений и по судовым наблюдениям за 2010-2019 гг. Создан электронный архив положения границы многолетних льдов в Северном Ледовитом океане в летний и зимний период за период 2000-2019 гг.

Анализ распространения айсбергов и их морфометрии показал, что наибольшее количество было зафиксировано в Карском море в сентябре. Это подтверждает известную закономерность, что большинство айсбергов сосредоточено в западном секторе Арктики, где находятся выводные ледники на архипелагах ЗФИ, Новая Земля и Северная Земля. Определены эмпирические функции распределения вероятностей линейных размеров айсбергов. Выделены три группы айсбергов, которые имеют одномодальную функцию плотности распределения вероятностей с положительной асимметрией. Значения моды плотности распределения вероятностей длины айсбергов находятся в диапазоне 50-80 м для не-столообразных айсбергов, и в диапазоне 120-140 м для столообразных айсбергов. Подбор теоретических распределений показал, что эмпирическая функция плотности распределения вероятностей длин айсбергов наилучшим образом описывается распределением Вейбулла.

Установлено, что граница многолетних льдов в Северном Ледовитом океане в период 2000-2008 гг. существенно (на 200-500 км) сместилась к северу, по сравнению со своим положением в 70-80-х годах XX столетия. Особенно существенное смещение границы многолетних льдов произошло в морях восточной Арктики. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60109.

Реконструкция аккумуляции и количества атмосферных осадков на Западном плато Эльбруса была выполнена за период 1774-2015 гг. с сезонным разрешением
*Михаленко В. Н.¹, Торопов П. А.^{1,2}, Сократов С. А.², Проинкерт С.³, Легран М.³,
Лаврентьев И. И.¹, Кутузов С. С.¹, Козачек А.В.⁴*

1 – Институт географии РАН

2 – Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

3 - Institut des Géosciences de l'Environnement (Grenoble, France)

4 – Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт

Реконструкция аккумуляции и количества атмосферных осадков на Западном плато Эльбруса была выполнена за период 1774-2015 гг. с сезонным разрешением по данным исследования керна льда. Для расчленения толщи на годовые горизонты нами были использованы сезонные вариации ионов аммония и янтарной кислоты. Концентрация NH_4^+ максимальна в летних горизонтах вследствие наибольшего выброса NH_3 в атмосферу и его переноса восходящими потоками воздуха летом. Большая аккумуляция снега на Западном плато (1400 мм в.э.) и детальность пробо отбора позволили разделить фирново-ледовую толщу на летние и зимние слои, начиная с 1774 г. Для устранения эффекта утоньшения годовых слоев была введена поправка на растекание при помощи разработанной ранее и апробированной модели течения льда. Количество атмосферных осадков равно величине слоя аккумуляции с учетом баланса возгонки, испарения и метелевого перераспределения снега. Прямыми наблюдениями на плато в 2018 г. с использованием данных реанализа было установлено, что потери массы ледника на данной высоте (5150 м) вследствие испарения жидкой воды, образующейся при дневном таянии в последние годы) не превышают 45 мм в.э./год или 3% годовой аккумуляции. Величина сублимации составляет около 100 мм в.э./год (7% аккумуляции). Оценка метелевого перераспределения снега проводилась в течение трех полевых сезонов на плато. Наблюдения в летнее время по речной сети показали, что в районе точки бурения наблюдается нулевой баланс сдувания-накопления снега. Радиозондирование снежной толщи по всей поверхности плато локатором с рабочей частотой 300 MHz позволило выделить до 3 годовых горизонтов и построить карты аккумуляции для трех отдельных лет. Выполнено сравнение полученной реконструкции с данными высокогорных метеостанций на Северном Кавказе. Для разделения данных метеостанций на летний и зимний сезоны нами использован показатель потенциальной конвективной неустойчивости атмосферы (CAPE), восстановленный из данных реанализа ERA-Enterim.. Было установлено, что при выделении теплого и холодного сезонов с учетом CAPE связь между осадками на Западном плато и ближайшими метеостанциями оказывается линейной и статистически значимой ($r = 0,71$ с метеостанцией Терскол и $r = 0,66$ с Клухорским перевалом), в то время как без учета конвективной потенциальной энергии она фактически отсутствует. Анализ изменчивости реконструированной аккумуляции показал, что период ее повышенных значений в 1774-1830 гг. предшествовал известному по датированию моренных отложений наступанию ледников на Кавказе в 1850-1870 гг. За периодом высокой годовой аккумуляции снега на плато в 1840-1900 гг. последовало наступание ледников в первой трети XX в.

Колебания баланса массы ледника Марух за последние 500 лет

Морозова П.А.^{1,2}

¹ Институт географии РАН, Москва

² Сочинский научно-исследовательский центр РАН

В данной работе был рассчитан баланс массы ледника Марух для различных климатических условий с использованием масс-балансовой модели, частичное описание модели можно найти в [1]. Для валидации масс-балансовой модели был выбран период наиболее детальных наблюдений в горноледниковом бассейне р.Марухи с 1967 по 1982 гг. В качестве исходной метеорологической информации были использованы данные метеостанции Клухорский перевал. Результаты расчетов масс-балансовой модели сравнивались с данными наблюдений. Также были оценены чувствительность компонентов баланса массы к изменению основных метеопараметров.

Для воспроизведения баланса массы ледника Марух в наиболее контрастные климатические периоды за последние 500 лет были использованы результаты климатического моделирования экспериментов проектов CMIP5[2] и CMIP6[3]: past1000 (климат 850-1850 гг) и historical (1851 – наст. вр). Рассматривались периоды 1960-1990 гг (базовый), 1990 – н.вр (наиболее теплый) и период до 1850 г, соответствующей максимальной отрицательной аномалии. Для каждого из этих периодов рассчитывался баланс массы ледника и оценивались покомпонентные изменения баланса энергии.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-05-00176-А

Список литературы:

1. Морозова П.А., Рыбак О.О. Регионализация данных глобального климатического моделирования для расчёта баланса массы горных ледников. Лёд и Снег. 2017;57(4):437-452.
2. Интернет-ресурс: <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip5/>
3. Интернет-ресурс: <http://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip6>.

Влияние Скандинавского ледникового щита на уровень Каспийского моря

Морозова П.А., Володин Е.М., Ушаков К.В., Семенов В.А.

¹ *Институт географии РАН, Москва*

В данной работе рассматривается влияние Скандинавского ледника на уровень Каспийского моря в эпоху последнего ледникового максимума (21 т.л.н.). Рассматриваются обе реконструкции Скандинавского щита, предложенные в проекте по моделированию палеоклиматов РМIP4 [1]: ICE-6G_C и GLAC-1D. Проводится сравнение границ щита, предложенных в данных реконструкциях с палеоданными для верховий Волги, оценивается возможный вклад талых ледниковых вод в сток Волги. Также по данным климатического моделирования проектов РМIP3 [2] и РМIP4 оценивается «климатический» сток Волги (разность между осадками и испарением) и возможные колебания Каспийского моря в эпоху последнего ледникового максимума.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-17-00215.

Список литературы:

1. Интернет-ресурс:
https://pmip4.lsce.ipsl.fr/doku.php/exp_design:index.
2. Интернет-ресурс: <https://pmip3.lsce.ipsl.fr/>

**Сокращение оледенения северной части Срединного хребта на Камчатке
за последние 65 лет**

Муравьев А.Я.

Институт географии РАН

muraviev@igras.ru

В настоящее время многими исследователями отмечается существенное ускорение сокращения ледников в 2000-х и 2010-х гг. по сравнению со второй половиной XX в., в связи с изменениями климата. Подобные тенденции наблюдаются на Кавказе, Алтае, в Альпах и других районах горного оледенения. В данной работе исследованы изменения оледенения северной части Срединного хребта на Камчатке в начале XXI в. и проведено их сравнение с изменениями, произошедшими во второй половине XX в.

Было рассчитано изменение площади ледников района исследований, зарегистрированных в Каталоге ледников СССР и идентифицированных на снимках Sentinel-2 2016–2017 гг. Анализ данных проводился за периоды 1950–2002 гг., с 2002 по 2016–2017 и с 1950 по 2016–2017 гг. Данные 2002 г. получены ранее в результате дешифрирования снимков ASTER. Результаты исследования показали продолжающееся сокращение площади ледников района и их распад на сегменты меньшего размера: в 1950 г. было 152 ледника общей площадью 351,5 км²; к 2002 г. количество ледников возросло до 187, а их площадь сократилась до 289,43±26,82 км²; к 2016–2017 гг. количество ледников возросло до 249, а их площадь сократилась до 226,29±13,19 км². То есть за 1950–2002 гг. площадь данной группы ледников сократилась на 62,16 км² (17,7%), а средняя скорость сокращения площади составила 0,34% в год. В период с 2002 по 2016–2017 гг. данные ледники сократились ещё на 63,05 км² (21,8%), а средняя скорость сокращения площади возросла до 1,45% в год. То есть скорость сокращения оледенения северной части Срединного хребта в начале XXI в. возросла более чем в 4 раза. Причиной таких изменений, очевидно, являются современные климатические изменения – прежде всего рост летних температур воздуха, определяющих абляцию на ледниках.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 17-05-41037 РГО_а.

Определение объёма прорывных ледниково-подпрудных озёр дистанционными методами исследований

Муравьев А.Я., Чернов Р.А.

Институт географии РАН

muraviev@igras.ru

При отсутствии возможности получить полевые данные о режиме прорывных озёр для их изучения можно использовать результаты анализа данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Данный метод исследований является перспективным для выявления и исследования подобных объектов на удаленных территориях. Посредством анализа цифровых моделей рельефа (ЦМР), получаемых в результате обработки данных ДЗЗ, можно определить уровень воды в озере на конкретную дату. При наличии ЦМР, отражающей состояние поверхности озёрной котловины после спуска ледниково-подпрудного озера, можно произвести расчёт объёма котловины и спущенной воды. Погрешность данного расчёта зависит от ряда факторов, основными из которых являются: размеры озера в плане, его глубина и сложность пространственной конфигурации береговой линии; пространственное разрешение ЦМР и их вертикальная точность; время, прошедшее с даты спуска озера до съёмки, по результатам которой была сделана ЦМР, отражающая состояние дна озёрной котловины (определяет количество воды, накопившееся в котловине после спуска озера); качество сорегистрации ЦМР.

Для исследования режима прорывных ледниково-подпрудных озёр в Арктике имеет смысл использовать ЦМР «ArcticDEM» v3.0 или новее, находящуюся в открытом доступе. Мозаика ArcticDEM v3.0 с пространственным разрешением 2 м является самым точным и детализированным (из открытых) материалом, содержащим информацию о рельефе и высотах стабильных поверхностей (поверхность суши за исключением ледников, снежников и крупных эрозионных врезов). Она сформирована из скорректированных с использованием данных съёмки IceSAT результатов обработки спутниковых снимков сверхвысокого разрешения WorldView-1, WorldView-2 и WorldView-3 (точность пространственной привязки без использования наземных контрольных точек находится 4, 3,5 и 3,5 м соответственно) и им подобных. Помимо мозаики для загрузки и использования доступны отдельные фрагменты данной ЦМР – «strip», набор которых и даты отражаемого состояния местности в разных районах сильно варьируют.

Для минимизации погрешностей измерений нужно произвести сорегистрацию подходящих для исследования фрагментов «strip» с мозаикой, с другими «strip» или другой ЦМР по стабильной поверхности. После этого можно произвести расчёт объёма озера – объём, заключённый между поверхностью озёрной котловины и поверхностью уровня воды в озере до его спуска. Также по ряду ЦМР, покрывающих район исследований, за разные годы можно проследить изменение уровня воды в озере и высоты подпруживающей его ледовой плотины.

Данная методика была опробована при исследовании крупного ледниково-подпрудного озера Спартаковское, расположенного на острове Большевик (архипелаг Северная Земля), подпруженного выводным ледником купола Семёнова-Тян-Шанского. 26.08.2016 произошёл спуск озера. Объём спущенной воды, рассчитанный по приведённой выше методике с использованием ArcticDEM v3.0, составил $404,3 \pm 21,9$ млн. м³.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60067 Арктика.

260 лет аккумуляции льда в кальдере вулкана Плоский Толбачик (Камчатка)

Муравьев Я.Д.¹, Муравьев А.Я.²

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

² *Институт географии РАН*

¹ murjd@kscnet.ru, ² muraviev@igras.ru

В 1975–1976 гг. в ходе Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ) произошло обрушение вложенной вершинной кальдеры вулкана Плоский Толбачик и части залегающего в ней ледника. Возникла уникальная возможность в деталях изучить внутреннее строение и режим ледника существующего в условиях интенсивной вулканической деятельности.

В 1978–1983 гг. были выполнены исследования по восстановлению истории извержений вулкана, пеплы которых были датированы стратиграфическим, гляциоклиматическим методами и по историческим свидетельствам с точностью ± 1 год, и опубликованы в серии работ посвященных проблеме взаимодействия вулканизма и оледенения (Виноградов, Муравьев, 1981; Муравьев 1985; Вайкмяэ и др., 1989, и др.). В то же время собственно гляциологические результаты оставались на втором плане и не анализировались в многолетнем разрезе, хотя позднее полевые работы эпизодически в кальдере вулкана продолжались.

В данном докладе рассмотрены: 1) результаты изучения «чистой» аккумуляции льда по стратиграфии трех разрезов кратерного ледника, вскрывшихся в ходе извержения 1975–1976 гг.; 2) нескольких шурфов в области аккумуляции ледника (1978–2003 гг.) и снегомерной рейки, установленной на ледоразделе ледников Института вулканологии и Толбачинский в 1978 г.; 3) результаты обработки керна из скважины, пробуренной ручным буром в 2003 г. на вершине вулкана.

Датирование осуществлялось комплексом методов: (1) стратиграфическим, заключавшимся в выделении годовых слоев льда по структурным и текстурным признакам; (2) масс-балансовым – по измерениям скорости аккумуляции льда в области питания ледника в 1978–1983 гг., и в шурфах; (3) расчетного гляциоклиматического – путем построения гипотетического разреза (Р-2) Толбачинского ледника по данным ЗГМО "Ключи", приведенным к высоте его области питания. Фактический и гипотетический разрезы были сопоставлены за 1904–1977 гг. совмещением сверху-вниз и контролем по известным вулканогенным (1975, 1969–1970 и 1904 гг.) и наиболее толстым ледяным горизонтам 1972, 1969 и 1966 гг.

В итоге, был получен сводный стратиграфический разрез фирново-ледяной толщи Толбачинского ледника мощностью 65,6 м, составленный из подробных описаний отдельных разрезов и нескольких шурфов, охвативший накопление с 1740 по 1977 гг. по прослойкам вулканического пепла во льду, а также дополненный результатами исследований 1978–2003 гг.. Скважина 2003 г. (3,93 м), пробуренная на высоте около 3080 м, охватила аккумуляцию 18 балансовых лет.

Таким образом, ряд «чистой аккумуляции» кратерного ледника охватывает последние 260 лет. Средняя многолетняя скорость аккумуляции льда в верхней трети стратиграфический разрез, составила 27,5 см/год, что при средней плотности ледникового льда 0,835 г/см³ составляет около 230 мм в.э. в год. Средняя скорость аккумуляции в 1986–2003 гг. составляла 200 мм в.э. в год. Полученные данные свидетельствуют о сокращении накопления льда на вершине Плоского Толбачика в конце XX века из-за изменившихся условий снегонакопления в молодой кальдере после 1976 года.

Изменение высоты поверхности и объема ледников северного склона Центрального Кавказа

А.А. Найдено¹, С.С. Куззов², Д.А. Петраков¹

1. Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, naydenkosasha@gmail.com.

2. Институт географии Российской Академии Наук.

С научной и практической точек зрения важно знать количество и изменения во времени запасов воды в горных ледниках, поскольку сокращение их площади и объема вызывает в настоящее время дополнительное повышение уровня Мирового океана на $0,41 \pm 0,08$ мм/год [1,2].

Изменение объема ледника за год или более продолжительный период – показатель, непосредственно зависящий от климата. На отдельных ледниках изменение объема можно определить путем прямых гляциологических измерений баланса массы. Проведение масс-балансовых наблюдений на больших по площади ледниках сопряжено с множеством проблем, главными из которых являются большие ошибки, возникающие из-за неравномерности охвата ледника сетью измерений. Прямые масс-балансовые наблюдения проводятся только на двух сравнительно небольших ледниках – Джанкуате и Гарабаши[5].

Дистанционные расчеты изменения объема ледников данного региона начали проводиться относительно недавно. На настоящий момент времени имеются данные об изменении высоты поверхности ледников бассейнов рек Баксан, Чегем и Черек за период с 1957 по 2000 гг., средние значения которых составляют -11, -10 и -5 м соответственно [3].

Кавказ – крупнейший ледниковый регион в России. Основные ледовые ресурсы которого сосредоточены именно в его Центральной части. Важно знать, как изменяется объем не только «репрезентативных ледников», но и всех остальных для полного понимания картины, происходящей в данном регионе.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ №18-05-00520.

Литературные источники:

1. Meier M.F., Dyurgerov M.B., Rick U.K., O'Neel S., Pfeffer W.T., Anderson R.S., Anderson S.P., Glazovsky A.F. Glaciers dominate eustatic sea level rise in the 21st century // Science. 2007. V. 317. № 5841. P. 1064–1067.
2. Куззов С.С. Изменение ледников внутреннего Тянь-Шаня за последние 150 лет. Москва – 2009.
3. Найдено А.А., Куззов С.С., Петраков Д.А. Изменение высоты поверхности и объема долинных ледников западной части северного склона Центрального Кавказа (бассейны р. Баксан, Чегем и Черек). Устный доклад на всероссийской научной конференции «Взаимодействие элементов природной среды в высокоширотных условиях», Сочи – 2019.
4. www.wgms.ch.

Наступания ледников и педогенез в долинах ЮВ Алтая в неогляциале

Р.К. Непон^{1,2}, А.Р. Агатова^{1,2}, Бронникова М.А.³, Конопляникова Ю.³

¹ *Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия rnk@igm.nsc.ru*

² *Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия agatr@mail.ru*

³ *Институт географии РАН, Москва, Россия*

Сопряженный пространственно-временной анализ морен и почв (погребенных и дневных) в верховьях троговых долин юго-востока Русского Алтая (ЮВ Алтай) позволяет уточнить хронологию и амплитуды наступаний ледников в северном сегменте высокогорной Азии в неогляциале.

Исследования голоценовых почв в верховьях долины Аккола (Южно-Чуйский хребет), проведенные Egli et al. (2014), послужили толчком для уточнения амплитуды наступания ледников Алтая в Аккемскую стадию. Согласно (Назаров, Агатова, 2008; Agatova et al., 2012), это наступание было наиболее ранним во второй половине голоцена (4.9-4.2 тыс.л.н.) и превосходило по амплитуде продвижение ледников в стадии Историческая (2.3-1.7 тыс.л.н.) и Актру (13-19 вв.н.э.). Такое мнение основывалось на предположении о формировании Аккемской морены в интервал времени, не охарактеризованном находками древесной растительности в гребневой части хребта и на результатах ¹⁴C датирования торфа, перекрывающего Аккемскую морену в долине Актру.

В долине Аккола комплекс морен стадий Актру и Историческая является ближайшим к леднику Софийскому, при этом морена Актру налегает на морену Исторической стадии. Различный возраст этих морен фиксируется по степени их сохранности и возрасту заселивших их лиственниц. Согласно Egli et al. (2014), дневной почвенный профиль перед фронтом моренного комплекса начал формироваться около 5.4 тыс.л.н. Эти данные поставили под сомнение большую амплитуду наступания ледников Аккемской стадии. Полевые исследования подтвердили развитие среднеголоценовых почв в верховьях долины Аккола: погребенные флювиальными и склоновыми отложениями линзы гумусированного материала, иногда с корневым детритом, возрастом 5.1-5.9 тыс.л.н. были обнаружены нами на расстоянии около 1 км ниже по долине от фронта моренного комплекса на левобережной террасе.

Находки не перекрытых моренными отложениями почв такого возраста непосредственно ниже морены Исторической стадии позволяют сделать вывод о том, что в случае наступания около 4.9-4.2 тыс.л.н. ледники ЮВ Алтая были близки по размерам либо меньше ледников Исторической стадии. Такой сценарий динамики оледенения ЮВ Алтая более близок к реконструкции оледенения других горных систем мира. Особенностью голоценового оледенения ЮВ Алтая, как и некоторых других горных систем Центральной Азии, является то, что размеры ледников в Малую ледниковую эпоху (стадия Актру) были меньше, чем в предшествующую стадию, что обусловлено аридизацией климата.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-05-00998).

Поиск человека, погребённого под толщей снега с помощью электромагнитных зондирований

М.Р. Николаев¹, С.В. Попов^{2,1}, М.П. Кашкевич¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*²АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Санкт-Петербург,
Россия*

Ежегодно в лавинах погибает множество людей. Только на горнолыжных курортах в Альпах ежегодно гибнет около тридцати человек. Выживаемость во многом зависит от быстроты и эффективности спасательных операций. Своевременное обнаружение пострадавших под снежными лавинами может спасти человеческие жизни. Одним из эффективных способов поиска пострадавших оказавшихся под завалами являются инженерные георадарные работы. Имеются публикации, которые демонстрируют эффективность этого метода для поиска пострадавших. Эксперименты по лоцированию помещённого в снежную толщу живого человека проводились 30-го марта 2019 г. на склоне горы Кукисвумчорр (Хибины, Кольский полуостров) в районе г. Кировск, Мурманская обл. Исследования выполнялись с применением промышленного отечественного георадара «ОКО-2» с антенной, обеспечивающей зондирование на частоте 400 МГц. На склоне горы было выбрано ровное место с достаточно мощным слоем снега, на котором был размечен маршрут для последующих георадарных работ. После выполнения тестового маршрута, в стенке шурфа была выкопана горизонтальная цилиндрическая полость диаметром 0.55 м и длиной 1.4 м. Верхняя кромка полости залегала на глубине 1.05 м от поверхности снега. После этого также было проведено георадарное профилирование по тому же маршруту. На заключительном этапе в цилиндрическую полость помещался человек, после чего по размеченному маршруту снова был выполнен георадарный профиль. Помимо выполнения натурных исследований, было проведено математическое моделирование, симулирующее вышеизложенные работы, которое осуществлялось в программном пакете grtMax, на сегодняшний день считающейся наиболее продвинутой и используемой симулятором электромагнитных зондирований. Результаты научной работы представлены в настоящем докладе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ №17-55-12003НННО.

Особенности изменения ледникового стока рек Памиро-Алая и Тянь-Шаня на примере рек Варзоб и Кара-Дарья за период с 1990 по 2017 гг.

¹Ниязов Дж.Б., ²Калашиникова О.Ю.

¹Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Академии Наук Республики Таджикистан, г. Душанбе.

²Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ), г. Бишкек

Площадь ледников Тянь-Шаня и Памиро-Алая сокращается, что связано с потеплением климата, которое началось с 1970-х годов.

Сокращение площади ледников в дальнейшем может негативно сказаться на водохозяйственной деятельности и гидроэнергетике. Авторы исследовали изменение талого ледникового и снегового стока рек Варзоб и Кара-Дарья, которые интенсивно используются для нужд ирригации и гидроэнергетики, а также обеспечивают водой крупные города Душанбе (Республика Таджикистан) и Узген (Республика Кыргызстан).

По данным спутниковых снимков Landsat, в 2011-2016 г. площадь оледенения бассейна реки Варзоб составляла 32,3 км², сократившись на 11%, а реки Тар (крупнейшего притока реки Карадарья) – 56,8 км², сократившись на 10% в сравнении с данными площади оледенения Каталога Ледников СССР (по состоянию ледников на 1940-1970 гг.).

Но изменение стока рек Памиро-Алая и Тянь-Шаня отличаются. Так, анализ разностно-интегральной кривой среднегодового стока рек Памиро-Алая за период с 1940 по 2016 гг. показывает его понижение с 2000-х гг., тогда как на реках Тянь-Шаня за период с 1940 по 2017 гг., сток рек с середины 1990-х годов повышается. При этом роль ледникового стока в обоих случаях уменьшается, уступая талому снеговому стоку.

Объем ледникового стока на реке Варзоб уменьшился на 30%, а талого снегового стока – не изменился в сравнении с характерными для последнего цикла годами 2012 и 2016 гг. На реках Карадарьинского бассейна, увеличился как объем ледникового на 17%, так и талого снегового стока на 50% в сравнении с характерными годами 2008 и 2017 гг. При такой тенденции, водность реки Варзоб будет понижаться, а реки Карадарья – повышаться. Максимальные значения стока реки Карадарья в период половодья будут смещаться на более ранние сроки за счет значительного увеличения объема талого снегового стока, и соответственно будет меняться внутригодовой режим рек.

Изменения ледников Кавказа по данным каталогизации 2018 г.

Носенко Г.А., Никитин С.А., Хромова Т.Е., Муравьев А.Я.

Институт географии РАН, Москва, Россия;

nosenko@igras.ru

В рамках проекта по каталогизации ледников России выполнена оценка современного состояния ледников всего Кавказа. Для этой цели использовались космические снимки Sentinel-2, полученные в конце периода абляции 2018 года и лицензионное программное обеспечение ARCGIS. Высокая частота проведения съемок и большой захват на местности обеспечили однородность условий для всей территории. Геометрической разрешение снимков (10 м) позволило повысить надежность определения современных границ ледников, по сравнению с результатами предыдущих каталогизаций. В результате ручного дешифрирования были зафиксированы положения границ 1900 ледников Кавказа, включая Западный, Центральный, Восточный и ледники Армении. Общая площадь оледенения Кавказа составила 1056,2 км². Минимальный размер ледников, вошедших в новый Каталог > 0,01 км². Для оценки динамики изменений, происходивших с момента создания Каталога ледников СССР, выполнено сравнение с результатами промежуточных оценок состояния ледников в 1960, 1986 и 2014 годах. Установлено, что на фоне сохраняющейся в настоящее время общей тенденции увеличения скорости сокращения площади ледников, существуют некоторые неопределенности в оценке точности полученных величин. Обсуждаются причины возникновения этих неопределенностей и возможности оценки их вклада в итоговую величину изменения площади ледников Кавказа.

Исследования изменений размеров ледников по материалам спутниковых съемок проводились при поддержке гранта №05/2019/РГО-РФФИ «Геоинформационное картографирование ледниковых систем на территории России для оценки ресурсного потенциала и возможных рисков при хозяйственном освоении ледниковых районов».

**Особенности распределения снежного покрова на Полярном Урале
по данным снегосъемки 2019 г.**

Носенко Г.А., Лаврентьев И.И., Глазовский А.Ф.

Институт географии РАН, Москва, Россия;

nosenko@igras.ru

Снежный покров – важный элемент криосферы Земли. Он участвует в формировании оледенения горных районов и полярных широт, влияет на режим ледников и многолетней мерзлоты, их термическую и механическую устойчивость, во многом определяет климатический и гидротермический режим территории. В условиях современного климата происходит изменение основных параметров снежного покрова, таких как продолжительность залегания, динамика снегонакопления и плотность снега, структурные изменения. Настоящая работа является продолжением ряда начатых в прошлом веке наблюдений за снежным покровом и балансом массы ледников Полярного Урала. В докладе обсуждаются результаты снегомерных маршрутных измерений в конце периода аккумуляции 2019 года для нескольких тестовых районов, которые включали ледниковую и внеледниковую поверхности. Измерения толщины и плотности снежного покрова проводились с использованием как традиционных гляциологических методов (лавинный щуп, плотномер ВС-43, весы) в шурфах, так и с применением георадара «Пикор» (центральная частота 1600 МГц). В шурфах по вертикальному профилю проводились измерения температуры с помощью термометра ЛТ-300 и влажности снега с помощью датчика Decagon Device10HS. Все измерения сопровождалась пространственной привязкой данных - GPS/GLONASS.

В целом, измерения снежного покрова показали высокую пространственную изменчивость его распределения в пределах исследованной территории к моменту проведения снегомерных работ, соответствующих концу периода снегонакопления. Его максимальные толщины, измеренные в области аккумуляции ледника ИГАН, превысили 8,5 м. В то же время, в зоне предгорной тундры они составили 0,4 м, а на отдельных участках в эти сроки было отмечено его полное отсутствие. Результаты снегомерных съемок показали, что величина и распределение снегозапасов по территории Полярного Урала в 2019 году соответствовали данным наблюдений середины прошлого века. Для получения статистически значимых показателей необходимо продолжение начатых исследований.

Снегомерные съемки и обработка данных радиолокационных измерений проводились при поддержке гранта РФФИ №17-55-80107-БРИКС-а. Логистическое обеспечение экспедиционных работ осуществлялось при поддержке НП «Российский Центр освоения Арктики», г. Салехард. Исследования изменений баланса массы и размеров ледников проводились при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60067 Арктика.

**Лавинно-индикационные показатели климата и прогноз экстремальных ситуаций
лавинообразования по данным климатических моделей**

Олейников А.Д., Володичева Н.А., Куксова Н.Е.

Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Наиболее масштабные лавинные катастрофы связаны с лавинами из свежеснегавпавшего снега, которые составляют до 70% от общего числа сходящих лавин. Каждый горный район имеет свою хронологию лавинных катастроф, возникающих под влиянием мощных гидрометеорологических аномалий. Индикационными показателями этого класса лавин обычно считаются обильные продолжительные снегопады с осадками 20-40 мм/сут. и более или высокая снежность зим. Как показывает накопленный опыт лавинных исследований, в теплых условиях современного климата сведений об интенсивных осадках часто бывает недостаточно для достоверного прогноза разрушительных лавин, а сведения о снежности зим по долинным метеостанциям не всегда отражают реальную картину снегонакопления в приводораздельных частях склонов. Примером может служить зима 2018/19 на Центральном Кавказе в Приэльбрусье, когда норма мартовских осадков была превышена в 2,5 раза при суточных величинах осадков в ходе снегопадов: 24.03 – 54,4 мм; 25.03 – 26,7 мм; 29.03 – 25,2 мм; 30.03 – 21,3 мм, а массового обрушения особо крупных лавин не наблюдалось,

Для индикации условий формирования особо крупных лавин предлагается использовать комплексный показатель - соотношение температуры воздуха и осадков за холодный период, который определяет фоновую заснеженность горной территории и степень суровости зим. Данный показатель не требует поиска корреляционных зависимостей по переходу от прогнозируемых климатических величин к лавинно-индикационным, поскольку искомые элементы – сезонная температура воздуха и осадки – непосредственно прогнозируются климатическими моделями. Предлагаемый показатель был использован для выявления зим экстремального лавинообразования на Большом Кавказе и показал хорошую сходимость результатов с данными натурных наблюдений. Для оценки повторяемости лавинных экстремумов на ближайшие десятилетия будет использована мезомасштабная атмосферная модель WRF-ARW, адаптированная к условиям Большого Кавказа.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований по проекту № 20-05-00280 А.

Современная динамика оледенения и многолетней мерзлоты на Антарктическом полуострове

Осокин Н.И., Сосновский А.В., Мавлюдов Б.Р.

Институт географии РАН, Москва

Работы по изучению оледенения и мерзлоты на острове Кинг-Джордж проводились в периоды с 2007 по 2012 гг. и с 2014 по 2018 гг. с декабря по март. При проведении мерзлотных исследований измерялась температура и сезонная динамика сезонно-талого слоя (СТС). Масс-балансовые наблюдения на ледниковом куполе Беллинсгаузен включали измерение снегонакопления в конце периода аккумуляции, которое проводилось путём площадной снегомерной съёмки по сетке с шагом 250 м, а плотность снега изучалась в 9-10 шурфах, расположенных в разных частях купола. Абляция на куполе измерялась по сети абляционных реек (29 штук), расположенных по нескольким профилям на разных склонах купола. Баланс массы ледникового купола рассчитывался исходя из абляции и с учетом площади высотных зон ледникового купола. Для анализа полученных данных использовались информация метеорологической станции Беллинсгаузен (№ 89050, высота 16 м НУМ), данные с сайтов www.rp5.ru и <http://www.aari.aq/> и данные по высоте снежного покрова, представленные ААНИИ.

Анализ архивных материалов за период 1968–2018 гг. показал, что до 1998 г. был рост летней суточной температуры воздуха T_s около $0,027\text{ }^{\circ}\text{C}$ за год, коэффициент достоверности $R = 0,52$. Тогда как за двадцатилетний период 1998 – 2017 гг. величина T_s снижалась на $0,047\text{ }^{\circ}\text{C}$ за год при $R = 0,45$. При этом за последние 18 лет 20 века средняя суточная летняя температура воздуха составила $1,17\text{ }^{\circ}\text{C}$, тогда как за 18 лет 21 века снизилась на 30 %, до значения $0,83\text{ }^{\circ}\text{C}$. Средняя суточная зимняя температура воздуха за эти периоды практически не изменились, рост составил около 2 %, от $-3,74\text{ }^{\circ}\text{C}$ в конце 20 века и $-3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 18 лет 21 века.

Для оценки возможной изменчивости мощности СТС использовалась математическая модель, которая позволяла учитывать изменчивость температуры воздуха, динамику снегонакопления и теплофизических характеристик снега. Для расчетов изначально задавались средние многолетние значения параметров, влияющие на термический режим грунта и затем проводилась вариация одного из них. Проведенные расчеты показали, что многолетняя мерзлота в районе станции Беллинсгаузен находится в неустойчивом состоянии. Так, максимальная расчётная мощность СТС в наиболее тёплый сезон 2008/2009 гг. увеличивается со 115 см (при среднем измеренном значении 113 см по 8 скважинам) в 1-й расчетный год до 131 см на 2-й год. Тогда как в другие более холодные годы наблюдается равновесная ситуация, расчётная мощность СТС после 1 и 2-го расчетных годов практически не изменяется или происходит сокращение мощности СТС на 1 см. Устойчивости ММП при современном климате способствует небольшое понижение с начала 21 века средних значений летней температуры воздуха и солнечной радиации.

Снижение летних температур привело и к увеличению количества лет с положительным балансом массы льда. Несмотря на это, положительный баланс массы льда еще не стал преобладающим фактором на фоне отрицательного баланса предыдущих лет, хотя и намечилось восстановление накопления снега в вершинной части ледникового купола. Проведённый анализ показал, что летний и удельный баланс массы льда на куполе хорошо коррелируют с суммой положительных температур в течение периода с декабря по март месяцы – коэффициент достоверности составляет $R^2 = 0,7\text{--}0,8$. Кроме того существует определенная связь между мощностью СТС и удельным балансом массы льда на куполе. Эта работа выполнена в рамках в рамках темы Государственного задания № 0148-2019-0004. Авторы выражают благодарность РАЭ за предоставленную возможность проведения многолетних гляциологических работ на острове Кинг-Джордж (Ватерлоо). Выполненная работа также имеет непосредственную связь с проектом МАГАТЭ INT5153 (2014-2019).

Геохимический состав подземных льдов долины р. Чара (Забайкалье)

О.Л. Опокина^{1,2}, Е.А. Слагода^{1,2,3}, А.Н. Курчатова².

¹Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН

²Тюменский индустриальный университет

³Тюменский государственный университет

В долине р. Чара Северного Забайкалья развиты верхнечетвертичные и современные пролювиально-делювиальные и аллювиальные отложения. В береговых разрезах мерзлые пески, суглинки, с прослоями и линзами торфа вмещают повторно-жильные льды, элементарные ледяные жилки, трещинные и текстурные льды. В 2012 г. проведены комплексные исследования мерзлых толщ, в том числе геохимическими методами. Для геохимических исследований были опробованы все выявленные типы подземных льдов. Так же, с целью определения фонового содержания химических элементов в природных водах и для выявления возможного источника влаги для подземных льдов, взяты пробы воды из ближайших водотоков - р. Чара и источников подземных вод. Полученные лабораторные данные позволили проанализировать распределение макро- и микроэлементов, общую минерализацию и pH в природных водах и растворах подземных льдов.

По химическому составу изученные подземные льды относятся к гидрокарбонатному классу, катионный состав смешанный, имеют ультрапресный состав (общая минерализация 10-88 мг/л) и слабокислую реакцию среды (pH 5-6,5).

В составе текстурного льда отмечено повышенное содержание ионов Mg (39%), а также Ti, V, Fe, Sr, I, Ba. В трещинном льду, залегающем в заторфованных отложениях, содержание сульфатов достигает 35%, в микрокомпонентном составе выявлены повышенные концентрации Ti, V, Co, Cu, Br. Повышенное содержание Mg, Ti, Ba, Fe, V, Sr фиксируется в пробах надмерзлотных вод изучаемого района, а элементы I, Br, Co, Cu, Fe активно накапливаются в торфяниках. Т. о. трещинные и текстурные льды могли формироваться за счет надмерзлотных вод, которые обогащались микроэлементами при инфильтрации через разные типы отложений. В пробах трещинного льда с высоким содержанием грунта установлено увеличение минерализации в 4 раз и повышение концентраций микроэлементов в 3-10 раз по сравнению с пробами без минеральных примесей. Такая дифференциация состава может возникнуть во льду под действием градиента температур. В этом случае ионы будут перемешаться во льду в сторону повышения температур и с течением времени может произойти самоочистка льда от солей.

Основной состав и слабокислая среда расплавов повторно-жильного льда и элементарных жилок указывают на атмосферное происхождение льдообразующей влаги. В растворах повторно-жильного льда установлено повышенное содержание ионов хлора (18-22%) и калия (> 30%), что, может являться результатом криогенной метаморфизации химического состава источника воды. В микрокомпонентном составе жильного льда отмечено низкое содержание Si, Sc, Mo и W. Эти элементы мигрируют и накапливаются в осадочных породах и их отсутствие в повторно-жильных льдах подтверждает метеорное происхождение влаги. В составе современных элементарных жилок повышено содержание I, Ti, V, Fe, Br и PЗЭ, которые также могли быть вынесены из вмещающих их отложений.

Полученные геохимические данные позволили уточнить условия образования подземных льдов в долине р. Чара. Установлено, что повторно-жильные льды формировались в основном при участии метеорных вод, а трещинные и текстурные за счет подземных вод. Влияние вод р. Чара на подземные льды не установлено.

Метеорологический режим Сыгыктинского ледника (хребет Кодар) в сезон абляции

Осипов Э.Ю. (1), Осипова О.П. (2), Василенко О.В. (2)

1 – Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

2 – Институт географии им. В.Б. Сочавы, г. Иркутск

Ускоренное сокращение ледников Кодара в последние десятилетия хорошо согласуется с многолетними климатическими трендами, выявленными на низкогорных метеостанциях. Однако для понимания физических процессов, обуславливающих таяние ледников важно получить данные о метеорологическом режиме и составляющих теплового баланса либо непосредственно на самом леднике, либо вблизи его. Впервые в июле–августе 2019 г. с помощью системы автоматического мониторинга с высоким разрешением были измерены основные характеристики метеорологического режима переметного Сыгыктинского ледника (хребет Кодар, юг Восточной Сибири). Статистически проанализированы временные ряды метеорологических характеристик (температура и влажность воздуха, осадки, атмосферное давление, температура грунта и льда). Выполнена корреляция рядов температуры и осадков с данными ближайших низкогорных метеостанций и реанализов и сделан вывод о репрезентативности многолетних метеоданных для моделирования баланса массы кодарских ледников. На основе непосредственных измерений потоков коротковолновой и длинноволновой радиации, а также величины альбедо был количественно оценен радиационный баланс ледниковой поверхности и его вклад в таяние ледника. Выполнено сравнение метеорологического режима ледника и скорости абляции с характеристиками атмосферной циркуляции в регионе. Исследования выполнялись при поддержке РФФИ (грант №19-05-00668).

The study of glacier dynamics and their impact on the river flows of the At-Bashy Range (Tien Shan)

Osmonov A.1,2, Usabaliev R.1, 1. Azisov E., Kenzhebaev R. 1 Esenaman uulu M.1, Shuster P.2 Schneider C.2, Loibi D2

1. Central-Asian Institute for Applied Geosciences (CAIAG), Bishkek, Kyrgyzstan;

2. Humboldt - University in Berlin (HU), Berlin, Germany

Glaciers of the Tien Shan Chain are main resources for river flow forming. The glacier melting water is especially important during vegetation season. In summer period, the river flows rise up until 60% of their volumes. Farmers need a great amounts of water for irrigation in conditions of dry climate of Central Asia. However, during current climate change, glaciers, their areas and mass balance, are declining all over Tien Shan Mountains. Glaciers' shrinkage has most intensive rate in peripheral regions, such as Pskem Mountains, where glacier declining reaches up to 24%, while this rate in the internal regions of the At-Bashy Range is lesser, only 16%. Regional differences of glaciers shrinkage has demonstrated that this phenomenon is a quite complicated natural process, where the role of local climate and characteristics of glaciation are key factors determining the intensity of glaciers dynamics. However, the data that collected with instrumental methods in field conditions are still not enough for deep analysis of the glacier dynamics during current processes of the climate change.

Therefore, we analyzed glacier dynamics in the Bash-Kaiyngdy River Basin on the southern slope of the At-Bashy Range. This basin belongs to the greatest Naryn River Basin, which is the main river flow and water sources for many areas of Kyrgyzstan. We focused on the study of local climate characteristics and used data from the Bash-Kaiyngdy a. w. s. installed in the same river valley; regime of water level measured by the OTT device and calculated to river flow. In addition, we investigated the regime of the mass balance on representative Glacier No 182 during 2018-2019. Changes of the weather characteristics were correlated well with fluctuations of the river flow according to the OTT data. In the study area, the air temperature increased starting from end-April-early-May and was high during entire summer and then fell down in September. High temperatures led to melting of the seasonal snow cover and glacier body. So, the river runoff was gradually increased during the same period, in summer and then amounts of water fell down in September. During the peak of melting, the river discharge reached 5,9 m³ in July, when the glacier melting and water supply was maximal. The yearly mass balance of the Glacier No 182 was calculated by the contour liner method, and we used the measure data from melting intensity during the ablation seasons of 2018-2019. The isoline of the glacier contour mapped manually by using data of melting intensity and topographic characteristics of glacier surface and snow distribution by altitude etc. Further, the reached results were interpolated according to the altitudinal isoline and calculated the average mass balance that was multiplied for each altitude zone. All reached results according to the altitude zones were divided by entire area of the glacier. Finally, our results demonstrated the negative balance (- 0.97 m³) for the Glacier No 182 during the period of 2018 – 2019. Today, glaciers' declining is very intensive, their supply by melting water and their role in the forming of river flow is increasing. During current time, the most of researches are focused for opportunities of the RS techniques, while field monitoring data for the long term are still limited. Such kind of data are very important for deep understanding the nature of glaciers shrinkage processes, as well as their role as a water sources for river flow fluctuations; therefore, we plan to continue our field researches and collect enough monitoring data for deep knowledge of the nature of glaciological processes.

Гляциально-мерзлотные каменные образования на территории Алтайского государственного природного биосферного заповедника

А.Д. Патрушева, Г.С. Дьякова

Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия

В связи с современным изменением климата, затронувшим большинство компонентов высокогорных геосистем, а также существенным сокращением оледенения, исследование неучтенных запасов пресной воды на Алтае становится особенно актуальным.

Большая часть Алтайского государственного природного биосферного заповедника располагается в бассейне р. Чулышман.

Из-за отсутствия современного оледенения в долине реки Чулышман одними из основных запасов пресной воды являются гляциально-мерзлотные каменные образования, которые, по различным оценкам, содержат в себе от 30 до 60% (от своего объема) льда. ГМКО – это скопление сцементированного льдом грубообломочного материала в горах, по форме напоминающее ледники, и обладающее способностью к самостоятельному движению под действием силы тяжести. На территории Алтая на данный момент выявлено более 5000 ГМКО, но на территории бассейна р. Чулышман они до сих пор не выявлялись. Из-за удаленности территории от населенных пунктов, относительной труднодоступности, а также принадлежности к Алтайскому государственному заповеднику, территория исследования находится в практически нетронутом виде, что позволяет относить все изменения ГМКО к изменениям природного характера.

В ходе исследования было выявлено и классифицировано более 100 активных гляциально-мерзлотных каменных образований, и создан каталог ГМКО части бассейна реки Чулышман, включающий информацию о географических координатах расположения, типе, абсолютной высоте, площади и экспозиции, местоположении в пределах долины, морфологии поверхности, гранулометрическом составе обломочного чехла исследуемых образований.

Изменчивость основных характеристик снежного покрова от степной зоны к низкогорьям Алтая

Першин Дмитрий Константинович^{1,2}, Лубенец Лилия Федоровна², Черных Дмитрий Владимирович², Хорошев Александр Владимирович¹

¹МГУ им. М.В. Ломоносова

²Институт водных и экологических проблем СО РАН

Сезонный снежный покров является фундаментальным компонентом глобальных климатических, энергетических и водных циклов. На юге Западной Сибири снежный покров с одной стороны играет роль основного источника влаги для формирования речного стока и зарядки почвенных вод, а с другой является фактором риска развития наводнений и нарушений функционирования объектов инфраструктуры. В последние годы в России наблюдаются несколько разнонаправленных трендов изменчивости характеристик снежного покрова: снижение снегозапасов в лесах, увеличение на открытых участках, снижение продолжительности залегания снежного покрова и др. В данных условиях возникает все больше неопределенностей в системе связей снега и ландшафта в долгосрочной перспективе.

В рамках нашей работы мы ставили целью оценить изменчивость основных характеристик снежного покрова (толщины, плотности, снегозапасов) и особенностей стратиграфии снежной толщи под воздействием нескольких разномасштабных факторов. Под последними мы понимаем ряд факторов: локального (напочвенный покров, микрорельеф), бассейнового (факторы мезорельефа, растительности, абсолютной высоты) и регионального уровней (различия в количестве осадков, орографии).

Исследования проводились в течение зимнего периода 2019/2020 гг. в бассейнах рек Кучук (степная зона), Касмала (лесостепная зона) и Майма (низкогорья Алтая), расположенных в Алтайском крае и Республике Алтай). Данные бассейны существенно отличаются по среднегодовым суммам осадков (322, 382 и 729 мм соответственно) и особенностям ландшафтной структуры.

Методика исследования включала в себя проведение наблюдений на снегомерных площадках 60х60 м каждый месяц в течение зимнего периода (Ноябрь–Март) на 3–6 опорных участках и 30–35 участках в пределах каждого бассейна в период максимума снегонакопления. Расположение снегомерных площадок определялось основными различиями в характере растительности, уклонах/экспозиции склонов, абсолютной высоте. Каждая площадка включала в себя 61 измерение толщины и 13 измерений плотности снега весовым снегомером ВС-43. На опорных участках в период максимума снегонакопления производилось описание стратиграфии снежной тощи в соответствии с международной классификацией сезонно выпадающего снега.

Изменения ледника Колка в 2002-2019 гг. на основе наземного и дистанционного мониторинга

Д.А. Петраков¹, К.А. Аристов¹, Е.А.Башкова¹, Е.С.Бойко², В.Н. Дробышев³ Н.В. Коваленко¹, А.С.Турчанинова¹

1 - Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2 - Кубанский государственный университет, г.Краснодар, 3 - Владикавказский научный центр РАН и Правительства Республики Северная Осетия–Алания, г.Владикавказ

Вечером 20 сентября 2002 г. в бассейне реки Геналдон в Северной Осетии произошла ледниковая катастрофа планетарного масштаба. Более 100 млн. м³ льда, воды и камней были сброшены из цирка ледника Колка в Кармадонскую котловину со средней скоростью 180 км/час. Ни население, ни органы власти не ожидали такого необратимого развития событий. Погибло 135 человек, а экономический ущерб составил чуть менее 1,5 млрд. руб. Большинство исследователей подчеркивает комплексную природу катастрофы, определенную роль в зарождении которой сыграли как эндогенные, так и экзогенные факторы. Вопрос о возможности, сроках повторения и масштабах подобного события не решен по сей день. Пороговым фактором при реализации катастрофического сценария, судя по всему, является объем ледника Колка. Для прогнозирования вероятных гляциальных катастроф в долине р. Геналдон требуется проводить регулярный мониторинг ледника Колка.

Рекогносцировочные наземные и/или дистанционные наблюдения в зоне Геналдонской катастрофы были начаты нами в 2002 г. и проводятся ежегодно. Для дистанционных наблюдений используются космические снимки высокого разрешения, получаемые по программе Геопортала МГУ и поддержке ИТЦ «СканЭкс». В 2014 г. проведена прицельная стереосъемка местности сенсором SPOT-6, на основе которой составлена цифровая модель рельефа верховьев р. Геналдон. В 2019 г. была проведена съемка местности сенсором Pleiades в рамках программы по наблюдениям ледников из космоса с использованием спутников "Плеяды" (Pleiades Glacier Observatory). Первая наземная топографическая съемка масштаба 1:5000 была проведена в августе 2004 г., повторные съемки сделаны в 2009 и 2014 гг. В августе 2014 г. инструментальные измерения носили комплексный характер: были апробированы технологии цифровой стереосъемки калиброванными фотокамерами и цифровой стереосъемки с беспилотного летательного аппарата. Эти же технологии были успешно применены в 2019 г., что позволило существенно улучшить качество цифровых моделей поверхности ледника.

В результате было установлено, что объем ледника Колка после катастрофы 2002 г. увеличился более чем на 50 млн.м³, что составляет около половины предкатастрофического объема. В 2014-2019 гг. темпы восстановления ледника замедлились на 40% по сравнению с предыдущими периодами. Восстановление Колки происходит на фоне быстрого сокращения большинства ледников Кавказа.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект 18-05-00520.

**Данные спутникового мониторинга
и рельефобразование на арктическом шельфе России**

Гаврилов А.В.¹, Пижанкова Е.И.¹, Кучейко А.А.²

¹*МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет*

²*Компания «РИСКСАТ»*

Изучение рельефообразования на мелководном шельфе арктических морей имеет важное значение для обеспечения безопасного функционирования Северного морского пути. На разновременных космических снимках Landsat, Sentinel и Terra/MODIS за 1973-2019 гг. фиксируется образование банок, подводных баров и островов на мелководьях и в береговой зоне. Эти процессы происходят на фоне повышения уровня моря и современного тектонического поднятия морфоструктур, к которым приурочены указанные участки. Морфолитогенез осуществляется в результате взаимодействия мерзлотных, гидродинамических и гляциальных процессов. Наблюдающаяся их активизация определяется современным потеплением и увеличением продолжительности безледного сезона.

Сезонное и многолетнее оттаивание донных отложений, ускорение отступания льдистых берегов под действием термоабразии поставляют огромное количество талых осадков, способных к перемещению и аккумуляции. Перемещение и аккумуляция стимулируется увеличением длины разгона волн, продолжительности штормов и их усилением. Стабилизирующая роль мерзлотных процессов проявляется в многолетнем промерзании новообразованных банок (в интервале глубин 0-2 м) и островов.

Среди ледовых процессов определяющую роль играет бульдозерное перемещение донных осадков дрейфующим льдом. Стамухи и айсберги защищают образующиеся банки и острова от размыва и могут, приводить к складированию перемещенных осадков по их периметру, остатки льдов могут захораниваться. Опресняя донные осадки, они способствуют их промерзанию и, соответственно, фиксации на месте образования.

Современное сокращение арктических ледников обнажает подледниковый рельеф. Поэтому, а также в связи с положительными гляциоизостатическими движениями на периферии ледниковых систем Новой Земли, Земли Франца-Иосифа, Северной Земли и островных ледников (Шмидта, Ушакова) появляются новые острова.

Опыт картографирования криолитозоны шельфа морей Карского и Лаптевых
*Пижанкова Е.И.^{1,2}, Гончарова А.М.³, Мамедов Т.Э.³, Гаврилов А.В.^{1,2}, Хилимонюк В.З.^{1,2},
Булдович С.Н.^{1,2}, Аляутдинов А.Р.^{1,2}, Косевич Н.И.^{1,2}, Чербунина М.Ю.^{1,2}, Огиенко М.В.^{1,2}*

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

²Фонд «Национальное Интеллектуальное Развитие» (бренд «Иннопрактика»), Москва,

³ООО «Арктический Научный Центр», Москва

В современных условиях при наличии новых данных, в том числе геофизических, о шельфовых мерзлых породах тепловое моделирование их эволюции продолжает играть основную роль в картографировании криолитозоны арктического шельфа. Проведены исследования, направленные на разработку методики и составление цифровой карты криолитозоны шельфа морей Карского и Лаптевых масштаба 1:2 500 000 на базе математического моделирования. Основным элементом методики составления карты является создание базы данных. Ее содержание составляют не только геокриологические и геофизические данные, но и данные по истории геологического развития шельфа, геологическому строению, батиметрии, температуре придонной воды и ее изменению.

Основными этапами составления карты являлись:

- 1) районирование шельфа по истории развития;
- 2) построение палеотемпературных сценариев (моделей) для выделенных единиц районирования;
- 3) разработка геологической модели района исследований;
- 4) тестирование вышеназванных сценариев и модели;
- 5) математическое моделирование эволюции криолитозоны;
- 6) верификация результатов моделирования;
- 7) составление карты.

В результате исследований составлена геокриологическая карта, отражающая различия в строении криолитозоны шельфа морей Карского и Лаптевых. Различия весьма существенные, поскольку по тепло-влагообмену и истории развития в плейстоцене они отличались коренным образом. Мерзлота Карского шельфа формировалась в условиях чередования оледенений с послеледниковыми трансгрессиями, уничтожавшими ранее сформированные мерзлые толщи. Поэтому Карский шельф только частично занят мерзлыми толщами, в основном прерывистого и островного распространения. Перигляциальный шельф моря Лаптевых был лишен воздействия теплоизолирующих ледниковых и водных покровов. Ему свойственны мощные толщи мерзлых пород сплошного распространения.

В докладе представлены результаты исследований криолитозоны шельфа морей Карского и Лаптевых, выполненных Фондом «Национальное интеллектуальное развитие» (бренд «Иннопрактика») с привлечением научных специалистов МГУ имени М.В. Ломоносова совместно с ООО «Арктический Научный Центр» (входит в состав Корпоративного научно-проектного комплекса ПАО «НК «Роснефть»).

**Оценка роли палеогеографических событий
в формировании многолетней мерзлоты восточно-сибирского шельфа**

Гаврилов А.В.¹, Малахова В.В.², Пижанкова Е.И.¹

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет

² Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Изучение современных параметров многолетнемерзлых пород шельфа арктических морей имеет важное значение в связи с необходимостью обеспечения безопасной добычи углеводородов на шельфе.

Для получения данных о современном распространении и мощности многолетней мерзлоты Восточно-Сибирского шельфа проведено математическое моделирование эволюции ее параметров за последние 200 тысяч лет. Предполагается, что в этот период часть шельфа – район островов Де-Лонга и Анжу – подвергся оледенению, которое происходило в морских условиях. Результаты моделирования термического состояния проведены для геологического разреза с преобладанием тонкодисперсных пород при плотности теплового потока 50 мВт/м².

Получено, что на преобладающей части шельфа многолетнемерзлые породы (ММП) существовали все 200 тыс. лет. В областях, подвергшихся оледенению, ММП отсутствовали во временном интервале от 125 до 70 тыс. лет назад. В результате в районе оледенения современная мощность ММП на изобате 5 м на 130 м меньше, чем на остальной части шельфа (290 против 410 м). Еще более разительны оценки глубины залегания нижней границы зоны стабильности гидратов газов (ЗСГГ). В районе оледенения она находится на 230 м выше, чем на основной части шельфа (440 против 670 м). Положение кровли ЗСГГ в сопоставляемых районах оказалось близкой – 230 и 235 м. Незначительной получилась также разница в глубине залегания кровли мерзлоты. В районе оледенения она залегает лишь на 10 метров глубже. Исследование показывает, что, несмотря на значительную отдаленность периодов оледенения от современности, его влияние на мощность мерзлоты и глубину залегания нижней поверхности ЗСГГ оказалось весьма существенным.

Пространственно-временная изменчивость снегозапасов в Казахском Алтае

Пиманкина Н.В., Такибаев Ж.

Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан

pimankina@mail.ru

В последние годы в Казахстане продолжают или возобновлены наблюдения над снежным покровом в горах, открыты новые снегомерные маршруты (СМ), а также частично восстановлены суммарные осадкомеры. В настоящее время ряды наблюдений на отдельных метеорологических станциях (МС) насчитывают 60-70 лет и более. Это позволяет оценить многолетние колебания снежности в бассейне р. Иртыш, значительная часть которого находится в пределах Казахского Алтая. Согласно данным многолетних наблюдений, в горных бассейнах рек - правых притоков р. Иртыш - в марте-апреле средняя из максимальных толщина снега достигает 200-250 см и более. Величина запаса воды в снежном покрове в отдельные годы превышает 1500-1700 мм (басс. р. Ульба), что в 1,5-2 раза выше нормы. Максимальный прирост толщины снега за сутки достигает 40 см. Как показал анализ данных за период 1960-2019 гг., последние 10-20 лет были достаточно многоснежными. Экстремальные значения толщины и водности снежного покрова отмечаются по ряду снегопунктов именно в последние десятилетия. Многоснежные зимы отмечались в 2001, 2010, 2013 гг. На всей территории наблюдаются снежные заносы, паводки, а в мае 2019 г. в результате обильных осадков и быстрого таяния снега произошло подтопление объектов строящейся Тургусунской ГЭС, проведена эвакуация сотрудников, ущерб составил несколько десятков миллионов тенге. По наблюдениям на МС Лениногорск (ныне г. Риддер, басс. р. Ульба), в конце исследуемого периода отмечен рост средней температуры воздуха за ноябрь –март, суммы осадков также незначительно увеличиваются при отсутствии статистически значимых трендов.

По данным о толщине снежного покрова, измеренной по постоянным рейкам на площадках 28 МС, и наблюдениям на 8 СМ установлена пространственная и временная изменчивость толщины и водности снежного покрова на территории бассейна р. Иртыш. Произведено осреднение характеристик за два периода 1960-1989 и 1990-2019 гг. Разница в величинах максимальной толщины снежного покрова по постоянным рейкам, осредненным за 30-летние периоды, в целом невелика, мало отличается и от средней многолетней величины и составляет 10-15%. Разница в величине запасов воды в снежном покрове по наблюдениям на МС также колеблется в тех же пределах и имеет в основном положительный знак.

В программе ArcGIS построены карты распределения указанных характеристик в марте. Сравнение карт, составленных за два периода, показало, что в среднем за последние 30 лет площадь территории, где толщина снежного покрова составляет менее 30 см (котловина озера Зайсан, внутригорные котловины) несколько сократилась, а площадь территории, на которой отмечается снегонакопление 40 см и более, увеличилась.

Площадь территории, на которой запасы воды в снежном покрове не превышают 60 мм в.э. (прежде всего это Зайсанская котловина и северо-восточные склоны Калбинского хребта), стала больше. Значительно увеличилась площадь, охватывающая средне- и высокогорную часть Казахского Алтая, где формируются снегозапасы 200 мм и более.

Выполнен анализ многолетних колебаний толщины и водности снежного покрова на отдельных метеостанциях и снегомерных пунктах, расположенных в диапазоне высот 200-2500 м. Оценка с помощью линейных трендов не выявила статистически достоверных изменений. Форма кривых распределения снегозапасов по абсолютной высоте остается практически одинаковой независимо от периода осреднения.

Подземные льды берегов Карского моря. Палеогеографические аспекты

Письменюк А.А.¹, Стрелецкая И.Д.¹, Гусев Е.А.²

*1 - Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
географический факультет, Москва;*

2 - ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга, Санкт-Петербург;

E-mail: apismeniuk@gmail.com

Север Западной Сибири, в особенности прибрежные районы Гыданского полуострова, являются наиболее труднодоступными районами России, и, как следствие, наименее изученными. Вопрос о происхождении четвертичных отложений сибирского побережья Карского моря до сих пор остается открытым. Во время совместных полевых работ, проведенных МГУ, Институтом Криосферы Земли и ВНИИОкеангеологии в 2008-2010 г. были исследованы два участка Гыданского побережья: в районе факт. Матюй-Сале (Гыданская Губа) и п. Дорофеевский (Енисейский залив). Лабораторные исследования позволили получить данные по изотопному (Isotope Laboratory of Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Research Unit Potsdam) и химическому составу (ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург) подземных льдов и составу вмещающих их четвертичных отложений, гранулометрическому составу (ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург) вмещающих лед отложений. Была получена серия радиоуглеродных датировок торфяников (СПБГУ).

Четвертичные отложения, слагающие термоабразионные берега полуострова, формировались за счет чередования условий морского и континентального осадконакопления. Континентальные условия сопровождались похолоданием климата, аридизацией и эпигенетическим промерзанием отложений, образованием пластовых льдов и ростом полигонально-жильных льдов (ПЖЛ) на осушенном шельфе и континенте. В разрезе Матюй-Сале во временном интервале 42 - 57 тыс. лет (МИС3) реконструируются морские условия осадконакопления, в Енисейском заливе в это же время напротив накапливались континентальные осадки. Последующая регрессия (МИС2) привела к эпигенетическому промерзанию морских отложений Гыданской губы и образованию мощных залежей пластовых льдов (наблюдаемые в обнажении вблизи п. Дорофеевский). На большей части Гыданского полуострова начался рост крупных сингенетических ПЖЛ. Изотопный состав льда свидетельствует об экстремально холодных зимах времени их формирования. На исследуемых участках позднеплейстоценовые жильные льды фиксируются по псевдоморфозам и хорошо выраженному палеокриогенному рельефу. Деграляция льдов связана с отепляющей трансгрессией в оптимум голоцена, а также с оттаиванием под многочисленными термокарстовыми озерами. Похолодание во второй половине голоцена привело к промерзанию, морозобойному растрескиванию и образованию нового комплекса ПЖЛ. Средняя температура января того периода составляла -27,5 (±3)°С.

Исследования поддержаны грантом РФФИ № 18-05-60080 «Опасные нивально-гляциальные и криогенные процессы и их влияние на инфраструктуру в Арктике».

**Сравнительный анализ пространственно–временной изменчивости
айсбергового стока и динамических потерь выводных ледников архипелага Новая
Земля по спутниковым данным**

Платонова Е.В., Старцев Л.А.

*ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт» Санкт-Петербург, 199397, Россия*

В докладе приведены результаты работы, выполненной в рамках проекта РФФИ грант № 18-05-60109\18 от 31.05.2018 г. В качестве источника информации для сравнительного анализа айсбергового стока и динамических потерь выводных ледников послужили радиолокационные спутниковые изображения высокого пространственного разрешения (Sentinel 1), а также мультиспектральные данные (ИСЗ Landsat 5,7,8, Sentinel 2) района западной Арктики. В работе было использовано более 350 спутниковых снимков различных спектральных диапазонов.

На основе измерительного дешифрирования и анализа спутниковой информации была оценена многолетняя динамика фронтов 38 выводных ледников восточного и западного побережий Новой Земли. Были выделены временные периоды колебаний, в зависимости от характера и скорости подвижек кромки. В период с 1985 по 1995 гг. большая часть исследованных ледников оставалась стабильной, остальные отступали на небольшие расстояния. Максимальные скорости отступления ледников вглубь архипелага были зафиксированы в период с 2006 по 2015 гг. на западном побережье и с 2011 по 2017 гг. на восточном. В последние несколько лет скорости уменьшились, но это связано в большей степени с деградацией ледников, чем с особенностями их режима.

На восточном побережье максимальная средняя скорость отступления была отмечена у ледников Мощный (61 м/год) и Кропоткина (102 м/год). В западной части наибольшая динамика наблюдалась у ледников Глазов (130 м/год) и Вера (150 м/год). Меньше всего изменилось положение кромки у ледников Крайний (не более 20 м/год) и Визе (не более 30 м/год). В среднем за последние 15 лет ледники на западном побережье продвинулись вглубь суши на 4,5 км, а на восточном – 3,5 км.

В работе были также рассчитаны статистические данные (длина, площадь и скорость отступления/нарастания кромки). Выполнена классификация ледников по стационарности. Проведено картирование границ выводных ледников. Проведено сравнение 10 ледников восточного и западного побережий Новой Земли по их способности генерировать айсберги. Обозначена зависимость величины и характера айсбергового стока от вида и особенностей ледника.

Российское участие в новом международном научном проекте BEDMAP3

С.В. Попов^{1,2}

¹ *АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Санкт-Петербург, Россия*

² *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

В октябре 1996 г. в г. Кембридж (Великобритания) по инициативе геофизической рабочей группы Научного комитета по исследованиям в Антарктике (SCAR) состоялось рабочее совещание. Оно было посвящено оценке состояния изученности ледникового покрова и коренного рельефа Антарктиды и формированию, в связи с этим, нового международного проекта по созданию цифровых карт подлёдного рельефа и мощности ледникового покрова Антарктиды (BEDMAP). Своевременность проекта обусловлена тем, что последнее значимое обобщение по этой тематике вышло 1983 г. (серия карт гляциофизического и геофизического содержания под редакцией D. Drewry и S. Jordan). После этого было выполнено значительное количество аэрогеофизических съёмок многими странами, включая и нашу. По решению первого рабочего совещания в базу данных образованного проекта BEDMAP странами-участниками были помещены материалы, полученные к этому моменту. В 2000 г., по результатам проекта была издана сводная карта подлёдного рельефа Антарктиды, а ещё через год опубликована статья с описанием состава базы данных и методических аспектов картосоставления. Вклад нашей страны был по достоинству оценён: комплексными аэрогеофизическими съёмками Полярной морской геологоразведочной экспедиции (ПМГРЭ) была покрыта территория, охватывающая более трети всего континента. Помимо ПМГРЭ, в базу данных BEDMAP были внесены материалы МГУ и ИГ РАН.

За десятилетие, прошедшее после завершения проекта BEDMAP и Международного полярного года (2007-2008 гг.), в Антарктиде было получено значительное количество новых данных, в том числе и нашей страной. Это послужило причиной организации новой генерации проекта BEDMAP, BEDMAP2, который завершился подготовкой в 2013 г. цифровых моделей мощности ледникового покрова Антарктиды, и высот каменного основания континента и океанической части до 60° ю.ш. Вкладом нашей страны были данные, полученные в прибрежной части Восточной Антарктиды, а также в ходе наземных исследований в составе санно-гусеничных походов, включая район подледникового озера Восток.

В июне 2018 г. на XXXV SCAR Open Science Conference был поднят вопрос об организации следующей генерации проекта BEDMAP, BEDMAP3. Летом 2019 г. в рамках двух научных конференций (International Symposium on Radioglaciology и XIII International Symposium on Antarctic Earth Sciences) были проведены рабочие совещания организованного нового научного проекта. Вклад нашей страны также обеспечивался материалами комплексных аэрогеофизических работ, выполняемых АО «ПМГРЭ» в прибрежной части Восточной Антарктиды. Завершение проекта BEDMAP3 планируется в ближайшие годы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ №17-55-12003.

Современные изменения ледников плоских вершин хребта Терской-Ала-Тоо

А.А. Прошин.

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет

Ледники в горах являются главным индикатором изменения климатических условий и важнейшим хранилищем пресных вод. Их роль особенно велика в горных системах, окруженных аридными территориями. К таким горным системам относится Тянь-Шань. В данной работе был рассмотрен не самый распространенный морфологический тип ледников – ледники плоских вершин. Отсутствие морен на этих ледниках и приход вещества только за счет твердых осадков делают их ярким маркером изменения климата в данном регионе.

В работе были использованы топографические карты 1960-х годов, по которым была построена цифровая модель рельефа. После чего, было произведено сравнение с цифровой моделью рельефа ALOS PALSAR 2007 г. В результате было получено изменение высоты поверхности ледников плоских вершин.

В докладе анализируются ледники плоских вершин хребта Терской-Ала-Тоо в период 1960-2010 гг. Понижение высоты поверхности сравнивается с соседними опорными ледниками долинного типа за тот же самый период. В результате сравнения разновременных цифровых моделей рельефа оказалось, что ледники различных морфологических типов откликаются неодинаково на современные изменения климата.

Как предполагалось, ледники плоских вершин, на которых отсутствует поверхностная морена и питание которых осуществляется только за счет твердых атмосферных осадков, имеют различные темпы понижения дневной поверхности, нежели ледники долинного типа.

Уменьшение ледникового стока в центральной части Северного Кавказа
*Рец Е.П.¹, Дурманов, И.Н.¹, Киреева М.Б.², Корнилова Е.Д.^{1,2}, Кутузов С.С.³, Елагина Н.Э.³,
Поповнин В.В.².*

¹*Институт водных проблем Российской академии наук, лаборатория региональной гидрологии, Москва, Россия; retska@mail.ru*

²*Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия*

³*Институт географии Российской академии наук, отдел гляциологии, Москва, Россия*

С конца XX – начала XXI в. повсеместно наблюдается увеличение темпов деградации оледенения. Ожидаемое гидрологическое последствие деградации оледенения имеет ряд стадий. На первой стадии происходит увеличение сезонного стока рек, берущих начала в высокогорных территориях, в связи с интенсификацией таяния. В дальнейшем, при уменьшении площади оледенения и распространении моренного покрова происходит перелом в данной тенденции и речной сток начинает уменьшаться, вплоть до полного исчезновения ледниковой компоненты при исчезновении ледников. Сопоставление современных данных наблюдений в высокогорном опытно-бассейне Джанкуат с проводившимися в 1960-1970-х гг. позволило выявить снижение ледникового стока в данном бассейне. Несмотря на произошедшее повышение интенсивности таяния ледника Джанкуат на 25% в последние десятилетия по сравнению с периодом 1968-1995, произошедшее на данный момент существенное сокращение площади оледенения и разрастание моренного чехла привело к тому, что в реки поступает меньше талых ледниковых вод. В период 2002-2017 сток с бассейна Джанкуата был ниже на 26% в июле, на 40% в августе и на 22% в сентябре чем в период 1968–1978. При этом сток за июнь, когда в бассейне происходит преимущественно таяние сезонного снега не изменился. Данный процесс находит отражение в снижении стока рек верховьев Терека и Кубани на 5–25% в июле и 5–20% в августе в течении последних двух десятилетий по сравнению со второй половиной XX в. Уменьшение среднего значения максимальных расходов воды на данных реках составило 10–12%. Для рек, берущих начало в предгорных территориях Терека и Кубани, с отсутствием ледникового питания, подобные тенденции не наблюдаются. Для них характерно в основном повышение водности во все летние месяцы на 5-30%. Сигнал уменьшения ледникового стока прослеживается до среднего течения р. Терек и нижнего течения р. Кубань. Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-2936.2019.5

Исторический обзор документальных изображений ледников Кавказа

Рогожина Александра Николаевна

Свободный исследователь

Для визуальной оценки изменений горных ледников Кавказа используются исторические изображения, сделанные путешественниками и исследователями с середины XIX века (Г.Абих, В.Селла, М.фон Деши и др.). Исторические изображения могут быть документальными или художественными. Документальные изображения фиксируют состояние ледников на конкретный момент времени. Поиск сопоставимых изображений позволяет продлить ряды инструментальных наблюдений и дополнить данные о состоянии ледника на конкретный год (положение края ледника, изменение высоты поверхности, отчленение притоков у сложно-долинных ледников и др.) К документальным изображениям относятся некоторые художественные произведения, гравюры, литография, рисунки и фотографические снимки. В качестве дополнительного справочного материала могут быть использованы картографические источники, данные дистанционного зондирования и аэрофотоснимки. Основой для поиска источников исторических изображений служит анализ статей из электронной библиографии публикаций о ледниках Кавказа.

- для проведения сравнительно-географического анализа пространственно-временных изменений ледников Кавказа формируется база документальных изображений.

- осуществляется поиск и систематизация тематических историко-архивных источников изображений, таких как: отчеты об экспедициях, технические описания горных маршрутов, квалификационные отчеты альпинистских и туристских групп, некоммерческие фонды, туристические информационные бюллетени, авторские издания, частные архивы, малотиражная печатная продукция и др.

- выявлены ледники, наиболее подходящие для пространственно-временного анализа их изменений при помощи документальных изображений.

- на основе собранных изображений произведен анализ визуальных изменений ледников, отражающий деградации ледников Кавказа начиная с XIX века, и ее ускорение на рубеже XX-XXI века.

- дано морфологическое описание приледниковой зоны на основе анализа документальных изображений.

В результате исследования документальных изображений ледников Кавказа осуществлена оценка пространственно-временных изменений ледников с XIX века по настоящее время.

Движение ледников на Земле Вильчика – внутригодовые и межгодовые особенности

Родионова П. М.¹, Глазовский А. Ф.²

¹ *Географический факультет МГУ, Москва (polya.rodionova356@gmail.com)*

² *Институт географии РАН, Москва (glazovsky@igras.ru)*

Оледенение архипелага Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) занимает 12762 км², что составляет около 80 % всей его площади. Важнейшим, но слабо изученным компонентом баланса массы оледенения архипелага служат его динамические потери, которые зависят от геометрии и скоростей движения выводных ледников. В связи с этим, оценка интенсивности стока выводных ледников в море и фронтальной абляции, их сезонных и межгодовых вариаций, связанных с возможными разномасштабными изменениями скоростей движения льда, представляет собой актуальную задачу.

Мы выполнили расчёты полей скоростей движения выводных ледников архипелага ЗФИ (остров Земля Вильчека), для чего были использованы космические радарные изображения, полученные со спутников группировки Sentinel-1A и Sentinel-1B, запущенных Европейским космическим агентством в 2014 и 2016 гг., и оснащённых радаром, работающим на частоте 5 ГГц. Обработка изображений производилась в программной среде SNAP (SentinelApplicationPlatform), разработанной ESA (<http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>).

Мы вычислили 72 поля поверхностных скоростей движения четырех выводных ледников острова Земля Вильчика (Знаменитый, Стремительный, Молочный и Каро). Для каждого ледника были рассчитаны поля скоростей для 18 временных интервалов (Зинтервала в 2016 г., 13 интервалов в 2017 г., 2 интервала в 2018 г.) по 24 дня каждый. Ледосборные бассейны ледников были предварительно оконтурены по данным каталога ледников Рэндольф (GLIMS), а затем скорректированы при помощи ЦМР ArcticDEM. Результаты расчётов позволили исследовать сезонные и межгодовые особенности движения исследованных ледников. Для этих целей также привлекались данные о скоростях движения, извлеченные из набора данных ITS_LIVE, созданного на основе снимков Landsat за период с 1985 по 2018 годы.

Средние скорости движения выводных ледников острова Земля Вильчека в 2017 г. составили: Каро – 0,61 м/день, Знаменитый – 0,56 м/день, Стремительный – 0,56 м/день, Молочный – 0,52 м/день. Максимальные средние скорости ледников были зарегистрированы в июле, а минимальные средние скорости наблюдаются на разных ледниках в разные сезоны года: зимой на Каро и Стремительном, весной на Знаменитом и в осенне-зимний период на Молочном. Была исследована корреляция между средней скоростью движения ледников и различными климатическими показателями.

Работа была выполнена по теме Государственного задания № 0148-2019-0004 (АААА-А19-119022190172-5) и при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60109.

Трёхмерное моделирование потоков на склонах гор с использованием свободного ПО

Д.И. Романова

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

romanovadi@gmail.com

Водоснежные и грязекаменные потоки, снежные лавины, сели и другие склоновые потоки представляют большую опасность для жителей предгорья и различных отраслей народного хозяйства на данных территориях. Для организации защиты строят направляющие сооружения, тормозящие и пропускающие сооружения. Для расчёта таких защитных сооружений необходимо знать силу воздействия потока на препятствие, для изучения которой необходимо проводить трёхмерное численное моделирование. Расчёт силы давления набегающего потока на препятствие происходит, в том числе, из учёта профиля скорости. А значит, что для расчёта заградительных сооружений необходимо, чтобы полученный в расчётах профиль скорости, а также другие параметры потока хорошо описывали реальное движение потока по склону. Расчёт склоновых потоков затруднён из-за больших характерных размеров задачи в горизонтальной плоскости и относительно малых по вертикали.

В работах [1-4] представлены результаты моделирования различных склоновых потоков разными подходами. В работе [1] авторы производят расчёт комплекса заградительных сооружений и приходят к выводу, что использование осреднённых по глубине уравнений динамики не позволяет корректно оценить взаимодействие потока с дамбой и смоделировать её переполнение. Пакет OpenFOAM используется авторами для 3D моделирования воздействия водоснежного потока с комплексом защитных сооружений.

В работе японских коллег Oda, Yamaguchi и соавторов [4] представлен численный метод расчёта снежных лавин, основанный на стабилизированном методе конечных элементов SUPG/PSPG с неструктурированной сеткой. Учтена сложная геометрия склона и неньютоновская реология среды, но поток считается ламинарным и не учитывается захват материала.

В докладе планируется привести обзор и сравнение использования различных вычислительных методов для моделирования потоков на склонах гор используя имеющийся мировой опыт [1-4]. А также произвести исследование параметров расчётной сетки для моделирования таких потоков.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-31-90105.

литература

1. Hafþór Örn Pétursson, Kristín Martha Hákonardóttir, Áki Thoroddsen. Use of OpenFOAM and RAMMS Avalanche to simulate the interaction of avalanches and slush flows with dams. Proceedings to the International Symposium on Mitigative Measures against Snow Avalanches and Other Rapid Gravity Mass Flows. Siglufjörður, Iceland, 2019.
2. K.M. Hákonardóttir, K.H. Ágústsdóttir. The design of slushflow barriers: Laboratory experiments. Proceedings to the International Symposium on Mitigative Measures against Snow Avalanches and Other Rapid Gravity Mass Flows Siglufjörður, Iceland, 2019.
3. C. Jaedicke, M. Kern, P. Gauer, M.-A. Baillifard, K. Platzer. Chute experiments on slushflow dynamics. Cold Reg. Sci. Technol., 51, 156–167, 2008.
4. Y. Yamaguchi, S. Takase, S. Moriguchi, K. Terada, K. Oda, I. Kamiishi. Three-dimensional nonstructural finite element analysis of snow avalanche using non-newtonian fluid model. Transactions of the Japan Society for Computational Engineering and Science, 2017.

Межледниковье MIS11: палеоаналог современного климата?

Олег Рыбак¹⁻³, Филипп Хёбрехтс³

1. *Сочинский научно-исследовательский центр РАН, Сочи, Россия*
2. *Институт водных проблем РАН, Москва, Россия*
3. *Earth System Science and Department of Geography, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium*

Подъем уровня моря вследствие потепления климата – это одна из угроз, с которой человечеству неизбежно придется столкнуться в будущем. Фиксируемые в настоящее время и кажущиеся незначительными скорости роста, исчисляемые миллиметрами в год, к концу текущего столетия составят десятки сантиметров. Хотя разброс прогностических значений достаточно велик, не учитывать или недоучитывать последствия роста уровня моря на инфраструктуру прибрежных регионов, на экономику и социальную сферу, было бы крайне неосмотрительно.

Для оценки будущих климатических изменений на длительную перспективу, порядка сотен и тысяч лет, их механизмов и последствий, для выделения антропогенной составляющей этих изменений, целесообразно использовать аналоги текущего состояния климата в прошлом. В течение последнего миллиона лет климат Земли претерпел несколько ледниково-межледниковых циклов, однако лишь межледниковье, часто обозначаемое как Marine Isotope Stage 11 (MIS11), можно рассматривать в качестве полноценного кандидата на роль палеоаналога современного межледниковья (голоцен). MIS11 считается самым длинным межледниковьем плейстоцена, длительностью 60 тысяч лет (420-360 тыс. лет назад), что значительно дольше, чем, например, более «теплое» межледниковье MIS5 (130-115 тыс. лет назад) или, чем голоцен (последние 10 тыс. лет). Считается, что длительность MIS11 объясняется, в первую очередь, низким значением эксцентриситета Земной орбиты в течение продолжительного отрезка времени. Большее, чем в голоцене, значение склонения Земной орбиты, чем объясняется пониженная инсоляция в полярных областях, компенсируется более высокой концентрацией парниковых газов.

Наиболее характерное отличие MIS11 от современного состояния Земной системы состоит в том, что средний глобальный уровень моря в течение длительного периода (вероятно, в течение нескольких тысяч лет), как считается, был выше современного. Оценки повышения уровня моря в течение MIS11 разнятся в довольно широких пределах. Наиболее обоснованным представляется диапазон от 6 до 13 м по отношению к современному доиндустриальному уровню (Raymo and Mitrovica (2012)), хотя максимальные оценки превышают +20 м (Olson and Hearty, 2008). Не смотря на продолжающиеся дискуссии о том, насколько уровень моря превышал современные отметки, понимание источников этого повышения, его механизмов, его скорости и последовательности событий, которые привели к его колебаниям, представляют несомненный интерес с точки зрения современных изменений окружающей среды. Поняв, что послужило причиной повышения уровня моря выше современных отметок приблизительно 398-408 тыс. лет назад при внешних факторах, в целом, соответствующим современным, мы сможем спроецировать события MIS11 на текущее межледниковье. Продолжительность MIS11 дает возможность построить возможные сценарии изменения глобального уровня моря в будущем.

Использование стохастического генератора погоды для моделирования поверхностного баланса массы ледника Карабаткак (Внутренний Тянь-Шань)

Олег Рыбак¹⁻³, Елена Рыбак¹, Виктор Поповнин⁴, Рысбек Сатылканов⁵

4. *Сочинский научно-исследовательский центр РАН, Сочи, Россия*
5. *Институт водных проблем РАН, Москва, Россия*
6. *Earth System Science and Department of Geography, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium*
7. *Географический факультет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*
8. *Институт водных проблем и гидроэнергетики НАН КР, Бишкек, Кыргызстан*

Стохастические генераторы погоды получили широкое распространение в науках о Земле, прежде всего в гидрологических приложениях, как мощный инструмент, позволяющий строить искусственные ряды и поля метеорологических переменных по заданным параметрам.

В настоящем исследовании рассматривается приложение известного генератора погоды WGEN(Richardson, 1981) для моделирования рядов атмосферных осадков, максимальной и минимальной суточной температуры воздуха для использования в качестве внешнего (метеорологического) форсинга в расчетах поверхностного баланса массы горного ледника Карабаткак во Внутреннем Тянь-Шане. Для конструирования генератора нами использованы данные наблюдений за температурой воздуха и осадками на метеостанциях Кызыл-Сууи Чон-Кызыл-Суу (Тяньшанский высокогорный научный центр), а также относительно короткие ряды метеонаблюдений на автоматических метеостанциях в непосредственной близости ледника.

Стохастическая модель временного хода осадков, включает описание двух случайных последовательностей: появления событий выпадения осадков и их количества. Для генерирования последовательности «сухих» и «влажных» дней (то есть без осадков и с осадками) используется дискретная марковская цепь первого порядка. Количество выпадающих осадков определяется двухпараметрическим гамма-распределением. Ряды максимальной и минимальной температуры воздуха генерируются моделью авторегрессии первого порядка, параметры которой рассчитываются по данным наблюдений.

Результаты модельных расчетов баланса массы сопоставляются с данными наблюдений. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 20-05-000681 (Эволюция оледенения Внутреннего Тянь-Шаня в условиях климатических изменений и техногенного воздействия).

Изменение поверхности ледников южного склона г.Эльбрус

*Харьковец Е.Г., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Нечелюстов С.Г., Сучилин А.А.,
Турчанинова А.С.*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

На географическом факультете МГУ имени М.В.Ломоносова составлена цифровая модель южного склона Эльбруса. Используются данные космической стереосъемки Pléiades с разрешением 0,5 м, выполненной 8 сентября 2017 г. и предоставленной ледниковой обсерваторией Pléiades Французского космического Агентства (CNES), а также данные выполненных нами полевых работ в 2017 г.: стереосъемки, осуществленной цифровой фотокамерой HASSELBLAD с «традиционного» базиса на г.Чегет, и ортофотоплана, составленного с использованием БПЛА. В районе ледников была создана сеть опорных точек, для которых с использованием дифференциального мобильного комплекса глобальной навигационной спутниковой системы определены координаты и значения высот. Предполагается, что созданная цифровая модель южного склона Эльбруса 2017 г. станет основой, с которой будут соотнесены созданные ранее планы и карты ледников Эльбруса, выполненные по разным причинам с использованием условных систем координат и высот, что и по настоящее время вызывает расхождения в интерпретации полученных в разное время и разными исполнителями данных.

Анализ цифровой модели показывает, что требуется уточнение выделения ледоразделов, установленных в 1957 г. Сравнение модели 2017 г. с моделью, составленной по материалам космической стереосъемки с разрешением 2,5 м, выполненной в 2007 г. со спутника Cartosat-1 (IRS-P5), показало, что за 10 лет в районе концов языков ледников опускание поверхности составило до 40 м. Существенное уменьшение высоты поверхности ледников прослеживается до высот 3700-3800 м. Выше 4000 м изменения практически отсутствуют. Исследуется зависимость изменений высоты поверхности от экспозиции и углов наклона отдельных частей ледников. Выявляются участки, находящиеся в равновесном состоянии. Предполагается, что ведущим фактором изменения высоты поверхности ледников южного склона является изменение радиационного баланса в районе Эльбруса.

**Новый свод правил по инженерным изысканиям для строительства в
лавиноопасных районах**

Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Глазовская Т.Г.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

ВСН 02-73, СН 517-80 – хорошо известные всем лавинщикам аббревиатуры названий нормативных документов. Эти документы использовались для расчетов параметров лавин и создаваемых ими нагрузок на объекты и сослужили добрую службу при проведении инженерных изысканий в СССР и на всем постсоветском пространстве. Недостатки их неоднократно обсуждались, расчетные положения отстали от современных представлений о лавинах. При этом документы не содержали информацию о том, как проводить изыскания, получать необходимые для расчетов данные.

Задача создания документа, содержащего требования к составу, объёмам, методам изучения и оценке лавинной опасности для всех стадий жизненного цикла зданий и сооружений, в том числе: методам картографирования лавинной опасности, масштабам и содержанию карт лавинной опасности, методологии и методикам расчёта динамических параметров снежных лавин, основанным на современном опыте лавинных исследований, была поставлена перед коллективом сотрудников географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова. 20 июня 2019 г. был введен в действие СП 428.1325800.2018. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства в лавиноопасных районах. Общие требования.

О том как проходила работа над созданием документа, какие материалы легли в основу содержательной части СП, структуре и основных положениях документа будет рассказано в докладе.

**Биолабильное растворенное органическое вещество подземных льдов
термоденудационного обнажения (центральный Ямал)**

Семенов П.Б.¹, Малышев С.А.¹, Шатрова Е.В.¹, Некрасов Д.Ю.², Лейбман М.О.^{2,3},
Кизяков А.И.⁴, Ваништейн Б.Г.¹

¹ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург

²Институт криосферы Земли, Тюменский научный центр СОРАН, Тюмень

³Тюменский государственный университет, Тюмень

⁴Географический факультет, Московский государственный университет, Москва
им.М.В.Ломоносова. petborsem@gmail.com

В этой работе предпринята попытка изучения состава и биогеохимических особенностей растворенного органического вещества (РОВ) в 12 образцах подземного льда, отобранного из стенки термоцирка, расположенного в районе стационара «Васькины Дачи» на центральном Ямале.

Нами изучено распределение ряда ключевых параметров цикла углерода и азота, а также закономерности изменения группового состава РОВ в водных фильтрах расплавов льда. В качестве маркеров биолабильного РОВ мы использовали максимумы флуоресценцентной эмиссии аминокислот (АК), тирозина (Фтир) и триптофана (Фтрп) на 3D спектрах матричной флуориметрии (ЕЕМ), которые образуют протеиноподобное РОВ (ПРОВ). Эти флуорофоры демонстрируют содержание свободных АК и растворенных белков, поступающих из отмирающей биомассы, причем флуоресцентная эмиссия триптофана обычно ассоциирована с высокомолекулярными полипротеинами (Yamashita et al., 2015).

Среднее содержание растворенного органического углерода (РОВ) в проанализированных образцах (7,5 мг/л) достаточно высокое и соответствует литературным данным по подземным льдам из различных локаций высокоширотной Арктики (Fitz et al., 2015). Максимальное значение РОУ отмечено в пробе пластового льда 17-06 (13,3 мг/л) и совпадает с максимумом растворенного неорганического азота (РНА), (4,5 мг/л). Для образца 17-06 характерны высокие значения эмиссии тирозина (Фтир=154 Е.Ф.) и триптофана (Фтрп=85 Е.Ф.), что говорит о высоком содержании ПРОВ, содержащем белки и свободные АК. Обогащение поровой воды NH_4^+ (доминирующего в составе РНА) связано с микробиологическим дезаминированием АК, образующихся при ферментативном гидролизе белков. Таким образом, прослой пластового льда, представленный образцом 17-06, при оттаивании обеспечит одновременное высвобождение в поток талых вод большого количества высоколабильного РОВ и биодоступного азота. В образце полигонально-жильного льда (ПЖЛ) 17-02 повышенному значению РОУ (10,55 мг/л) сопутствует низкое содержание РНА (0,6 мг/л). Групповой состав РОВ представлен биохимически инертными гуминовыми кислотами (ГК) (ФГК=576 Е.Ф.). Таким образом РОВ образца 17-02 будет разлагаться медленнее, чем РОВ образца 17-06, несмотря на близкие значения РОУ (Shirokova et al., 2019). В сравнении с образцами 17-06 и 17-02, образец 17-12 обеднен РОУ (5,49 мг/л) и РНА (0,3 мг/л). По составу РОВ этого образца не обнаруживаются ГК, а пик флуоресценции тирозина (Фтир=85,4 Е.Ф.) свидетельствует о высоком содержании низкомолекулярного ПРОВ. Значение индекса флуоресценции (FI=2) соответствует автохтонному генезису РОВ, которое в силу высокой биолабильности станет предпочтительным субстратом для микробиоты при его мобилизации в биогеохимический цикл. Исследования, сочетающие использование интегральных биогеохимических показателей с данными по групповому составу РОВ, существенно расширяют представления об ОВ криолитозоны. Содержание биолабильного РОВ в пробах подземных льдов информирует о потенциале ОВ к генерации парниковых газов после его мобилизации в биогеохимический цикл.

Баланс массы ледника Левый Актру, Алтай

С.С. Кутузов¹, А.А. Ерофеев², И.И. Лаврентьев¹, А.М. Смирнов¹, С.Г. Копысов², З.Р. Аббасов², К.А. Никитин², Н.В. Коваленко³, Е.И. Успенская³.

1-Институт географии РАН

2-Томский государственный университет

3-Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Темпы сокращения ледников в конце 20 - начале 21 века существенно возросли практически во всех горных районах мира. С середины XX века площадь ледников Горного Алтая уменьшилась примерно на 30%, при этом, темпы сокращения в последнее десятилетие возросли вдвое. Ледники Актру входят в число опорных ледников (Малый Актру с 1962 года, Левый Актру и Водопадный с 1977 года) Всемирной службы мониторинга ледников (WGMS). К сожалению, программа мониторинга ледников Актру была приостановлена в 2012 году. Огромная территория Северной Евразии в настоящее время не представлена данными прямых измерений ледников. Результаты глобальных и региональных прогнозов изменения ледников не могут быть верифицированы.

Мы представляем первые результаты измерений баланса массы на леднике Левый Актру, восстановленных в 2019 году. В ходе экспедиций в мае и сентябре 2019 г. был выполнен комплекс работ для возобновления ряда наблюдений за балансом массы ледника. Создана сеть реек для измерения таяния. Было установлено 13 реек проведена подробная снегомерная съемка, толщина снега была измерена по всей площади ледника (до высоты 3600 м) в более чем 300 точках, измерения плотности снега выполнены в 8 шурфах. Подробные измерения дополненные данными АМС, позволили рассчитать баланс массы составивший -425 мм в экв. в 2018/19 и впервые за 8 лет предоставить данные WGMS. Толщина льда и рельеф ложа определены с помощью георадара. Кроме того, за период с 2000 по 2019 оценены изменения массы ледника геодезическим методом с использованием SRTM-X и Pleiades DEM. Ледник претерпел существенные изменения, на языке понижение поверхности достигает 60 м. В тоже время площадь ледника сократилась незначительно (0,15 км²). Стереопара Pléiades, использованная в этом исследовании, была предоставлена инициативой Французского космического агентства (CNES) «Наблюдения за ледниками Pléiades».

Оценка параметров снежных лавин в Российской Арктике
Сократов С.А., Турчанинова А.С., Селиверстов Ю.Г.
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Снежные лавин встречаются на всех островах Российской Арктики, имеющих расчленённый рельеф — на Земле Франца-Иосифа, Новой Земле, Северной Земле и в горах о. Врангеля; в горах Кольского полуострова; на Полярном Урале; в горах Путорана и Бырранга; в горах Северо-Востока России. Случаи гибели местных жителей и туристов в лавинах в Арктической зоне России регулярно происходят в Хибинах, отмечены в Мончетундре, Ловозерских тундрах, в Мурманске, на Полярном Урале, на плато Путорана, в Эгвекиноте. Обрушения лавин происходят в черте г. Кировск, в районе г. Норильск. Разрушение инфраструктуры отмечалось в г. Кировске, г. Талнахе, в посёлках Эгвекинот, Провидения, Беринговский. Лавины оказывают негативное влияние на работу предприятий в Хибинах, на плато Путорана и Чукотке. Лавины сходят на автодороги Иультин–Эгвекинот, Провидения–Урелики, Провидения–Новое Чаплино и расположенные вдоль них линии электропередачи. Промышленное освоение новых территорий в Российской Арктике, для которых данных прямых наблюдений просто не существует, требует осмысления применимости существующих алгоритмов расчёта основных параметров лавин в арктических условиях. Большинство эмпирических формул, используемых для расчётов параметров снежных лавин на всей территории страны основаны на статистике, собранной до 1970-х гг., хотя и в значительной степени не посредственно в Арктике (Хибины). В работе выполнена оценка динамических параметров снежных лавин заданной обеспеченности (объёмов, дальности выброса, скорости и давления), определяющих характер их влияния на инфраструктуру горных районов Российской Арктики. Выполненная оценка основана на: положениях новых нормативных требований РФ (СП 428.1325800.2018); использовании разнообразных эмпирических зависимостей; применении двумерной модели движения лавин RAMMS; программировании. На примере Хибин выполнена оценка точности полученных результатов на основе сопоставления расчётных значений с данными фактических наблюдений (с конца 1930-х гг. уже по настоящее время, 2019 г.). Многочисленные объекты инфраструктуры (как промышленной, так и рекреационной) в Российской Арктике расположены в лавиноопасных зонах. По нашим расчётам установлено, что при образовании лавин редкой обеспеченности эти объекты не смогут выдержать возможные нагрузки от лавин.

Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ № 18-05-60080 «Опасные нивально-гляциальные и криогенные процессы и их влияние на инфраструктуру в Арктике».

Необычно ли современное отступление ледников в масштабах голоцена?

О.Н.Соломина

Институт географии РАН

Новые методы датирования ледниковых отложений, в частности, методы космогенных изотопов и оптико-стимулированной люминесценции, открывают широкие возможности для определения возраста ледниковых отложений и форм рельефа и позволяют достичь нового уровня знаний в области палеогляциологических реконструкций. В докладе будут рассмотрены современные представления о колебаниях ледников в голоцене в Альпах, в Скандинавии, на Алтае, Кавказе, в горах Северной и Южной Америки. Масштабы и скорости отступления ледников для нескольких временных интервалов голоцена и в особенности, для последнего тысячелетия, будут сопоставлены с аналогичными характеристиками процессов, происходящих в 20-м-начале 21-го века. Будут рассмотрены возможные причины колебаний ледников в прошлом и в эпоху современного потепления. Работа выполнена по Госзаданию и по Гранту РФФИ 19-17-00179 «Ледниковая история и катастрофические процессы на Русском Алтае в позднем плейстоцене – голоцене».

Георадиолокация как эффективный метод выявления ледниковых трещин вблизи инфраструктуры РАЭ

Суханова А.А.¹, Попов С.В.^{2,1}, Кашкевич М.П.¹

¹- Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²- Полярная морская геологоразведочная экспедиция, Санкт-Петербург, Россия

При проведении транспортных операций в районах российских антарктических станций и полевых баз важную роль играет безопасность при эксплуатации аэродромов и трасс в районах шельфовых и выводных ледников. Последние, ввиду своих динамических особенностей, подвержены активному образованию трещин, что нередко становилось причиной аварий на станциях. Трещины, к тому же, зачастую занесены снегом, так что важной задачей в рамках обеспечения безопасности является дистанционное выявление разрывных нарушений в леднике. С этой задачей достаточно эффективно справляется такой метод геофизики как георадиолокация. В настоящем докладе представлен обзор георадарных исследований с целью поиска опасных трещин в рамках проведения работ Российской антарктической экспедиции (РАЭ).

Первые опытно-методические работы по выявлению неоднородностей в леднике были выполнены в течение полевого сезона 60-й РАЭ (2014/15 гг.) вблизи станций Прогресс и Мирный. Работы включали в себя исследования на модельном объекте, а также зондирования трещин на различных частотах с целью детального изучения отраженного сигнала. В дальнейшем результаты этих работ стали основой для проведения комплекса гляцио-геофизических исследований в районе станции Мирный в период 60–62-ой РАЭ (2014/17 гг.). Изыскания были направлены на поиск безопасного участка ледника с целью организации аэродрома для самолетов на лыжном шасси. Как результат, уже в начале 2017 г. на посадочной площадке был осуществлен приемсамолета ВТ-67 «Турбобаслер». Кроме того, начиная с сезона 62-й РАЭ, в районе станции проводятся георадарные исследования по поиску зоны «голубого льда», пригодной для приема самолетов на колесном шасси.

К гляцио-геофизическим изысканиям в целях обеспечения безопасности транспортных операций следует отнести и удачный опыт георадарных работ в районе станции Прогресс в сезон 63-й РАЭ (2017/18 гг.). Исследования были направлены на организацию новой всесезонной трассы, так как участок старой дороги был разрушен огромным провалом в леднике. В ходе работ безопасным для проезда был определен участок в обход провала, после чего новый маршрут трассы был обвехован, укатан и введен в эксплуатацию.

Успешными георадарными работами можно назвать и исследования в сезон 64-й РАЭ (2018/19 гг.) в районе отечественной полевой базы Оазис Бангера, где подготовка посадочной площадки предполагается на льду эписельфового залива. В этом случае, важность исследований была обусловлена не только выявлением нарушений сплошности льда залива, но и определением его мощности.

И, наконец, обширный и достаточно успешный опыт георадарных работ по поиску трещин был применен в сезон 65-й РАЭ (2019/20 гг.) в рамках работ вблизи станции Русская, где целью проводимых исследований также являлся поиск безопасной площадки для организации ВПП. Результатом этих исследований должна стать посадка самолета типа ВТ-67 в декабре 2020 г.

Позднеплейстоценовые криогенные горизонты в центре Русской равнины

Сычева С. А.

*Институт географии РАН. Старомонетный пер., 29. Москва. 119017. Россия,
sychevasa@mail.ru*

Наиболее суровые климатические условия за последние 140 000 лет были характерны для московского (МИС 6) и валдайского оледенений (МИС 5d-2). В эти эпохи в зонах распространения многолетней мерзлоты на Русской равнине формировались крупные криогенные структуры (элементы криогенной морфоскульптуры), которые после таяния подземного льда трансформировались в псевдоморфозы. Они осваивались флювиальными процессами, приведшими к образованию эрозионной сети.

В межледниковье, как в микулинское, так и в голоцене, перигляциальная эрозионная сеть трансформировалась в межледниковую эрозионную систему, состоящую из балок, ложбин и оврагов. Во второй половине микулинского межледниковья, характеризующейся похолоданием климата, возникало глубокое сезонное промерзание почв, следы которого в виде небольших клиньев сохранились на склонах и в днищах погребенных балок, позже преобразованных в склоновые и донные промоины. Сложная история криогенная в позднем плейстоцене начинается с первого ранневалдайского стадия (МИС 5d) – сеймский криогенный горизонт (КГ). Первые мерзлотные признаки (грунтовые жилы и пластичные деформации) появились в это время в особых местных условиях (на склонах северной и восточной экспозиции балок). Второй стадия раннего валдая (МИС 5b) был менее холодным (млодательский КГ). Последний ранневалдайский стадия (МИС 4) отличался суровым климатом, благоприятствовавшим возобновлению многолетней мерзлоты в исследуемой зоне. Существование многолетней мерзлоты подтверждается формами и размерами псевдоморфоз и постшлировой текстурой, относящейся к селиховодворскому лессу (селиховодворский КГ). Несмотря на относительно теплый климат средневалдайского мегаинтерстадия (МИС 3), условия для промерзания почв и осадочных пород появлялись, по меньшей мере, дважды, но за столь длительный период времени (68-24 тыс. лет) эти явления могли происходить чаще (тускарский КГ). Самый холодный этап – поздневалдайский стадия (МИС 2), разделен кратковременными потеплениями. Таким образом, ранний и средний валдайские интервалы имеют сложную структуру, выражающуюся не только в увеличении количества интерстадиалов, отраженных разновозрастными палеопочвами, но и холодных интервалов, зафиксированных в разных посткриогенных структурах и текстурах – криогенных горизонтах. Каждый из этих интервалов включает в себя два (возможно, больше) межстадиальных горизонта, которые связаны с периодами глубокого сезонного промерзания. В валдайское раннеледниковье выделены три криогенные стадии, которым соответствуют сеймский, млодательский и селиховодворский криогенные горизонты. Последний отличался наиболее суровыми климатическими условиями. Средневалдайский мегаинтерстадия имеет не менее двух криогенных стадий (тускарские КГ 1 и 2). В поздневалдайский интервал зона многолетней мерзлоты пород не менее, чем дважды, расширяла свои границы, продвигаясь на юг (владимирский и ярославский КГ).

Ice drilling systems: recent status and future development

Talalay P.G.

Polar Research Center, Jilin University, Changchun, China

Ice drilling systems are used for scientific, not-for-profit purposes and are oriented on the long-term study of physical and chemical processes in Polar Regions, Earth's climate changes in the recent past and the reasons for such changes, and other questions of natural sciences. Depending on the nature of the ice disintegration at the borehole's bottom, all developed methods of ice drilling can be divided into mechanical, thermal, and thermo-mechanical. The last method has never been used in the practice of drilling operations on the glaciers, although there are few concepts relating to the development of thermo-mechanical drills for making holes in the ice.

Depending on drilling ability and performance, mechanical drilling tools are divided into following groups: (1) hand- and power-driven portable drills; (2) conventional machine-driven rotary drill rigs; (3) flexible drill-stem drill rigs; (4) cable-suspended electromechanical drills. In turn, thermal drilling tools can be divided into: (1) hot point drills; (2) electric thermal coring drills; (3) hot-water drilling systems; (4) steam drills; and (5) flame-jet drills. Some of listed-above methods are not in use now because of serious shortcomings, others proved quite effective. Benefits and drawbacks of different ice drilling technologies are discussed and set forward in the report.

In order to solve various drilling limitations and ice drilling problems such as low drilling efficiency of deep electromechanical drilling, high power consumption of hot-water drilling systems, borehole and core contamination, the new unconventional drilling concepts are essentially need to develop. It is expected that new drilling concepts could allow much higher rate of penetrations, thereby reducing overall drilling time. At the same time, advanced ice drilling systems would be lighter, cheaper and more environment-friendly. Specific challenges related to developing new emerging technologies include following research trends: (1) thermal drilling with recoverable sondes for environmental exploration of subglacial lakes; (2) rapid ice drilling with continual air transport of cuttings and cores; (3) under-ice-shelves hot-water ice-coring drilling using autonomous underwater vehicles; (4) laser drilling. The report presents also possible ways and recent state of developing these advanced ice drilling systems.

Недооценка скорости снегонакопления в Центральной Антарктиде (станция Восток)

Н.А. Тебенкова^{а,б}, А.А. Екайкин^{а,б}, В.Я. Липенков^а, К.Б. Чихачёв^а, А.Н. Верес^{а,б}.*

^аАрктический и антарктический научно-исследовательский институт, 199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 38

^бИнститут наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, 199178, Санкт-Петербург, 10-я линия В.О., д. 33

**e-mail: natebenkova@aari.ru*

Снегомерные наблюдения являются неотъемлемой частью расчёта баланса массы Антарктического ледникового щита. Ввиду уплотнения снежной толщи, значения скорости снегонакопления оказываются систематически занижены. Нами были разработаны два метода для расчёта соответствующей поправки в данные снегомерных наблюдений на полигоне станции Восток. Первый метод основан на применении "закона Зорге" для расчёта скорости сжатия слоёв снега по данным о вертикальном профиле плотности снежной толщи, а второй - на прямом инструментальном измерении этого сжатия в полевых условиях. Мы также привлекли еще два независимых метода для оценки скорости снегонакопления в районе станции Восток - геодезические данные о скорости погружения слоёв снега и гляциологические данные по снежным шурфам. Наиболее достоверная оценка скорости снегонакопления в данном районе составила $2,26 \pm 0,10$ г см⁻² год⁻¹, что на 8 ± 4 % больше, чем по нескорректированным результатам снегомерных наблюдений.

Geodetic mass balance of western Gronfjord glacier (Spitsbergen) in 2015-2019

A.V. Terekhov, K.V. Romashova, V.E. Demidov, I.S. Ezhikov, S.R. Verkulich
Federal State Budgetary Institution «Arctic and Antarctic Research Institute»

The annual mass balance of 18 km² Western Gronfjord glacier, located to the south from Barentsburg town (Svalbard archipelago) has been uninterruptedly measured since 2014/2015 by glaciological method. Until now, uncertainty assessment of reported values was never evaluated. Therefore, systematic errors could accumulate linearly with time in glaciological mass balance series. In order to identify and estimate this error, we computed cumulative mass loss in 2015-2019 using geodetic approach.

Geodetic mass balance was calculated based on the difference between results of topographic survey of the August 2019 (end of ablation season) and ArcticDEM fragment for 20 July 2015. Vertical reference of used ArcticDEM strip was adjusted based on several ground control points on a stable ground, measured in situ. Total volume change was translated to the mass loss by using ice density of 0.880 kg m⁻³ to provide comparability with earlier published results of glaciological investigations from neighboring Eastern Gronfjord glacier [1]. Contribution of a snow cover, which existed in 2019 on the 20% of glacier surface, was estimated based on snow survey data of preceding spring. Calculated mass loss of Western Gronfjord glacier for the period from 20 July 2015 to the 15 Aug 2019 equals 111.0±5.0 Mt.

Cumulative mass balance from direct measurements of ablation stakes, drilled along a longitudinal profile, is available for nearly the same period (starting from 25 July 2015) and is partly reported (balance years 2016/2017–2018/2019) in [2]. After revising these results using updated topographic data, and adding unpublished observations of years 2015 and 2019, we estimate cumulative loss value to be 103.3 Mt, which tends to be about 7% smaller than geodetic value. Considering uncertainty interval of geodetic balance, the results demonstrate a close agreement, and reanalyzed glaciological mass balances must be largely free of systematic errors. However, stronger uncertainty assessment for direct measurements is still needed.

references

1. Chernov R.A., Kudikov A.V., Vshivtseva T.V., Osokin N.I. Estimation of the surface ablation and mass balance of Eustre Grønfyordbreen (Spitsbergen). *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2019. 59 (1): 59–66. [In Russian]. doi: 10.15356/2076-6734-2019-1-59-66
2. Sidorova O.R., Tarasov G.V., Verkulich S.R., Chernov R.A. Izmenchivost poverkhnostnoy ablyatsii gornyykh lednikov Zapadnogo Shpitsbergena (Surface ablation variability of mountain glaciers of West Spitsbergen), *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2019, 65 (4): 438–448. [In Russian]. doi: 10.30758/0555-2648-2019-65-4-438-448.

Метеорологические факторы интенсивного сокращения горного оледенения Алтая в XX-XXI вв.

Торопов П.А.^{1,2}, Алешина М.А.², Носенко Г.А.², Хромова Т.Е.², Никитин С.А.²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии

²Институт географии РАН, отдел гляциологии.

В последние десятилетия отмечается стремительное сокращение оледенения по всем горно-ледниковым районам мира, тренд которого колеблется в пределах 0.5 -1 %/год. Это вызывает ряд серьезных проблем (от нехватки питьевой воды в ряде регионов, до увеличения риска опасных гидрологических и геоморфологических процессов). Изменение площади горного оледенения существенно влияет на гидрологический и метеорологический режим целых регионов. Поэтому изучение физических механизмов деградации ледников в различных регионах планеты является актуальной проблемой. В рамках данного исследования на основе анализа космических снимков CORONA (1968 г.), ALOS PRISM (2008 г.) и SENTINEL (2017) была выполнена оценка трендов площади горного оледенения высокогорных районов Алтая. Показано, что за последние 50 лет площадь ледников сократилась примерно на 25 %, такие изменения можно назвать катастрофическими. Анализ трендов основных метеорологических величин на основе станционных данных и результатов реанализа ERA-Interim показывает, что статистически значимое потепление в регионе происходит только в теплое полугодие, при этом величина тренда не превышает 0.5 °C/10 лет. Статистически значимых изменений осадков не выявлено. Физически обосновано, что изменения температурно-влажностного режима не могут быть причиной столь стремительного сокращения оледенения. Дегляциация Алтая скорее всего связана со статистически значимым ростом радиационного баланса за счет приходящей коротковолновой радиации (8 Вт/м² за 10 лет), который в свою очередь хорошо согласуется с отрицательным трендом облачности и увеличением дивергенции влаги. Эти тенденции в свою очередь тесно связаны с положительным трендом геопотенциала в средней тропосфере и ослаблением зональной циркуляции. Эти изменения крупномасштабной динамики атмосферы, по всей видимости являются откликом на стремительный рост теплосодержания атмосферы над Арктикой, вследствие которого происходит уменьшение межширотного градиента температуры, и, соответственно, ослабление западного переноса. Такая циркуляционная обстановка благоприятствует формированию длинных стационарных волн в атмосфере, что выражается в увеличении повторяемости блокирующих антициклонов над Северной Евразией. Это вызывает уменьшение облачного балла, что в летние месяцы приводит к статистически значимому росту радиационного баланса и в итоге стремительному таянию горных ледников на Алтае. Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 20-05-00176.

Забуривание дополнительного ствола 5G-5 на станции Восток для получения параллельного керна древнего льда

*Туркеев А.В.¹, Васильев Н.И.², Липенков В.Я.¹, Большунов А.В.², Екайкин А.В.¹,
Дмитриев А.Н.².*

1. Арктический и антарктический научно-исследовательский институт.

2. Санкт-Петербургский горный университет.

Недавние исследования показали, что атмосферный лед, залегающий на станции Восток между 3318 и 3538 м, датируется возрастом более 1,2 млн. лет (Липенков и др., 2019). В рамках инициативы VOICE (Vostok Oldest Ice Challenge) в сезоне 2018/19 года на глубинах 3266-3291 м было произведено новое отклонение от основного ствола 5G-1 с целью получения параллельного керна древнего льда. Операция отклонения была выполнена с использованием стандартного электромеханического снаряда КЭМС-132, используемого для глубокого бурения ледника на станции Восток, без существенных изменений в его конструкции. В данной статье описан метод и алгоритм выполнения работ для получения керна на заданной глубине в дополнительном стволе скважины, которые предполагают использование электромеханического снаряда на грузонесущем кабеле. Представлена конструкция буровой коронки, используемая при выполнении забуривания дополнительного ствола скважины. Описаны и обсуждены эксплуатационные характеристики и опыт бурения двух боковых стволов 5г-2 и 5г-5 на станции Восток.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ 181700110

Оценка лавинного питания горных ледников: методика и результаты
*Турчанинова А.С., Сократов С.А., Селиверстов Ю.Г., Петраков Д.А., Лазарев А.В.,
Баикова Е.И.*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Лавинное питание — один из наименее изученных компонентов приходной составляющей баланса массы ледников. Методики количественной оценки лавинного питания ледников до сих пор находятся в разработке, что связано с недостатком фактических данных о снежных лавинах и невозможностью их получения для большинства горных ледников. В работе предложена новая методика количественной оценки лавинного питания горных ледников, основанная на анализе рельефа (ЦМР) и данных метеорологических наблюдений с использованием методов геоинформационного картографирования и математического моделирования. Предлагаемая методика включает в себя следующие этапы: анализ рельефа; анализ данных метеорологических наблюдений; оценку объёмов снежных лавин в заданный балансовый год; математическое моделирование снежных лавин с использованием программы RAMMS; оценку доли лавинного питания в зимнем балансе массы ледника. Предложенная методика апробирована на трёх ледниках (Западный Суёк, № 354 и Карабаткак), расположенных во Внутреннем Тянь-Шане, и применена к леднику Колка, расположенному на Центральном Кавказе. Для оценки вклада лавин в питание ледников реконструированы зоны зарождения лавин, а также толщина снега в них. Выполнено математическое моделирование лавин из выделенных лавинных очагов с использованием программы моделирования снежных лавин RAMMS. На основе предложенного подхода в результате моделирования лавин восстановлены поля лавинной аккумуляции на исследуемых ледниках без проведения детальных снегомерных съёмок. Результаты моделирования сопоставлены с данными полевых наблюдений и ортофото, полученных с БПЛА. Границы лавинных отложений удовлетворительно воспроизведены в программе RAMMS в соответствии с данными полевых обследований. Для исследованных в работе ледников Внутреннего Тянь-Шаня, окружённых склонами с небольшими перепадами высот и значительной долей фирново-ледяной облицовки, полученные значения лавинной аккумуляции (до 10% в зимнем балансе массы) сопоставимы с погрешностями вычисления зимнего баланса массы ледников и, таким образом, лавины не играют определяющей роли в их питании. Напротив, лавинное питание играет определяющую роль в приходной составляющей баланса массы (порядка 80%) и восстановлении ледника Колка. Сопоставление результатов расчётов объёмов лавинного снега, выносимого на ледник Колка, с данными по изменению его объёма, позволяет прийти к выводу, что доля лавинного питания в зимнем балансе массы будет уменьшаться по мере заполнения цирка льдом. Выдвинута гипотеза о том, что баланс массы ледников с доминирующим вкладом лавинного питания в условиях потепления климата может оставаться более положительным, чем у ледников без значимого лавинного питания. Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ № 18-35-00419 «Исследование вклада снежных лавин в питание ледников при недостатке данных прямых наблюдений».

Расчет режимных характеристик дрейфа айсбергов на основе численного моделирования

А. И. Тюгалева¹, Р. И. Май^{2,1}

¹Санкт-Петербургский Государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт. Санкт-Петербург, Россия

Авторами создана численная модель дрейфа айсбергов, которая может быть реализована в диагностическом и прогностическом режиме. Для расчета траектории дрейфа айсберга учитываются силы воздействия ветра, течений, морского льда, волн, градиент уровня моря и сила Кориолиса. Помимо этого, в модели учитывается возможность посадки айсберга на мель, разрушение ледяного тела под воздействием различных факторов. В данной работе модель дрейфа айсберга используется для расчёта айсберговой опасности в Карском море. Воздействие ветра и волн воспроизводится по данным атмосферного реанализа ERA5, остальные параметры (течения, морской лед, уровень моря) вычисляются на основе системы диагноза и прогноза состояния вод Северного Ледовитого океана TOPAZ4. Геометрия и масса айсбергов определяется по регрессионным уравнениям, выведенным для новоземельских айсбергов Карского моря. Места генерации айсбергов в модели соответствуют выводным ледникам Новой Земли.

Айсберговая опасность (вероятность встречи с айсбергом) определяется отношением суммарного времени нахождения айсбергов в каждой ячейке сеточной области модели к суммарному времени реализации модели. В первую очередь происходит расчет условной вероятности распространения айсбергов от мест их генерации. В модели в точке генерации (выводной ледник) всегда присутствует айсберг, т.е. если силы выносят айсберг из начальной ячейки, тона его месте помещается новый. Таким образом, формируется условие, что в ячейке, соответствующей выводному леднику, условная вероятность встречи айсберга всегда равна 1. С удалением от начальной точки этот показатель уменьшается, а его пространственное распределение обуславливается режимом гидрометеорологических условий. Поля условных вероятностей рассчитываются для айсбергов различных размеров и разных мест генерации. Полученное распределение условной вероятности умножается на вероятность появления айсберга в точке генерации, а затем поля полных вероятностей суммируются. Вероятность появления айсберга в районе ледника может быть определена по результатам анализа архивных данных авиационной ледовой разведки, с помощью спутникового мониторинга мест генерации айсберга, или же через оценки продуктивности ледника.

Для вычисления режимных характеристик дрейфа айсбергов моделируется набор траекторий за длительный отрезок времени. На основе полученного массива данных о скорости дрейфа происходит расчет среднего дрейфа, эллипсов среднеквадратического отклонения и розы дрейфа.

Полученные результаты показывают, что в юго-западной части Карского моря вероятность встречи с айсбергом увеличивается с юго-востока на северо-запад. В исследуемом регионе средний перенос айсбергов происходит преимущественно в северном и северо-восточном направлениях. При этом среднеквадратическое отклонение дрейфа существенно превосходит скорость среднего дрейфа. Полученные оценки режимных характеристик айсберговой опасности необходимы при проектировании и планировании эксплуатации гидротехнических сооружений на шельфе арктических морей.

При поддержке гранта РФФИ 18-05-60109 «Исследование процессов формирования и эволюции опасных ледовых явлений и ледяных образований в Арктике при современных изменениях климата».

Изменение ледников и речного стока Киргизии в условиях глобального потепления климата

¹Усубалиев Р.А., ¹Мандычев А.Н., ¹Осмонов А.Т., ¹Азисов Э.А., ¹Калашникова О.Ю.,

¹Кенжебаев Р.К., ¹Эсенаман уулу М., ¹Шабунин А.Г., ²Кожомкулов Э.Т.

¹Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ), г. Бишкек.

²ЗАО «КумторГолд Компании», Киргизия

Киргизия расположена в зоне умеренных широт, в центральной и недостаточно увлажненной части Евразийского материка, что предопределяет условия формирования водных ресурсов. Наличие горных сооружений Тянь-Шаня и Памиро-Алая обусловило здесь развитие современного оледенения – одной из составляющих водных ресурсов страны. Особенности строения рельефа, гипсометрии и режима увлажнения контролируют неравномерность распределения оледенения по речным бассейнам в разных районах.

Современное оледенение в горах Центральной Азии устойчиво деградирует, проявляясь в сокращении площади ледников, особенно интенсивного начиная с середины 70-х годов прошлого столетия в результате постоянного потепления приземного слоя атмосферного воздуха на фоне неоднозначных изменений количества атмосферных осадков в высокогорной зоне. По данным инвентаризации ледников Киргизии, по состоянию на 2013-2016 гг., на территории страны насчитывается 9959 ледников общей площадью 6683,9 км². По сравнению с Каталогом ледников СССР (насчитывалось 8164 ледника общей площадью 7944,2 км²), площадь оледенения Киргизии сократилась на 16 %, а сокращения площади ледников по отдельным речным бассейнам составляет от 0-10 до 47-50%.

В условиях происходящего потепления климата, увеличения испарения с поверхности почвы, небольшим понижением или стабильностью годовых сумм осадков в высокогорной зоне повышается роль ледников как источников питания рек, особенно в теплый вегетационный период года, что связано как с потребностью орошения, так и предупреждения опасных ледниковых паводков.

В этом аспекте, с учетом пространственной и временной неравномерности вклада ледниковых вод в общую водность рек, различающуюся по отдельным речным бассейнам, рассмотрены многолетние вариации общего и ледникового речного стока по отдельным бассейнам: Иссык-Кульскому, Нарынскому, Чуйскому и Таласскому.

Исследование изменения стока и метеопараметров проводилось по данным наблюдений сети Кыргызгидромета. Использовались гидрологические и климатические данные по бассейнам рек: Нарын, Талас, Ала Арча и Чон-Джаргылчак. Рассмотрены также климатические факторы, влияющие на сток исследуемых рек.

С целью выявления особенностей стока были построены разностно-интегральные кривые, на которых были проанализированы гидрологические циклы: понижение и повышение водности рек. Во внутригодовом распределении стока рек наблюдается повышение водности в месяцы таяния сезонного снега (с февраля по июнь), а в месяцы ледникового таяния (с июля по сентябрь), наоборот, наблюдается понижение стока.

При такой тенденции, максимальные значения стока в период половодья будут смещаться на более ранние сроки, и соответственно, внутригодовой режим реки будет меняться с ледниково-снегового питания на снегово-ледниковый и снеговой.

Ледовый сток как фактор загрязнения Cs-137 о. Западный Шпицберген

И.С. Усягина, Н.И. Мещеряков, Г.В. Ильин

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

В XX веке испытания ядерного оружия и сбросы радиоактивных отходов в Баренцево и Карское моря привели к повсеместному распространению в морской среде техногенных изотопов. Одним из наиболее опасных по воздействию на живые организмы радионуклидов является Cs-137. Таяние многолетних льдов и айсбергов в Арктике, накопивших Cs-137 из атмосферных выпадений после испытаний атомного оружия может привести к освобождению депонированной радиоактивности и вторичному загрязнению. Цель настоящего исследования - оценить возможное влияние ледникового стока на загрязнение Cs-137 о. Западный Шпицберген. Объектом исследования выбран ледник Грёнфьорд, в краевой зоне которого находится ледниковое озеро – Бретьёрна. Котлован водоёма сформировался 100-700 лет назад в результате экзарационной деятельности ледника Грёнфьорд. Современный вид озеро обрело приблизительно 70-80 лет назад после динамичного отступления ледника (Кокин, Кирилова, 2017). Начало формирования донных отложений озера приходится на 1940-е – 1960-е гг, этот период был максимальным по потоку атмосферных выпадений радионуклидов (Матишов и др., 2011). Согласно данным аэрофотосъемки 1936 г., ледник отступил за 84 года на 2.8-3.0 км.

Сбор материала проводился в 2017-2018 гг. На леднике Западный Грёнфьорд были отобраны пробы льда ($n=3$) и снега ($n=7$) с помощью керноотборника «Covacs» (d-150mm). В озере Бретьёрна - пробы воды ($n=3$) методом фильтрования через сорбент «анфез» и колонок донных отложений ($n=3$) гравитационной трубкой ГОИН-1.5.. Измерения выполняли в лаборатории ММБИ КНЦ РАН на γ -спектрометре фирмы Canberra (США) с детектором из чистого германия.

Керны льда (А,Б,С) отбирали в зоне границы питания ледника на полигоне площадью 25 м², затем разрезали на слои по 10 см, упаковывали в пластиковые емкости и отправляли на измерение. Мощность кернов в см составила 173 (А), 275 (Б) 213 (В). Cs-137 обнаружен только в верхних слоях ледовых колонок на горизонтах от 0-10 см (0.1 Бк/кг) до 20-30 см (0.03 Бк/кг). Максимальное содержание изотопа отмечено в керне С на горизонте 10-20 см (1.26 Бк/кг). Пробы снега объёмом 5 л на исследуемых станциях отбирались от поверхности до фирна. Мощность покрова составляла от 82 до 137 см. Концентрация изотопа в пробах со всех станций не превышала минимально детектируемую активность (МДА), регистрируемую на линии спектра 662 кЭв (< 0.01 Бк/кг). В поверхностных водах озера и реки Бретьёрна объёмная активность Cs-137 в среднем составила 0.1 ± 0.05 Бк/м³, на границе озера с заливом Грёнфьорд она повысилась до 2.5 ± 0.3 Бк/м³. Для оценки скорости осадконакопления и реконструкции радиоактивного загрязнения о. Западный Шпицберген в «ядерную эпоху» в озере Бретьёрна выполнен отбор проб колонок донных отложений в виде разреза, состоящего из трёх точек - от истока реки Бретьёрн (S1), через центр озера (S2), до приледниковой части (S3). Результаты измерений показали, что в колонке S1 и S2 максимальные уровни Cs-137 наблюдались в нижней части. В S1 на уровне 11-40 см (1.3-3.2 Бк/кг), в S2 на уровне 30-50 см (1.0-1.8 Бк/кг) и 60-70 см (3.0 Бк/кг). В колонке S3, напротив, повышение отмечено в верхней части колонки на уровне 5-11 см (1.3-1.5 Бк/кг). Полученные результаты позволили предположить, что современное радиоактивное загрязнение модельного озера Бретьёрна происходит за счет таяния льда, накопившего Cs-137 в период испытаний ядерного оружия, так как поверхностные донные отложения в колонках, отобранных в зонах, не подверженных влиянию ледников, содержат минимальные концентрации по сравнению с более глубокими слоями. Данное предположение поддерживают низкие концентрации Cs-137 в пробах снега и озерной воды ($< \text{МДА}$). Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках реализации проекта № 18-05-60249 «Радиоактивное загрязнение и вторичные источники антропогенных изотопов в морях Северного Ледовитого океана на рубеже XX–XXI веков».

Изотопный состав снежного покрова в центральной части полуострова Ямал

Н.Ю. Факащук 1, А.В. Хомутов 1,2, Ю.А. Дворников 1.

1Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия;

2Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

Изучение изотопного состава природных вод широко применяется в различных областях современной гляциологии. Изотопные методы позволяют выяснить условия формирования природных вод и, следовательно, их генезис. Мониторинг изотопного состава атмосферных осадков охватывает территорию суши неравномерно. Наименее изученными остаются труднодоступные континентальные районы полярных областей. В этих районах большая часть атмосферных осадков представлена снегом. Одним из таких районов является полуостров Ямал. Детального изучения изотопного состава снега на этой территории никогда не проводились. Это исследование частично восполнило этот пробел.

Полевые исследования проводились в марте-апреле 2017-2019 гг. Было отобрано более 50 проб в различных точках и горизонтах снежного покрова. Содержание $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ определялось в лаборатории ЛИКОС ААНИИ г. Санкт-Петербург методом масс-спектрометрии. Основные выводы по результатам исследования представлены ниже.

Изотопный состав снежного покрова варьирует в пределах от $-27,942\text{‰}$ до $-12,091$ для $\delta^{18}\text{O}$ и от $-209,037\text{‰}$ до $-107,512\text{‰}$ для δD . Среднее значение для $\delta^{18}\text{O} = -20,207\text{‰}$ и $\delta\text{D} = -152,677\text{‰}$. Уравнение регрессии для изотопов $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в снежном покрове п-ова Ямал выглядит следующим образом $\delta^2\text{H} = 6,8\delta^{18}\text{O} - 15,5$. Изотопный состав снежного покрова на центральном Ямале отличается от изотопного состава свежевыпавшего и свежего снега соседних регионов. Он имеет изотопно более тяжелый состав и большую величину дейтериевого эксцесса. Такие значения являются результатом процессов метаморфизма внутри снежной толщи. Обнаружена значительная амплитуда колебаний дейтериевого эксцесса, что говорит о различиях в условиях снегонакопления на полуострове.

Существует разница в значениях $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в верхнем и нижнем горизонтах снежного профиля. Изотопный состав нижних слоев более тяжелый и имеет большую амплитуду колебаний дейтериевого эксцесса от $-10,8$ до $16,7$. Внутри снежного профиля наблюдается изменение $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в виде изогнутой кривой и минимальными значениями в средней части профиля. Такая кривая результат процессов метаморфизма происходящих из-за температурного градиента между горизонтами снега, ветровой активности и солнечной радиации.

На изотопный состав снежного покрова нижних горизонтов влияет характер подстилающей поверхности. Снежный покров нижних горизонтов, отложенный на поверхности озёр, обладает более высокими значениями $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$. Более высокие значения дейтериевого эксцесса имеют нижние слои снега, отложенного на почвенном покрове ($12,2 > (-0,9)$).

Снежный покров центрального Ямала характеризуется более тяжелым изотопным составом, чем атмосферные осадки. Он характеризуется закономерными изменениями по снежному профилю, а значения величин $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ зависят от подстилающей поверхности.

Работа выполнена по госзаданию, согласно Плану НИР ТюмНЦ СО РАН на 2018-2020 годы, протокол №2 от 8.12.2017 (Приоритетное направление IX.135. Программа IX.135.2. Проект: IX.135.2.2.).

Моделирование и анализ микрорельефа поверхности ледников по данным беспилотной аэрофотосъемки

И.В. Флоринский¹, Т.Н. Скрытыцына², Д.П. Бляхарский³, О.Т. Ишалина³, А.С. Киселева²

¹ *Институт математических проблем биологии РАН – филиал Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Пуцино, Россия*

² *Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия*

³ *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

В гляциологических исследованиях все чаще применяется беспилотная аэрофотосъемка (БАФС). Одним из перспективных подходов является использование материалов БАФС для создания цифровых моделей рельефа (ЦМР) поверхности ледников с сантиметровым и дециметровым пространственным разрешением.

В этом году нами начаты работы по российско-китайскому проекту, целью которого является разработка теории и методики моделирования и анализа микрорельефа поверхности ледников по данным БАФС сверхвысокого разрешения. Российской стороной решаются, в частности, следующие задачи:

1. Разработка теории моделирования микрорельефа ледников по данным БАФС.
2. Разработка вычислительного геоморфометрического метода выявления ледниковых трещин по данным БАФС с применением подхода прямой геопривязки.
3. Разработка геоморфометрического метода определения горизонтальной и вертикальной скорости течения ледников по данным разновременной БАФС.
4. Проведение трехмерного моделирования поверхности ледников по данным БАФС.
5. Апробация разработанных теории и методов для анализа эволюции микрорельефа поверхности ледников.

В качестве исходных данных используются цифровые аэрофотоснимки сверхвысокого разрешения (5 см), которые были получены с помощью БАФС ледников в районе холмов Ларсеманн (Восточная Антарктида), в частности, в ходе 62-й Российской антарктической экспедиции.

Для обработки этих материалов нами применяются программные комплексы Agisoft PhotoScan Professional 1.3.2, Agisoft Metashape Professional 1.5 и Photomod 6.0. Для реализации подхода прямой геопривязки при обработке измерений бортовых ГНСС-приемников и наземных геодезических измерений нами используются программы Pinnacle 1.0, Trimble Business Center 2.0 и Magnet Office Tools 2.8. Для геоморфометрического моделирования и визуализации результатов нами применяются программы LandLord 4.0, MatLab R2008b, QGIS 3.00 и MapInfo Pro 16.0.1.

Научная значимость результатов проекта будет состоять в развитии теории цифрового моделирования рельефа и геоморфометрии в контексте гляциологических исследований. Практическая значимость результатов проекта будет состоять в возможности их использования при проведении исследований в условиях оледенения Арктики, Антарктики и высокогорья.

Работа выполняется при поддержке РФФИ и ГФЕН Китая, грант № 20-51-53016.

Исследование снежной толщи прямыми и дистанционными методами

*Фролов Д.М.¹, Энтин А.Л.¹, Комаров А.Ю.¹, Селиверстов Ю.Г.¹, Сучилин А.А.¹,
Сократов С.А.¹, Турчанинова А.С.¹, Владимирова М.Р.², Гребенников П.Б.¹*

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, ²МИИГАИК

Наземные измерения высоты снежного покрова, толщины отдельных слоев, их плотности, формы и размера кристаллов традиционно выполняются на площадке МО МГУ в траншеях с шагом 1 м и протяженностью 20 м в течение ряда лет. На основе получаемых данных производятся расчеты и строятся схемы пространственной изменчивости плотности в траншеях. Исследования проводятся четыре-пять раз за зиму (раз в месяц). Дополнительно раз в неделю описываются снежные шурфы. Результаты характеризуют снежную толщу в разные этапы ее развития. Данные о снежной толще дополняются информацией на основе исследований с помощью твердомера SnowMicropen, которые также осуществляются в каждой точке траншеи.

Зимой 2017/2018 гг. комплекс наблюдений за пространственно-временной изменчивостью снежного покрова на площадке Метеорологической обсерватории МГУ был расширен. К традиционному изучению стратиграфии снежной толщи и физико-механических свойств снега в шурфах добавилось изучение пространственно-временной неоднородности снежной толщи, которое выполнялось с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА) DJI Phantom 4 Pro и мультисистемного самообучающегося тахеометра LeicaNova MS60.

Для работ по дистанционному исследованию пространственно-временной изменчивости снежного покрова на площадке была создана сеть наземных контрольных точек с применением дифференциального GPS приемника. По данным ГНСС были определены их координаты и высоты с точностью 1 см. До установления снежного покрова мультисистемным тахеометром выполнено сканирование подстилающей поверхности, по результатам которого составлена ее цифровая модель. Результаты выполненных работ позволили получить представление о микрорельефе подстилающей снежный покров поверхности, а также были использованы при построении профилей и полей точек для изучения пространственного распространения снежного покрова.

Пять раз за зимний сезон при помощи оснащенного фотокамерой БПЛА проводилась аэрофотосъемка площадки с высоты 30 м. В результате фотограмметрической обработки массива снимков создавались карты распределения снежного покрова – значений высоты снежного покрова на поверхности площадки. Проверка результатов выполнялась с использованием повторной съемки тахеометром и наземных измерений высоты снежного покрова по профилям.

В ходе исследования установлено, что материалы съемки снежного покрова с применением БПЛА и лазерного сканера позволяют с приемлемой точностью оценивать высоту снежного покрова и получать достоверную модель снежного покрова значительных по площади участков. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №15-05-04461 и госзадания АААА-А16-116032810093-2 «Картографирование, моделирование и оценка риска опасных природных процессов».

Мониторинг изменения полигональных торфяников на границе сплошной криолитозоны в Западной Сибири на основе БПЛА-съемки

*Р.Р. Хайруллин, А.В. Хомутов, Е.А. Бабкина, Е.М. Бабкин, Н.Ю. Факашук
Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, 625000, Россия
E-mail: rustam93-93@bk.ru*

Со второй половины XX в на севере Западной Сибири продолжается активное освоение. В районах со сплошным распространением многолетнемерзлых пород (ММП) повсеместно распространены полигональные торфяники. Антропогенное вмешательство может приводить к деградации торфяных массивов, связанной с изменением разных компонентов ландшафта от растительного покрова до ММП и подземных льдов, особенно на южных границах сплошной криолитозоны. Тренд изменения климата сильнее проявляется в арктических регионах и, соответственно, оказывает влияние на ММП, как основу устойчивости северных торфяников к антропогенному воздействию.

С 2016 г в северной части Пур-Тазовского междуречья на одном из участков автодороги – подъезда к с.Газ-Сале, организован ежегодный мониторинг изменения полигонального торфяника с активно разрушающимся полигонально-жильным льдом (ПЖЛ) в результате развития процессов термоэрозии и термоденудации. Мониторинг сопровождается ежегодными БПЛА-съемками. С 2018 г для уточнения темпов вытаявания ПЖЛ торфяников изучаемого района расширяется сеть ключевых участков. Помимо климатических факторов и техногенного влияния учитывается и фактор утепляющего воздействия водных объектов. В 2019 г увеличено количество ключевых участков торфяников, непосредственно примыкающих к автодороге Заполярное-Тазовский. Использование материалов на основе повторных БПЛА-съемок высокого разрешения – цифровых моделей рельефа (ЦМР) и ортофотопланов, позволяет выявить изменения, происходящие с торфяниками на участках с разным набором влияющих на это факторов. За 2018-2019 г на наиболее подверженном разрушению ПЖЛ участке торфяника, по данным вычитания разновременных ЦМР и дешифрирования ортофотопланов, продолжилось разрушение верхней части ПЖЛ с образованием термоэрозионных промоин глубиной до 1,7 м и более на месте межполигональных понижений. Площадь термоэрозионных промоин по полигональной решетке увеличилась на 205 м² и составила 1791 м² на участке площадью 24 тыс. м². Местами глубина ранее образованных промоин относительно поверхности полигонов уменьшилась на 0,5-1,0 м, видимо в связи со сносом оттаявшего материала со стенок. Изменения рельефа фонового торфяника, расположенного в аналогичных условиях хасырея, но на значительном ($\approx 1,5$ км) удалении от автодороги, за этот же период незначительны (в виде локальных углублений межполигональных понижений до 0,5 м) и вероятно связаны с сезонной динамикой кустарниковой растительности. Оценить изменения рельефа на заложенных в 2019 г участках не представляется пока возможным без повторной БПЛА-съемки, однако по материалам съемки в июле 2019 г. заметно углубление межполигональных понижений и их затопление водой при приближении к основанию насыпи автодороги. Утепляющее влияние насыпи автодороги, в том числе в результате повышенного снегонакопления у высоких бортов насыпи, отражается и в увеличении сезонного слоя (СТС). В полосе 15-20 м вдоль насыпи глубина протаивания составляет 120-150 см и более, тогда как на остальной поверхности торфяников глубина протаивания не превышает 80 см (в среднем 48 см). Это подтверждается рекогносцировочными георадиолокационными исследованиями в 2018 г на одном из участков полигонального торфяника, пересекаемого автодорогой. Подошва СТС (или кровля ММП) в непосредственной близости от насыпи была зафиксирована на глубине 2,5 м. При этом, по прямым наблюдениям глубина протаивания составляла 120 см. Вероятно, это граница неоттаявшего на момент измерений сезонномерзлого слоя. Исследования выполняются при финансовой поддержке РФФИ и Правительства ЯНАО в рамках научного проекта № 19-45-890011.

Новый каталог ледников Алтая
Хромова Т.Е., Носенко Г.А., Никитин С.А., Муравьев А.Я.
Институт географии РАН
tkhromova@gmail.com

По данным каталога ледников СССР, оледенение Алтая в 1960-1970 гг. занимало более 1500 км². Около 800 км² оледенения в северо-восточном секторе этого горного региона было расположено в России. 78% площади оледенения расположено на Центральном Алтае в Катунском хребте, Северно-Чуйском, Южно-Чуйском и Кара-Алахинском хребтах. 13% - ледники Южного Алтая. Как и ледники других частей земного шара, ледники Алтая продолжают сокращаться.

Согласно нашим предыдущим исследованиям, общее сокращение площади ледников в хребтах Северной и Южной Чуйской области с 1952 по 2008 год составило $24,4 \pm 5,8\%$. Площадь всей ледниковой системы Катунского хребта за тот же период сократилась на 26,1%. К 2008 году площадь ледников Катунского, Северно-Чуйского и Южно-Чуйского хребтов сократилась на 172,4 км². Объем этих ледников уменьшился на 8,9 км³ или 27,4%.

В докладе представлены новые данные о российских ледниках Алтая на основе спутниковых снимков Sentinel-2, 2018/2017. В настоящее время на территории российского Алтая насчитывается 833 ледника общей площадью 491,18 км². Площадь ледников колеблется от 0,01 км² до 20,46 км² (Большой Талдуринский ледник). В докладе анализируются изменения, произошедшие с ледниками Российского Алтая с момента последней инвентаризации до 2018 года.

Различия в динамике ледников демонстрируют влияние местных морфологических и климатических особенностей на этот процесс. Важными факторами, которые следует учитывать, являются основное направление переноса влаги и экспозиция ледников. Сокращение ледников в горах Алтая согласуется с результатами долгосрочной программы измерения баланса массы на трех ледниках: Малый Актру, Левый Актру и Водопадный (ледник № 125). Эти ледники являются частью «эталонной» сети ледников, где более 30 лет проводятся измерения баланса массы в рамках Всемирной службы мониторинга ледников (WGMS 2017). Наблюдения были приостановлены в 2012 году. В настоящее время запущена программа восстановления наблюдений.

Благодарности: В статье приведены результаты, полученные в рамках исследовательского проекта № 0148-2019-0004 плана исследований Института географии Российской академии наук и проекта, поддержанного Русским географическим обществом (№ 05/2017 / РГО-РФФИ).

Опыт применения высокочастотного георадара для ландшафтной снегомерной съёмки

*Чернов Р.А., Муравьев А.Я.
Институт географии РАН. Г. Москва
chernov@igras.ru*

Толщина и плотность снежного покрова является важными физическими характеристиками, которые определяют процессы тепло- и влагообмена в зимний период. Их пространственная изменчивость на различных элементах ландшафта может быть существенной для решения ряда гляциологических, гидрологических задач и в лавиноведении. Особенно важно отметить значительную трудоемкость снегомерных работ в северных регионах с продолжительным зимним периодом и мощным сезонным снежным покровом.

Измерения толщины снежного покрова были выполнены с помощью высокочастотного георадара Пикор-Лед (многофункциональный контрольно-индикационный прибор Пикор-Лед, ТУ 6683-002-092550026-2015, предприятие-изготовитель ООО ФПК «ЭСТРА»). Прибор предназначен для бесконтактного определения толщины льда в процессе движения (центральная частота 1600 МГц). Паспортные технические характеристики позволяют измерить толщину льда и снежного покрова до 300 см с точностью ± 2 см. При определенных настройках георадара возможно определение толщины метелевых наносов мощностью до 5 метров.

Измерения проводились на различных ландшафтных участках в окрестностях г. Апатиты и г. Кировск. Для тестовых измерений снегомерной съёмки выбирались однородные участки характерные для ландшафтов Хибин: смешанный хвойно-березовый лес, болото, тундра, горный склон, горное плато, озеро. При измерениях с помощью радара проводилась регистрация пространственного положения профиля с помощью GPS-приёмника. Измерения георадаром по профилям сравнивались с измерениями снежного покрова щупом в случайных точках при условии, что величина средней ошибки измерений была меньше 10% средней по профилю толщины снежного покрова.

Опыт применения георадара Пикор-Лед показал, что наилучшие результаты при сопоставлении измерений толщины снежного покрова традиционным методом и радиолокацией были получены для открытых участков местности – горный склон, плато и тундра, где ветровое уплотнение снега существенно. При этом на нескольких участках были получены записи, где четко определялась граница плотных и рыхлых слоёв снега, что важно при обследовании горных склонов, на которых возможно образование лавин вследствие перекристаллизации слоёв снега. На участках где уплотнение снега было невелико и плотностные различия в слоях снега были небольшие (лес, болото) определение толщины снежного покрова требовало подбора настроек прибора. Во всех случаях были определены оптимальные настройки георадара и различия в определении средней толщины снежного покрова двумя методами были менее 10 %. Был разработан экспресс метод для определения средней плотности снежного покрова. Измерение средней плотности снега георадаром сравнивались с данными в шурфах. Таким образом, применение георадара дает возможность эффективно с точки зрения трудозатрат проводить измерения толщины снежного покрова и его водозапаса.

Снегомерные съёмки и обработка данных радиолокационных измерений проводились при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60067 Арктика.

Математическая модель эволюции снежного покрова SNOWMODEL.COLOR

Р.А. Чернов, С.А. Михальчук

Институт географии РАН, Г. Москва

chernov@igras.ru

Разработана математическая модель эволюции снежного покрова SNOWMODEL.COLOR, позволяющая рассчитывать послойно характеристики снежного покрова (толщина, плотность, размер кристаллов) на основе температуры воздуха, количества осадков и начальной плотности свежеснежавшего снега. Модель включает расчетный блок в виде ряда экспоненциальных функций и блок построения временного разреза снежной толщи. В модели проводится пошаговый расчет плотности каждого слоя снега и его толщины в зависимости от весовой нагрузки на слой. Изменение плотности снега в каждом слое зависит от его температуры и среднего размера кристаллов. Также модель рассчитывает рост кристаллов снега в каждом слое в зависимости от текущей плотности, предшествующего размера кристаллов снега, температуры слоя и градиента температуры в снежной толще. Таким образом, на основе математических функций реализован важный момент эволюции снежного покрова – взаимозависимость процессов уплотнения снега и роста кристаллов в условиях термоградиентного метаморфизма.

В модели учтены условия наступления оттепели: при положительных температурах воздуха верхние слои снега более интенсивно уплотняются до предельной плотности равной 0,55 г/см³. Процессы инфильтрации воды в снежную толщу имитируются достижением максимальной плотности снега и последующим таянием верхних слоев снега при положительных температурах. Расчет характеристик снежного покрова проводится от начала накопления первого слоя снега с интервалом 1 час и может быть представлен в виде таблицы для любого момента времени и стратиграфического разреза.

Входными данными модели SNOWMODEL.COLOR являются – температура воздуха, количество и продолжительность осадков, которые привязаны к временной шкале. Начальной точкой отсчета является время начала первого снегопада. При этом для каждого снегопада задается начальная плотность снега и условный размер кристаллов (зависит от типа осадков: свежеснежавший снег, метелевый снег, мокрый снег, снежная крупа). Толщина каждого нового слоя снега рассчитывается из значений начальной плотности снега и количества осадков. Загрузочный файл содержит ход температуры воздуха и режим осадков и задан в формате txt.

Блок построения временного разреза в модели SNOWMODEL.COLOR воспроизводит эволюцию снежного покрова от начала снегонакопления до интересующей даты. Результат вычислений показан в виде цветного стратиграфического разреза с интуитивно понятной цветовой схемой. Также характеристики снежного покрова (толщина и плотность слоев, размер кристаллов, температура слоев) отражаются в таблице выбранного момента времени в расчетном интервале.

Модель реализована на основе языка программирования C++, отличается высокой экономичностью компьютерных ресурсов, на экране показаны результаты расчетов для всего интервала времени (разрез) и на расчетный час (таблица), имеется возможность редактировать загрузочный файл в диалоговом окне. Модель была проверена на данных полевых исследований снежного покрова, выполненных автором в Подмосковье, Курской области, Хибинах и Шпицбергене. А также на данных опубликованных стратиграфических исследований ряда других регионов (Алтай, Якутия, Тянь-Шань). Модель не требует региональной настройки уравнений. Автор отмечает огромный вклад в создание модели талантливого программиста Сергея Михальчука, жизнь которого неожиданно прервалась в Альпах.

Тестирование модели по данным полевых измерений проводилась при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60067 Арктика.

Оценивание лавинной опасности в государственных регламентирующих документах

П.А. Черноус

*Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований,
г. Южно-Сахалинск, Россия*

В России виды деятельности, в которые входит оценивание лавинной опасности (активности) лицензируются государством, за исключением таковой при проведении изысканий для строительства, которая регулируется саморегулируемыми организациями. Но даже в этом случае, ряд нормативов и правил устанавливается государственными органами. Опыт работы по оценке характеристик лавинной опасности при изысканиях, оперативном прогнозировании и активных воздействиях для предупредительного спуска лавин показывает, что все они далеки от совершенства, а в некоторых содержатся грубые ошибки. Рассмотрены основные документы, на основании которых проводились и проводится оценка снеговых лавинных характеристик при изысканиях для строительства, а также при оперативном обеспечении безопасности. Ни в одной методике не указана точность получаемых результатов. Оценено качество методик расчёта скоростей и дальностей выброса лавин, объемов лавин, ударного давления лавин и методик прогнозирования возникновения лавин. Например, в одной из методик, которая используется почти полвека сильно занижается дальность выброса лавины, скорость лавины может занижаться в два раза, а ударное давление в четыре раза. Сейчас она уже не обязательна к применению (но и не отменена), но изыскания для многих проектов с её использованием выполнялись более сорока лет. Напрашивается вывод о необходимости пересмотра всех изысканий выполненных с её применением с соответствующими последствиями. Во всех документах, присутствует общий недостаток – многие исходные данные для расчётов определены некорректно. Допускается их неоднозначное толкование, что, естественно, сказывается на результатах. Некоторые методики основаны на неправильных допущениях и неверных интерпретациях данных. В работе приводится анализ конкретных недостатков рассматриваемых документов. Предложены возможные улучшения.

Моделирование распространения тепла при замерзании трещин

в толще холодного ледника

Черняков Г.А., Чернов Р.А.

Институт географии Российской академии наук, Москва

Выполнено моделирование температурного поля в толще холодного ледника при условии тепловыделения в процессе замерзания серии трещин, заполненных водой. Цель данного исследования – оценка влияния зоны трещин на температурное поле ледника, изучение динамики распространения тепла при различных моделях тепловыделения в трещинах.

Поверхность и ложе ледника в данной модели считаются плоскими. Зона трещин представлена серией одинаковых параллельных трещин, не достигающих ложа ледника. В начальный момент трещины заполнены водой, находящейся при температуре кристаллизации (0°C). При замерзании воды в трещинах окружающий лёд подвергается отеплению. Физические характеристики льда (плотность, удельная теплоёмкость, коэффициент теплопроводности) считаются постоянными.

Рассмотрены два режима тепловыделения в трещинах – мгновенный и постепенный. Модель импульсного источника тепла используется для описания тепловыделения при промерзании узких трещин и каналов (шириной порядка 0,01 м). Модель постепенного промерзания описывает тепловыделение в результате замерзания более крупных трещин (шириной порядка 0,1 м). В обоих случаях ширина трещин пренебрежимо мала по сравнению с размерами ледника, поэтому тепловыделение в трещинах может быть описано действием локальных тепловых источников, распределённых в толще ледника.

Температурное поле ледника рассчитывается путём решения двумерной начально-краевой задачи для неоднородного уравнения теплопроводности. Задача решается в прямоугольной области (в вертикальном сечении ледника, перпендикулярном направлению трещин). Область решения ограничена основанием деятельного слоя ледника, ложем и двумя вертикальными профилями.

В начальный момент поле температур зависит только от глубины (линейное возрастание температуры в направлении ложа ледника с градиентом $0,1\text{C}^{\circ}/\text{м}$). Величина градиента температуры получена в скважинах неглубокого бурения на леднике Восточный Грёнфьорд (арх. Шпицберген).

Заданы следующие граничные условия: постоянная температура на верхней границе области (подошва деятельного слоя); постоянный тепловой поток на нижней границе (ложе ледника); начальный линейный профиль температуры сохраняется на двух боковых границах.

В результате решения задачи определена динамика температуры в толще ледника, в частности на глубине трещин и ниже.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-05-60067 Арктика.

Эволюция представлений о взаимодействии оледенения и криолитозоны на севере Западной Сибири в плейстоцене

В. С. Шейнкман

*Тюменский индустриальный университет; Институт криосферы Земли СО РАН;
Тюменский государственный университет; Тюмень, Россия; vlad.sheinkman@mail.ru*

Долгое время в Западной Сибири применялась модель устойчивой платформы, перекрываемой в криохроны на севере ледниками. С их нагрузкой на земную кору связывали проявления тектоники, а встречаемые мерзлотные образования ассоциировали с приледниковыми явлениями. Но эта модель абстрагирована от параметров криогенно-гляциальной системы (КГС) региона, поскольку в его пространство помещены для него нетипичные обстановки. Исследования автора выявили здесь только следы глубокого промерзания земной коры на фоне саморазвития речной сети и собственно активной тектоники, когда осадки квартера представлены песчаным, большей частью, аллювием, и в него вкраплены лишь изредка валуны, принимаемые ранее, так как кристаллический фундамент лежит здесь глубоко, за морену. Оказалось, что это базальтовые породы, перенесенные, в результате обычного для рек Сибири ледово-речного разноса обломков, с правого берега Енисея через невысокий водораздел на его левобережье.

Помимо ранее приведенных фактов (Шейнкман и др., 2017, 2019), неприемлемость модели ледникового щита показывают расчёты параметров рассматриваемой КГС. Для развития щита потребовалось бы следующее. Или – полное промерзание морей на севере региона и нарастание на их замёрзшей поверхности массы льда, который в итоге лёг бы на дно и затем стал надвигаться на континент. Или – переброска вглубь Сибири большого количества влаги в криохроны, чтобы в невысоких, окружающих регион, горах могли формироваться активные энергичные ледники. Отталкиваясь от современности, как от типичного термохрона, оба сценария отвергаются. За типичный криохрон лёд на море, согласно пошаговому решению задачи Стефана, мог здесь максимально нарасти лишь до первых десятков метров. Этого недостаточно даже для его посадки на шельф. Не реальна, по условиям общей циркуляции атмосферы, и переброска вглубь Сибири в условиях криохрона огромного, требуемого для развития ледникового щита, влаги. Тогда как горы, окружающие регион, невысоки, лежат более чем на 1 км ниже климатической снеговой линии, и в лучшем случае с них могли бы спускаться локальные долинные ледники.

С другой стороны, постоянно встречаемые в регионе следы глубокого промерзания горных пород – полигонально-жильные структуры (ПЖС) – некоторые исследователи также пытаются интерпретировать как факт присутствия ледникового щита. Например, в (Зыкина и др., 2017) ПЖС в Принадымье, с характерными признаками псевдоморфоз по полигонально-жильным льдам (ПЖЛ) (Шейнкман и др., 2017; 2019) отмечены как первично-песчаные жилы (ППЖ) – элемент систем, встречаемых только в Антарктиде, в холодных и сухих долинах Мак-Мёрдо, окружённых ледниковым щитом. Обоснование – описанные ПЖС узкие и с преимущественно песчаным телом. При этом упущено из виду, что, даже в самый холодный криохрон МИС2, Принадымье и сопредельные с ним районы, были ареалом ПЖЛ, а не ППЖ. Все ПЖС представлены здесь вторично заполненными формами в виде вложенных друг в друга, характерных для Принадымья клиновидных, тел – псевдоморфозами по ПЖЛ. Встречаются среди них структуры не только в полметра, но и в несколько метров шириной, и показательно при этом, что серии клиньев окаймлены ясно выраженными гидроморфными палеопочвами, что невозможно в случае геосистем внутриантарктических, в составе которых встречены лишь зародышевые почвы.

Как видим, взятие внешних черт отдельных, не свойственных Западной Сибири геосистем, и перенесение их на системы иного типа и ранга, приводит к некорректному выводу о развитии, в плейстоценовом прошлом региона, покровно-ледниковых КГС.

Ледокаменные потоки – гляциологические и геокриологические аспекты исследования и терминологии

В. С. Шейнкман

Тюменский индустриальный университет; Институт криосферы Земли СО РАН;
Тюменский государственный университет; Тюмень, Россия; vlad.sheinkman@mail.ru

В последнее время о ледокаменных потоках идёт острая дискуссия – особенно в связи с их использованием в качестве индикатора изменений климата. Это важные, с точки зрения гляциологии и геокриологии явления, и на наш взгляд проблема состоит в некорректной подстановке параметров одних порождённых холодом систем на вход систем иного типа и ранга. Движение насыщенных льдом грунтов и обломочного материала нередко в области развития ледников и мерзлых толщ, и в составе гляциальных и криолитогенных систем часто возникают генетически отличные, но внешне схожие объекты. Они различаются по происхождению, характеру вовлекаемых в движение обломков и типу включений льда, и, входя в состав генетически разных систем, требуют, при их изучении, тщательного анализа связываемых с ними обстановок, чтобы не дать им некорректную оценку, что не всегда просто из-за порой внешней схожести объектов.

В случае мерзлотного генезиса, как элементы криолитогенных систем сомнению ледокаменные потоки не подвергаются. Споры возникают, когда, нарушая генетическую иерархию геосистем, потоки мерзлотного генезиса называют каменными глетчерами, приравнивая их тем самым к ледниковым явлениям. Глетчер – немецкоязычное название ледника. Сочетание *каменный глетчер* стало активно применяться в нашей литературе к насыщенным мореной ледникам после публикаций М. И. Ивероновой (1950): она термин *глетчер* привычно использовала в значении *ледник*, что в то время в отечественной науке было принято. Терминологическая комиссия Гляциологической ассоциации РАН позднее рекомендовала термин *глетчер* не употреблять, и отмеченное сочетание стало звучать *каменный ледник*, что было зафиксировано в монографии ведущего специалиста в этой области А. П. Горбунова (1988). Позже он вернулся к термину *каменный глетчер*, считая его удобнее, но подчеркнул, что значение его – *каменный горный ледник* (Горбунов, 2006).

По сути, *камненасыщенные* или *моренонасыщенные* ледники (по смыслу так точнее) – это объект особых (Шейнкман, Мельников, 2019) криогенно-гляциальных систем. Тогда в основе остаётся ледниковый процесс, но со склонов к леднику, при активном снежном питании, поступает много обломочного материала, и образуется медленно движущееся ледокаменное тело, динамика которого определяется исходно снежной составляющей. Основные разработки по ним получены в Альпах (Barsch, 1996), где они типичны и получили название *rock glaciers* (англ.) и *blockgletscher* (нем.). Однако ряд авторов генетическую суть термина как *ледника* оставили в стороне и перенесли название *каменный глетчер* на ряд ледокаменных объектов криолитогенных геосистем (Романовский, 1993). Но написанное русскими буквами немецкое название ледника (*gletscher* – *глетчер*) принципиально некорректно для обозначения элементов криолитогенных систем. Некорректно это и в отношении исходно не мёрзлых или оттаявших, а затем промёрзших, оставленных ледниками морен и лежащих рядом осыпей, которые порой также называют каменными глетчерами. Тем более что перевод на общепринятый в науке английский язык слова *глетчер* даёт *glacier* – *ледник*, а обозначает тогда элементы криолитогенных, а не криогенно-гляциальных систем.

Если, исследователям где-то удобно применять термин *каменный глетчер*, нельзя забывать, что следует подразумевать под ним (Горбунов, 2006) *каменный горный ледник*, или, что более точно – *моренонасыщенный ледник*. Такие ледники – элемент криогенно-гляциальных систем, продукт конкретных условий, и главное – идентифицировать элементы геосистем, к которым они относятся, необходимо строго в соответствии с их генетической принадлежностью.

**Межгодовая изменчивость старых льдов в Северном Ледовитом океане в
современном климатическом периоде**

Юлин А.В., Миронов Е.У., Егорова Е.С., Шевелева Т.В.

ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» г. Санкт-Петербург

Ледяной покров в Северном Ледовитом океане (СЛО) является важнейшей характеристикой климатической системы «атмосфера-лед-океан».

На период максимального нарастания льда (апрель), ледяной покров СЛО состоит из старых льдов и однолетних льдов осенне-зимнего нарастания. Все эти показатели ледяного покрова хорошо определяются по данным ИСЗ и фиксируются на ледовых картах и с помощью ГИС-технологий могут быть оценены в количественном выражении.

В докладе рассматривается межгодовая изменчивость количества и распространения старых льдов в Северном Ледовитом океане в современном климатическом периоде.

Общее уменьшение площади ледяного покрова в СЛО, которое отмечается целым рядом исследователей, отражается на балансе старых и однолетних льдов в общей площади льдов. Рядом исследователей установлено, что после 2007 г. в балансе льдов в СЛО стали преобладать однолетние льды. Анализ данных по возрасту льдов в СЛО, с учетом выноса ледяного покрова через пролив Фрама, позволил уточнить соотношение льдов. Установлено, что процесс выравнивания количества старых и однолетних льдов начался с 90-х годов прошлого столетия и продолжался до начала текущего столетия. Устойчивое преобладание однолетних льдов в СЛО произошло после 2002 г., что приблизительно на 5 лет раньше сроков, определяемых рядом зарубежных исследователей.

Проведенный анализ положения границы старых льдов в СЛО показывает, что в результате произошедших климатических изменений в последний двадцатилетний период с 1999 по 2019 гг. произошло смещение границы распространения старых льдов к северу. В восточном секторе Арктики это смещение носит более глубокий характер чем в западном. Смещение границы старых льдов на север хорошо согласуется с общим сокращением количества старых льдов в СЛО. На акватории океана, на которой ранее наблюдались старые льды, произошло их замещение однолетними льдами.

Полученные данные имеют важное практическое значение. Количество старых льдов в СЛО и их распределение на конец периода нарастания определяет мощность ледяного покрова перед началом таяния. Граница остаточных льдов очерчивает акваторию океана, в котором наблюдается нулевой теплозапас в деятельном поверхностном слое океана. И наконец, крайне южное положение границы остаточных льдов в конце летнего периода определяет возможность наступления ряда опасных ледовых явлений и раннее начало ледообразования в морях и на трассе СМП.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60109.

Устойчивость объектов транспортной инфраструктуры на равнинных территориях Западного сектора Арктики

Юров Ф.Д., Гребенец В.И.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и
гляциологии. fdiurov@gmail.com*

Север Западной Сибири является перспективным для развития регионом. Он богат нефтегазоносными месторождениями, здесь расположены крупные населенные пункты и действует обширная сеть транспортной инфраструктуры (газо- и нефтепроводы, автомобильные и железные дороги). Территория имеет весьма дифференцированные мерзлотно-геологические условия в различных типах ландшафтов. Освоение новых производственных площадок, строительство и эксплуатация инфраструктурных объектов зачастую активизирует опасные криогенные процессы.

Тенденции к повышению температур наружного воздуха вызывают увеличение глубины сезонного оттаивания грунтов, что приводит к уменьшению площади смерзания замороженных фундаментов, а также и к повышению температуры вмещающих их грунтов, что снижает силы смерзания. Проблема усугубляется техногенным воздействием, которое интенсифицирует негативные изменения в мерзлой толще. Был проведен расчет изменения несущей способности замороженных свайных фундаментов на территории Севера Западной Сибири к 2050 году для различных типов грунтов (песок, глинистые грунты, торф) с учетом трендов к росту температур мерзлых грунтов и увеличению мощности активного слоя. Детальные расчеты были проведены для трассы магистрального нефтепровода «Ванкор-Пурпе». Расчеты показали, что к 2050 г., при сохранении текущих темпов потепления климата, произойдет значительное ухудшение инженерно-геокриологической ситуации. Наибольшие негативные изменения коснутся южной части криолитозоны Западной Сибири (в Тазовском, Новоуренгойском и Надымском районах), где снижение несущей способности превысит 50 %. В более северных районах (на территории Ямала) прогнозируемые к 2050 г. изменения несущей способности замороженных свайных фундаментов будут не столь критичны (не более 20%). Однако, рост мощности активного слоя может спровоцировать активизацию процесса термокарста, что обусловлено близким залеганием к поверхности мощных пластовых льдов, а также других деструктивных криогенных процессов.

Большую опасность для объектов транспортной инфраструктуры представляют криогенные процессы, активизирующиеся в последние десятилетия как в следствие трендов к изменениям климата, так и в следствие техногенной нагрузки. Равнинная территория Западного сектора Арктики была проранжирована по степени опасности активизации опасных криогенных процессов, для чего были выбраны три основных показателя: степень пораженности освоенных и перспективных к застройке территорий теми или иными опасным мерзлотными процессами и явлениями, их продолжительность, повторяемость. Оценка опасности была проведена для наиболее распространенных и типичных для данной территории процессов: термокарста, термоэрозии и морозного пучения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-60080 «Опасные нивально-гляциальные и криогенные процессы и их влияние на инфраструктуру в Арктике».

Криосфера Российской Арктики – ее развитие в позднем кайнозое

Н.А. Шолянская

МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Россия.

e-mail: nellashpol@yandex.ru

Криосфера (вечная мерзлота и ледниковые покровы) возникла в конце кайнозоя, более 2,5 млн. лет назад, вместе с резким похолоданием климата Земли. В конце плиоцена сформировались главные современные природные закономерности – зональность, высотная поясность, антициклональный режим в Азиатском секторе. С этого времени в Антарктиде, Гренландии и Исландии появляются ледниковые покровы, на Аляске и в северных Кордильерах – горно-долинные ледники, на Аляске и Северо-Востоке России – подземное оледенение (островная, а затем и устойчивая мерзлота). Дальнейшее развитие ледников и вечной мерзлоты шло по-разному. В связи с этим возникает вопрос – каковы были взаимоотношения ледников и вечной мерзлоты в процессе их эволюции.

Взаимоотношение в пространстве. Распространение ледников зависит от циркуляции атмосферы, поскольку их формирование связано с поступающими осадками. На Российском Севере чередование климатического хода двух основных типов циркуляции – влажного зонального и сухого меридионального, приводит к тому, что в холодные эпохи влагу перехватывают горы, в первую очередь Скандинавские. Низким равнинам, а в Азиатском секторе и низким горам, влаги не достается. Поэтому районы развития ледников по площади всегда были ограничены, и заметно уступали областям развития вечной мерзлоты, которая формировалась и в условиях морского, и в условиях континентального климата.

Взаимоотношение в вертикальном разрезе. Считается, что из-за теплоизолирующей роли ледниковых покровов антагонисты вечной мерзлоты. Однако их взаимоотношения не всегда взаимоисключающие. Например, в Гренландии, Антарктиде, на архипелаге Северная Земля при мощности льда 1500–2000 м скважинами вскрыты подстилающие ледник породы с отрицательной температурой (до -13°C). Это значит, что под ледниковым покровом существует мерзлота, и немалой мощности (до 600–800 м). Эта температура не соответствует современной температуре воздуха, и мерзлота является реликтовой. Поскольку ледниковые покровы непрерывно существуют в этих областях несколько млн. лет, мерзлота возникла под ними в присутствии ледника, непосредственно под ним. Сравнительный анализ тепловых свойств ледниковых покровов и мерзлых горных пород показал, что они практически аналогичны. Поэтому формирование температуры в ледниковом покрове происходит по тем же законам, что и в горных породах. Существенное различие – приток в тело льда дополнительного тепла в процессе растекания льда достаточно часто не проявляется, вследствие особенностей подледного рельефа. Это проявляется в однотипности температурных кривых в толще ледников, и в горных породах (например, в Западной Сибири). Они одинаково указывают на нестационарность температурного поля, которое отражает динамику климата в плейстоцене-голоцене.

Таким образом, в противовес принятому мнению, ледники и вечная мерзлота не являются антагонистами. При определенных условиях они образуют спаянную двухслойную с близкими теплофизическими свойствами среду, в которой формируется единое температурное поле, отражающее общий климатический ход.

Это проявляется в однотипности температурных кривых в толще ледниковых покровов и в горных породах (например, в Западной Сибири), которые одинаково указывают на нестационарность температурного поля. Последнее отражает динамику климата в плейстоцене-голоцене.

Температурное поле горных пород Западной Сибири [11] тоже резко нестационарно, на разных глубинах температура отражает климат разных эпох. Верхняя часть температурной кривой с обратным градиентом и безградиентный отрезок являются следствием голоценового потепления, не приведшего еще температурное поле в

стационарное состояние. Волна голоценового потепления дошла только до глубины 250-300 м, где отмечается резкий перегиб кривой. Ниже, до подошвы мерзлой толщи, наблюдается близкое к линейному распределение температуры, отражающее сохранившееся (пока еще) стационарное температурное поле поздневалдайской холодной эпохи. Это подтверждается расчетами и моделированием [12], согласно которым стационарное состояние температурного поля мерзлых грунтов достигается лишь через 25–30 тыс. лет после изменения климата.