

Н.В. Пиманкина^{1,*} , **М.И. Гонтарь²** ,
А.В. Пиманкин² , **А.Б. Таскынбаев³** 

¹Центрально-Азиатский Региональный Гляциологический Центр (категории 2)
под эгидой ЮНЕСКО, Казахстан, г. Алматы

²Товарищество с ограниченной ответственностью «КазГеоплюс», Казахстан, г. Алматы

³Satbayev University, Казахстан, г. Алматы

*e-mail: pimankina@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КАМЕННОГО ГЛЕТЧЕРА МОРЕННЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Глобальные климатические изменения влияют на экологическую ситуацию горных территорий, подверженных воздействию криогенных процессов. В настоящее время происходят заметные изменения криосферы гор, растет риск опасных явлений, связанных с деградацией ледников и вечной мерзлоты. Одной из форм горного рельефа являются каменные глетчеры, которые образуются в зоне развития вечной мерзлоты и содержат воду в твердой фазе. В условиях потепления климата каменные глетчеры могут стать источниками селевой опасности, а объем содержащегося в каменных глетчерах льда является важным ресурсом запасов воды и играет определенную роль в региональных гидрологических процессах. Согласно подсчетам, в горах Иле Алатау имеется 504 данных геоморфологических образования. В статье приводятся результаты предварительной оценки строения каменного глетчера Моренный (долина р. Улкен Алматы, Северный Тянь-Шань) с помощью геофизических методов. На основе данных наблюдений Казгидромета на метеорологической станции Большое Алматинское Озеро приводится климатическая характеристика района исследований. Показано, что средняя температура воздуха за теплый период увеличивается со скоростью $0,1^{\circ}\text{C}/10$ лет, суммы осадков за ноябрь-март увеличились незначительно (период наблюдений 1932-2022 гг.). Методами электротомографии (станция Скала-64) и электроразведки (георадар Mala) удалось оценить строение фронтальной части и западной лопасти каменного глетчера. Полученные результаты указывают на наличие ледяных ядер, установленных по высоким значениям удельного сопротивления. Выявлены зоны мерзлых каменно-ледяных отложений и талых обводненных участков. Построены геоэлектрические и геологические разрезы. Результаты выполненных исследований подтверждают ранние предположения о наличии больших объемов воды, аккумулированной в теле каменного глетчера.

Ключевые слова: каменный глетчер, строение, геофизические методы, профили, ледяные ядра, каменно-ледяные отложения.

N.V. Pimankina^{1,*}, M.I. Gontar², A.V. Pimankin², A.B. Taskynbayev³

¹Central Asian Regional Glaciological Center (category 2) under the auspices of UNESCO, Kazakhstan, Almaty

²LLP «KazGeoplus», Kazakhstan, Almaty

³Satbayev University, Kazakhstan, Almaty

*e-mail: pimankina@mail.ru

Investigation of the Morenny rock glacier by geophysical methods

Global climate changes affect the ecological situation of mountain areas exposed to cryogenic processes. Currently, there are noticeable changes in the cryosphere of the mountains, and the risk of dangerous phenomena associated with the degradation of glaciers and permafrost is growing. One of the forms of mountainous relief is rock glaciers, which are formed in the zone of permafrost development and contain water in the solid phase. In a warming climate, rock glaciers can become sources of mudflow hazard, and the volume of ice contained in rock glaciers is an important resource for water reserves and plays a certain role in regional hydrological processes. According to calculations, there are 504 geomorphological formations in the Ile Alatau mountains. The article presents the results of a preliminary assessment of the structure of the Morenny rock glacier (Ulken Almaty River valley, Northern Tien Shan) using geophysical methods. Based on observational data from Kazhydromet at the Big Almaty Lake meteorological station, the climatic characteristics of the study area are given. It is shown that the

average air temperature during the warm period increases at a rate of $0.1^{\circ}\text{C}/10$ years, the amount of precipitation for November–March increased slightly (observation period 1932–2022). Using electrical tomography methods (Skala-64 station) and electrical prospecting (Mala ground penetrating radar) it was possible to assess the structure of the frontal part and western lobe of the rock glacier. The results obtained indicate the presence of ice cores, established by high resistivity values. Zones of frozen rock-ice deposits and melt water-saturated areas were identified. Geoelectric and geological sections were compiled. The results of the studies confirm the earlier assumptions about the presence of large volumes of water accumulated in the body of the rock glacier.

Key words: rock glacier, structure, geophysical methods, profiles, ice cores, rock-ice deposits.

Н.В. Пиманкина^{1*}, М.И. Гонтарь², А.В. Пиманкин², А.Б. Таскынбаев³

¹«Орталық Азия аймақтық гляциологиялық орталығы» ЖШС, Қазақстан, Алматы қ.

²«KazGeoplus» ЖШС, Қазақстан, Алматы қ.

³ Satbayev University, Қазақстан, Алматы қ.

*e-mail: pimankina@mail.ru

Моренный тас глетчерді геофизикалық әдістермен зерттеу

Жаһандық климаттың өзгеруі криогендік процестерге ұшыраған таулы аймақтардың экологиялық жағдайына әсер етеді. Қазіргі уақытта таулардың криосферасында айтарлықтай өзгерістер байқалуда, мұздықтар мен мәңгі тоңдардың деградациясына байланысты қауіпті құбылыстардың қаупі артып келеді. Таулы рельефтің бір түрі – мәңгі тоң даму аймағында пайда болған және қатты фазада суы бар тау жыныстары мұздықтары. Климаттың жылыну жағдайында тас мұздықтары сел қаупінің көздеріне айналуы мүмкін, ал тау жыныстарының мұздықтарындағы мұздың көлемі су қорының маңызды ресурсы болып табылады және аймақтық гидрологиялық процестерде белгілі рөл атқарады. Есептер бойынша Іле Алатауы тауларында 504 геоморфологиялық формация бар. Мақалада геофизикалық әдістерді қолдана отырып, Моренный жартас мұздығының (Алматыдағы Үлкен өзенінің аңғары, Солтүстік Тянь-Шань) құрылымын алдын ала бағалау нәтижелері берілген. «Үлкен Алматы көлі» метеорологиялық станциясындағы Қазгидрометтің бақылау деректері негізінде зерттелетін аумақтың климаттық сипаттамасы келтірілген. Жылы кезеңде ауаның орташа температурасы $0,1^{\circ}\text{C}/10$ жыл жылдамдықпен жоғарылайтыны, қараша-наурыздағы жауын-шашын мөлшері аздап өсетіні көрсетілген (бақылау кезеңі 1932–2022 жж.). Электрлік томография (Скала-64 станциясы) және электр барлау (Мала жерге енетін радар) әдістерін қолдана отырып, тау жыныстарының мұздықтарының фронтальды бөлігі мен батыс бөлігінің құрылымын бағалауға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер жоғары кедергі мөңдерімен анықталған мұз өзектерінің бар екенін көрсетеді. Мұз қатқан тау жыныстары мен еріген суы бар жерлер аймақтары анықталды. Геоэлектрлік және геологиялық учаскелер салынды. Зерттеулердің нәтижелері тау жыныстарының мұздықтарының денесінде жиналған үлкен көлемдегі судың болуы туралы бұрынғы болжамдарды растайды.

Түйін сөздер: тас глейчер, құрылымы, геофизикалық әдістері, профильдері, мұз өзектері, тас жыныстары-мұзды кен орындары.

Введение

Глобальные климатические изменения влияют на экологическое состояние горных ландшафтов, подверженных воздействию криогенных процессов (Hock et al., 2017:137; Hoelzle, 2019: 110). Деградация оледенения, сокращение снежного покрова, таяние вечной мерзлоты вызывают изменения гидрологических процессов, способствуют развитию опасных природных процессов и явлений. В настоящее время имеется много публикаций, особенно зарубежных, связанных с распространением и строением криогенных образований высокогорья – каменных глетчеров (КГ) и их ролью в рельефообразовании и гидрологическом цикле (Leopold et

al., 2011; Hausmann et al., 2012; Bolch, Gorbunov, 2014; Eriksen et al., 2018; Jones et al., 2019; Kääh et al., 2021; Wagner et al., 2021; Титков, 1989; Горбунов, Горбунова, 2013; Галанин и др., 2017; Дьякова и др., 2020; Желтенкова и др., 2018а; Желтенкова и др., 2020б). Материалы данных исследований позволяют сделать вывод, что общее число КГ в различных районах мира растет, увеличивается скорость движения КГ, возникают техногенные КГ, растет их опасность для населения и хозяйственной деятельности как потенциальных источников формирования селевых масс.

По современным представлениям, каменные глетчеры – это формы рельефа в виде лопастных или языкообразных тел вечномерзлого матери-

ала, насыщенного внутренним льдом или линзами льда, сползающие по склону или в долину вследствие деформаций льда, содержащегося в них (Горбунов, Титков, 1989; Jones, 2019). Существует несколько иное определение каменных глетчеров в связи с большой ролью верхнего слоя: КГ представляют собой формы рельефа, состоящие из сплошного толстого слоя сезонно-мерзлого обломочного материала (активный слой), покрывающего перенасыщенные льдом обломочный материал или чистый лед (Berthling, 2011; Bonnaventure and Lamoureaux, 2013). Поверхность КГ покрыта альпийской растительностью (Северский, 1989).

Поскольку КГ менее подвержены вытаяванию при повышении температуры воздуха, чем лед открытой поверхности ледников, они могут рассматриваться как хранилища запасов пресной воды, находящейся в виде льда (Wagner et al., 2021). Высокое содержание льда является причиной их мобильности: движение КГ осуществляется главным образом за счет пластических деформаций льдистой толщи (Горбунов, 1979; Hausmann et al., 2012; Kääb et al., 2021). Скорость их поступательного движения изменяется от нескольких сантиметров до многих метров в год. Скорость перемещения отдельных пунктов на поверхности самих КГ существенно выше скорости поступательного движения его фронтального уступа.

Изучение строения каменных глетчеров крайне затруднено вследствие трудностей с ручной проходкой шурфов и тем более скважин. Для исследования внутреннего строения КГ широко применяют геофизические методы. Так, с помощью комплекса электротомографии (ЭТ), сейсморазведки и георадиолокационного зондирования (ГРЛ) получены данные о строении КГ в Альпах (Maurer, Nauck, 2007; Hilbich et al., 2008; Hausmann et al., 2012; Emmert, Kneisel, 2017), хребте Колорадо, США (Leopold et al., 2011). Методы электроразведки применялись при исследовании КГ на Алтае и Сибири (Бажин, Лыткин, 2018; Дьякова и др., 2017а; Дьякова и др., 2020б). Комплекс современных технологий был использован для оценки мощности мерзлых пород в Иле Алатау (Галанин и др., 2015а; Галанин и др., 2017б; Желтенкова и др., 2018а; Желтенкова и др., 2020б). Опубликованные материалы зарубежных исследований свидетельствуют о том, что на фоне современных климатических изменений происходят значительные изменения строения и физических свойств каменных

глетчеров. Уменьшается количество грунтового льда, значительные объемы КГ находятся в талом состоянии.

Цель исследования

С помощью геофизических методов выявить особенности внутреннего строения каменного глетчера Моренный, расположенного в долине р. Улкен Алматы (северный склон хребта Иле Алатау). Данный КГ представляет интерес с точки зрения геокриологических опасностей и аккумуляции влаги.

Район исследований

Согласно подсчетам (Горбунов, 1979), в горах Иле Алатау имеется 504 данных образования, из них активных 429 и 75 древних (неактивных). В бассейне р. Улкен Алматы наблюдается 9 крупных активных КГ, один из которых, каменный глетчер Моренный, расположен в 5 км южнее Большого Алматинского озера в интервале высот 3000–3400 м (рис. 1). Длина КГ Моренный 1200 м, максимальная ширина в нижней части 980 м, средняя – 800 м, площадь 0,980 кв. км (Горбунов, Титков, 1989). Фронтальная часть обрывается осыпающимся уступом высотой 50 м. На поверхности хорошо выражены валы и руслообразные ложбины. Современный глетчер перекрывает более древний, неподвижный.

Геологическое обследование показало, что в изучаемом районе преобладают выветрелые красные и серые биотит-роговообманковые граниты, гранодиориты и сиениты, дающие большое количество обломочного материала. Однако продукты их разрушения не благоприятствуют развитию скольжения слоев относительно друг друга. Характерно наличие крупноблочных каменных развалов и грубообломочных осей.

Климатические условия района развития каменного глетчера могут быть охарактеризованы на основе данных метеорологической станции Большое Алматинское Озеро (БАО), которая расположена на 500 м ниже языка глетчера. Средняя годовая, январская и августовская температуры воздуха за период 1966-2021 гг. составляют 1,7; минус 8,5 и 11,4 °С, соответственно (Государственный кадастр, 2022). Абсолютный минимум температуры воздуха в январе наблюдался в 1969 г. и составил минус 29 °С. Годовая сумма осадков составляет 820 мм, при этом в ноябре-марте выпадает 180 мм. Устойчивый снежный покров образуется к 1 ноября, разрушается в среднем 23 апреля. Высота снежного покрова

весной в среднем достигает 70 см и более. По данным снеголавинной станции, в верховьях КГ ежегодно наблюдается сход лавин и аккумуляция снесенного лавинами снега.

Со второй половины прошлого столетия и по настоящее время отмечается заметное потепление климата. По данным МС «БАО», за период 1966-2021 гг. трендовое увеличение средней летней температуры составляет $0,1^{\circ}\text{C}/10$ лет, а средней за ноябрь-март в два раза больше ($0,2^{\circ}\text{C}/10$ лет). Положительный тренд отмечен и на перевале Жосалы-Кезен, где средняя годовая температура воздуха в начальный период наблюдений (1973-1975 гг.) составляла минус $3,9^{\circ}\text{C}$ (Горбунов, Немов, 1978), а за последние 20 лет увеличилась от минус $2,2^{\circ}\text{C}$ в 1997 г. до минус $1,8^{\circ}\text{C}$ в 2018 г. (Северский, 2019).

КГ Моренный расположен в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород, мощность которых достигает 100 м. На перевале Жосалыкезен максимальная глубина сезонного протаивания увеличилась в 1,5 раза по сравнению с периодом 1970-х гг. Температура пород в скважинах наблюдений за 20-летний период повысилась на $0,2-0,5^{\circ}\text{C}$, что является следствием климатического потепления, и изменения термического режима характерны для большого диапазона высот и ландшафтов района (Северский, 2019).

Моренный относится к приледниковым активным КГ, движение его носит пульсирующий характер. Наблюдения за динамикой наиболее активных каменных глетчеров в бассейне р. Улкен Алматы показали, что скорость перемещений на поверхности КГ в отдельные годы может достигать 3,2 м в год; в среднем эта скорость близка к 1 м/год. Продвижение фронтального уступа идет со скоростью от 19 до 85 см/год (Титков, 1979; Горбунов, Титков, 1989). В центральной части глетчера Моренный скорость движения составляла 1-3 м/год, по краям 0,5-1 м/год (Титков, 1979).

Для КГ Моренный характерно наличие двух основных слоев: верхнего, мощностью от 1,0 до 5-10 м, соответствующего мощности деятельного слоя, и нижнего – ледогрунтового. Верхний слой состоит из обломков, средний диаметр которых колеблется в пределах 10-200 см и более, и заполнителя, представленного щебнем, дресвой, мелкоземом. В открытых разрезах исследователи наблюдали многолетнемерзлую толщу, состоящую из глыб, щебня, дресвы и мелкозема, сцементированного льдом различного проис-

хождения. Отмечены линзы и слои чистого льда (Горбунов, Титков, 1989). У подножия глетчера вытекают ручьи, и талые воды по ложбинам стока достигают Большого Алматинского озера.

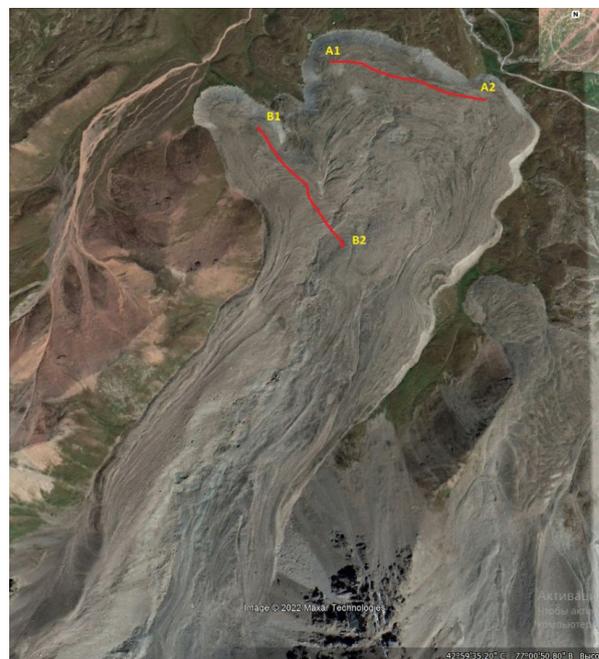


Рисунок 1 – Каменный глетчер Моренный на снимке Ландсат (07.08.2021 г.) с нанесенными профилями зондирования A1-A2 и B1-B2

Материалы и методы исследования

Поскольку ручная проходка шурфов и бурение крупноглыбовых грунтов вызывает большие трудности, для изучения строения каменного глетчера применен комплекс электро-разведочных методов – электротомография (ЭТ) с помощью электроразведочной станции «Скала-64К15Е» и георадиолокационное зондирование (ГРЛЗ) георадаром «Maia».

Геофизическая сущность метода георадиолокации заключается в регистрации сигнала, отраженного от границ сред с различными свойствами. Такими границами раздела слоев являются, например, контакт между сухими и влагонасыщенными грунтами (уровень грунтовых вод), контакты между породами различного литологического состава, между мерзлыми и талыми грунтами.

В исследованиях, проведенных в разные годы в долине р. Улкен Алматы, применялись станции модели «Скала-48» (Галанин и др.,

2017). В 2015-2017 гг. методом ЗСБ (зондирование становлением поля в ближней зоне) проведено обследование каменных глетчеров Моренный и Буркутты, а также перевалов Озерный и Жосалы-Кезен (Желтенкова и др., 2020). Особенностью метода является большая глубинность исследований – до 2-3 км, и, по нашему мнению, потеря детальности.

В нашем исследовании глубинность исследований составила примерно 40 м. При измерениях методом электротомографии последовательность подключения электродов соответствовала симметричной установке Шлюмберже ($AB_{\max}=360\text{м}$). Заземление электродов велось с поливом соленой воды, что снизило сопротивление заземлений до приемлемых значений. Инверсию данных электротомографии проводили в рамках двухмерной модели с учетом рельефа в программе Res2Dinv. Начало и конец профиля, а также набор точек с интервалом 1 м записывались с помощью геодезического оборудования Trimble R9s в режиме RTX. В результате получены разрезы удельного электрического сопротивления (УЭС) по профилям (геоэлектрические разрезы). Георадиолокационное зондирование проводилось по тому же профилю А1-А2, что и электроразведка. Измерения проводились георадаром Mala Geoscience с антенным блоком 50 МГц, который позволяет получать георадиолокационные разрезы глубиной до 30 м при разрешающей способности в 1 м. Для обработки полученных радарограмм использовалась программа ReflexW. Граф обработки включал в себя вычитание среднего, усиление профиля по глубине и задание рельефа. Для интерпретации данных было принято, что породы с УЭС более 100 кОм·м являются льдом или отложениями с высоким содержанием льда (Бажин, Лыткин, 2018).

Результаты и обсуждение

На рис. 2 показан геоэлектрический разрез, полученный во фронтальной зоне КГ Моренный. Профиль электротомографии А1-А2 протяженностью 600 м заложен поперек оси движения КГ, начинался в западной части КГ Моренный (абс. высота 3057 м) и поднимался вверх, пересекая понижения и повышения рельефа, до отметки 3070 м.

Разрез характеризуется значительной вертикальной и горизонтальной неоднородно-

стью. Горизонт низкого удельного электрического сопротивления (УЭС, 5-30 кОм·м) ассоциируется с поверхностным слоем увлажненных рыхлых отложений мощностью до 10 м и более. Ниже по разрезу выделяется слой высокоомных аномалий, который интерпретируется как каменно-ледяные отложения (Бажин, Лыткин, 2018). На рис. 2 они выделены темным цветом, УЭС более 100-160 кОм·м. Возможно, максимальные значения УЭС характеризуют существование линз или блоков льда. Слой разделяется аномалией пониженного УЭС, которое может быть объяснено наличием талых обводненных отложений. Мощность слоя мерзлых пород или, возможно, льда составляет 15-20 м.

В нижней части рис. 2 приведена радарограмма обследования на низкой частоте (50 МГц). Значительная разница в значениях диэлектрической проницаемости пресного льда ($\epsilon=3$) и воды ($\epsilon=81$) дает возможность проследить границу талых и мерзлых отложений. По данным ГРЛ определена глубина кровли каменно-ледяных отложений. Глубина залегания изменяется по профилю, но в среднем составляет 10-20 м, что соответствует данным электротомографии. Как можно видеть, в целом контуры мерзлых образований, интерпретированных по данным ГЛРЗ и ЭТ, совпадают.

На рис. 3 представлен геоэлектрический разрез западной лопасти каменного глетчера Моренный. В отличие от фронтальной части, отчетливо выделяется блок мощностью 20 м, отличающийся повышенными значениями УЭС, только в верхней части разреза.

Низкое электрическое сопротивление основной внутренней части лопасти говорит о наличии отложений с низким содержанием льда или даже талых. Возможно, профиль пересекает внутриморенные каналы стока.

Полученные данные позволяют в первом приближении оценить геологическое и геокриологическое строение фронтальной зоны и западной лопасти каменного глетчера Моренный. На рис. 4 и 5 представлены стратиграфические разрезы отдельных частей глетчера. Хорошо выделяются блоки льда. Основная толща отложений представляет собой несортированный материал с различным содержанием льда в виде линз, прослоев, или лед с большим содержанием обломочного материала.

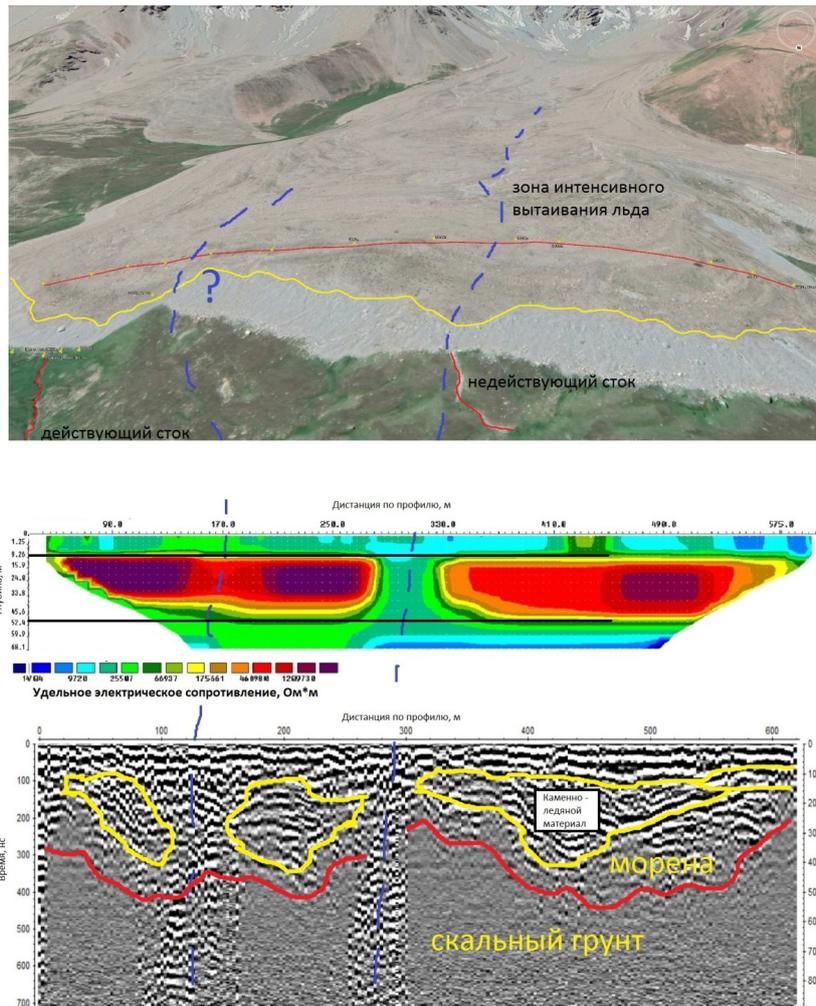


Рисунок 2 – Фото каменного глетчера Моренный и геоэлектрический разрез фронтальной зоны по профилю А1-А2. По вертикальной оси – высота, м. Шкала представляет удельное электрическое сопротивление, Ом·м. Ниже – радарограмма с нанесенными контурами интерпретированных слоев

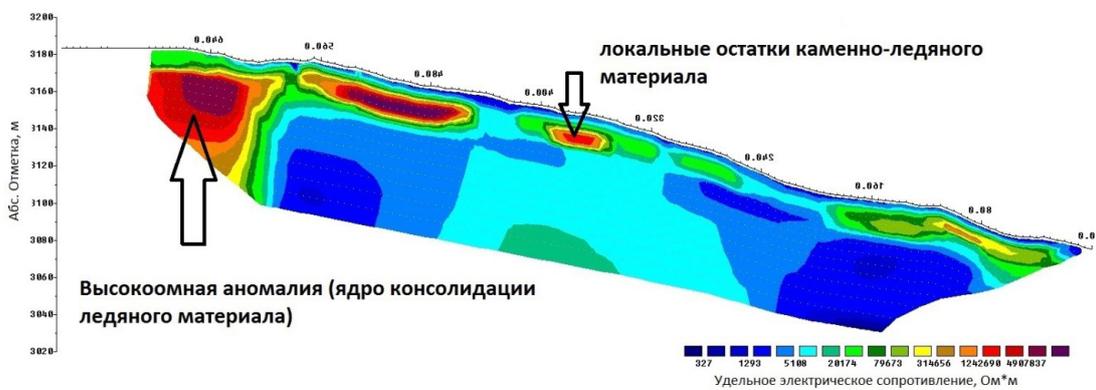


Рисунок 3 – Геоэлектрический разрез западной лопасти каменного глетчера Моренный по профилю В1-В2 с границей залегания кровли каменно-ледяных отложений. По вертикальной оси – абсолютные отметки, м

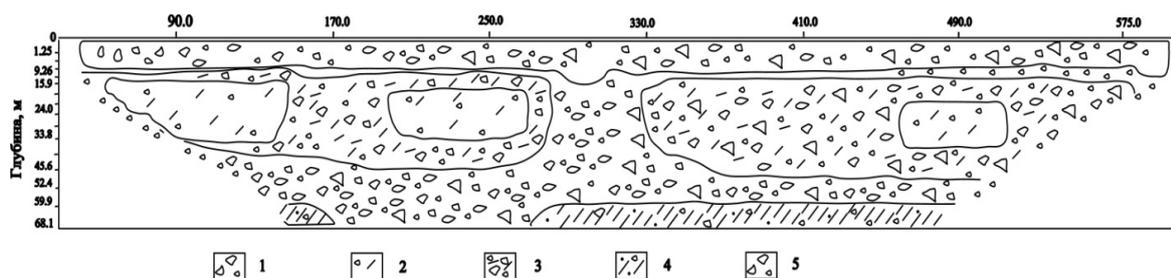


Рисунок 4 – Схематический геологический разрез по профилю A1-A2 во фронтальной области каменного глетчера Моренный. 1 – сезонномерзлый обломочный материал; 2 – блоки льда; 3 – мерзлая морена или насыщенная льдом несортированная толща с высоким содержанием льда; 4 – слабольдистые суглинки и супеси древнего глетчера (?); 5 – несортированная толща отложений с низким содержанием льда (?)

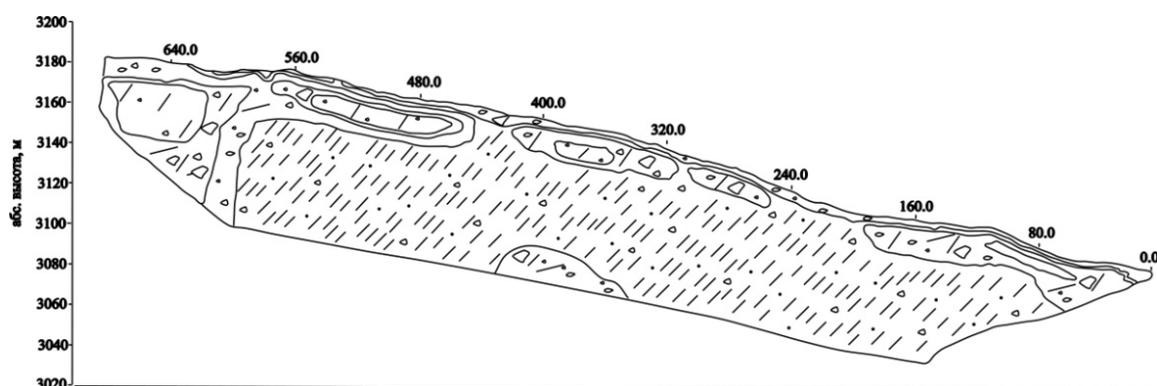


Рисунок 5 – Схематический геологический разрез по профилю B1-B2 на западной лопасти каменного глетчера Моренный. Условные обозначения см. рис. 4.

Трудность представляет интерпретация отложений, расположенных в нижней части разреза A1-A2, под блоками льда. Согласно радарограмме, с глубины 50 м, местами менее, начинаются коренные породы. Скальный это грунт или отложения более древнего каменного глетчера – предстоит выяснять другими методами.

В отличие от материалов, представленных в (Галанин и др., 2017), результаты проведенного нами обследования каменного глетчера Моренный с помощью комплекса электроразведочных методов показало наличие крупных (до 20 м толщиной и шириной до 80 м) блоков льда и более мелких линз льда. Основная часть массива КГ с высоким УЭС несомненно представляет собой мерзлые отложения различного литологического состава с разным содержанием льда. Пока нет точных данных о том, что блоки льда имеют генетическую связь с ледником, расположенным в верховьях, а также подтверждений тому, что

часть льда образована в результате просачивания талых вод и последующего замерзания в теле глетчера.

Также возможно, что именно наличие обводненных отложений способствует высокой скорости движения обломочных масс на поверхности лопасти по сравнению с основным массивом КГ. Поскольку слабольдистые отложения после оттаивания приобретают вязкопластичную или полутвердую консистенцию, возможно, поэтому здесь зафиксировано наибольшая скорость движения отложений (Kääb et al., 2021). В боковом уступе наблюдалось формирование и внезапный выброс небольших ледово-грязевых селевых потоков (Титков, 1979).

По приблизительным подсчетам, объем льда (т.е. воды в твердой фазе), заключенного в теле каменного глетчера, может составить до 4 млн. м³ (при условии наличия блоков льда на всем протяжении, от истоков до фронтального уступа).

Заключение

Применение станции «Скала-64К15Е» позволило выявить особенности строения каменного глетчера и в первом приближении сделать геолого-литологическую интерпретацию полученных данных. Высокоомные аномалии соотнесены с блоками чистого льда. Низкие значения УЭС, обнаруженные в западной лопасти КГ, характерны для отложений (возможно, супесей и суглинков) с очень низким содержанием льда, возможно, талых. Сопоставление данных ГЛРЗ и ЭТ показало достаточно хорошее совпадение контуров блоков льда/высокольдистых отложений, а также наличие каналов стока. Это дает возможность в будущих исследованиях применять для оценки наличия ледяных тел более удобный в обращении георадар.

Обнаружено неоднородное распределение многолетнемерзлых грунтов. Возможно, отепляющим воздействием на вмещающие отложения оказывают ручьи в теле глетчера. Значительная вертикальная и горизонтальная неоднородность строения каменного глетчера, наличие ручьев в прифронтальной области, разная скорость движения отдельных частей, а также наличие тер-

мокарстовых озер на поверхности требуют дальнейшего изучения и анализа.

Объем воды, заключенной в теле КГ, по предварительным оценкам может составлять до 4 млн куб. м. Объем БАО при полном заполнении составляет 13 млн куб. м, в зимний период уменьшается до 8 млн куб. м (Каскад ГЭС, 2024). Таким образом, в КГ Моренный заключена почти половина зимнего объема воды стратегически важного объекта водоснабжения города – Большого Алматинского озера. Часть воды находится в талом состоянии, что в совокупности с большими объемами глыбовых масс каменных глетчеров в верховьях р. Улкен Алматы может представлять опасность с точки зрения формирования селевых масс.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме «Ледниковые системы трансграничных бассейнов Центральной Азии: состояние, современные и прогнозные изменения, роль в обеспечении водной безопасности стран региона», ИРН BR 18574176.

Литература

- Berthling I. (2011). Beyond confusion: Rock glaciers as cryo-conditioned landforms// *Geomorphology*. – Vol. 131, Issues 3–4. – pp. 98-106. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.05.002>
- Bolch T., Gorbunov A.P. (2014). Characteristics and origin of rock glaciers in northern Tien Shan (Kazakhstan/Kyrgyzstan) // *Permafrost and Periglacial Processes*.- № 25(4). – pp.320-332. DOI: <https://doi.org/10.1002/ppp.1825>
- Bolch T., N. Rohrbach, S. Kutuzov, B.A. Robson, A. Osmonov (2019). Occurrence, evolution and ice content of ice-debris complexes in the Ak-Shiirak, Central Tien Shan revealed by geophysical and remotely-sensed investigations // *Earth Surf. Process. Landf.*- № 44. – pp. 129-143.
- Bonnaventure P., Lamoureux S. (2013). The active layer: a conceptual review of monitoring, modelling techniques and changes in a warming climate// *Prog. Phys. Geography*. – # 37 (3). – pp. 352-376.
- Emmert A., Kneisel C. (2017). Internal structure of two alpine rock glaciers investigated by quasi-3-D electrical resistivity imaging// *The Cryosphere*. – № 11. – pp. 841–855.
- Eriksen H. Ø., L. Rouyet, T. R. Lauknes, I. Berthling, K. Isaksen, H. Hindberg, Y. Larsen, G. D. Corner. (2018). Recent Acceleration of a Rock Glacier Complex, Ådjet, Norway, Documented by 62 Years of Remote Sensing Observations // *Geophysical Research Letters*.-.-Vol. 45, Issue 16. – pp. 7885-8697.
- Harrison S., Kargel J., Huggel C., Reynolds J., Shugar D., Richard A. Betts, Adam Emmer, Neil Glasser, Umesh K. Haritashya, Jan Klimeš, Liam Reinhardt, Yvonne Schaub, Andy Wiltshire, Dhananjay Regmi, and Vít Vilímek. (2018). Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods//*The Cryosphere*. -№ 12. – pp. 1195–1209. <https://doi.org/10.5194/tc-12-1195-2018>
- Hausmann H., Krainer K., Bruckl E., Ullrich C. (2012). Internal structure, ice content and dynamics of Olgrube and Kaiserberg rock glaciers (Otzal Alps, Austria), determined from geophysical surveys// *Austrian Journal of Earth Sciences*, – Vol. 105, № 2. – pp. 12-31. https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_215816.pdf
- Hilbich C., Marescot L., Hauck C., Loke M., Musbacher R. (2009). Applicability of electrical resistivity tomography monitoring to coarse blocky and ice-rich permafrost landforms// *Permafrost and Periglacial Processes*. – Vol. 20.- pp 269–284. DOI: 10.1002/ppp.652

- Hock R., G. Rasul, C. Adler, B. Cáceres, S. Gruber, Y. Hirabayashi, M. Jackson, A. Käab, S. Kang, S. Kutuzov, A. Milner, U. Molau, S. Morin, B. Orlove, and H. Steltzer (2019). High Mountain Areas. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Available from www.ipcc.ch. Дата обращения 12.05.2023.
- Hoelzle M., Barandun M., Bolch T., Fiddes J., Gafurov A., Muccione V., Saks T. and Shahgedanova M. (2019). *The status and role of the alpine cryosphere in Central Asia.* In: Xenarios, S., Schmidt-Vogt, D., Qadir, M., Janusz-Pawletta, B. and Abdullaev, I. (eds.) *The Aral Sea Basin: Water for Sustainable Development in Central Asia.* Earthscan Series on Major River Basins of the World. – London: Routledge. – 228 p. ISBN 9780429436475
- Jones D., Stephan Harrison, Karen Anderson, W. Brian Whalley (2019). Rock glaciers and mountain hydrology: A review// *Earth-Science Reviews.* - Volume 193.- pp. 66-90.
- Käab A., Strozzi T., Bolch T., Caduff R., Trefall H., Stoffel M., Kokarev A. (2021). Inventory and changes of rock glacier creep speeds in Ile Alatau and Kungöy Ala-Too, northern Tyan Shan, since the 1950s // *The Cryosphere.* - № 15. – pp. 927–949.
- Leopold M, Williams M.W., Caine N., Volkel J., Dethier D. (2011). Internal structure of the Green Lake 5 Rock Glacier, Colorado Front Range, USA // *Permafrost and Periglacial Processes.* – Vol.22, № 2. – pp. 107-119.
- Maurer H., Hauck C. (2007). Instruments and methods geophysical imaging of alpine rock glaciers//*Journal of Glaciology.* – V. 53, № 180. – pp. 110-120.
- Wagner T., Seeling S., Helfricht K., Kainz S., Fischer A., Avian M., Krainer K., Winkler G. (2021). Assessment of liquid and solid water storage in rock glaciers versus glacier ice in the Austrian Alps// *Science of the Total Environment/* – # 800 (2)..- pp. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149593>
- Бажин К.И., Лыткин В. М. (2018). Изучение внутреннего строения каменного глетчера хребта Черского с использованием метода электротомографии. – Материалы IX Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле.- Новосибирск: ИПЦ НГУ. – с. 39-42. ISBN 978-5-4437-0838-6
- Галанин А.А., Оленченко В.В., Христофоров, И.И. (2015). Новый генетический тип активных каменных глетчеров Северного Тянь-Шаня – источников катастрофических ледово-грязекаменных селей // Материалы международной научной конференции «Климатология и гляциология Сибири». 20-23 октября 2015 г. / под общ. ред. В.П. Горбатенко, В.В. Севастьянова – Томск: ТГУ. – 386 с.
- Галанин А.А., Оленченко В.В., Христофоров И.И., Северский Э.В., Галанина А.А. (2017). Высокодинамичные каменные глетчеры Тянь-Шаня// *Криосфера Земли.* – Т. XXI, №4. – с. 58-74. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2017-4(58-74).
- Горбунов А.П. (1979). Каменные глетчеры Заилийского Алатау // *Криогенные явления Казахстана и Средней Азии.* – Якутск: Институт мерзлотоведения СО АН СССР. — с. 5–34.
- Горбунов А.П., Немов А.Е. (1978). К исследованию температур рыхлообломочных толщ высокогорного Тянь-Шаня. – в: *Криогенные явления высокогорий.* – Новосибирск: Наука, СО АН СССР. – с. 92-99.
- Горбунов А.П., Титков С.Н. (1989). Каменные глетчеры гор Средней Азии.– Якутск, Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР. – 164 с.
- Горбунов А.П., Горбунова И.А. (2013). География каменных глетчеров и их аналогов в Евразии. – Алматы. – 184 с.
- Государственный климатический кадастр РК. https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr Дата обращения 01.11.2022 г.
- Дьякова Г.С., Оленченко В.В., Останин О.В. (2017). Применение метода электротомографии для изучения внутреннего строения каменных глетчеров Алтая // *Лёд и Снег*– Т. 57. № 1. –С. 69–76. doi:10.15356/2076-6734-2017-1-69-76.
- Дьякова Г.С., Горячевичева А.А., Останин О.В., Оленченко В.В., Бирюков Р.Ю. (2020). Геофизические исследования внутреннего строения гляциально-мерзлотных каменных образований Центрального Алтая// *Лёд и Снег* – Т. 60.– №1. – С. 109-115.
- Желтенкова Н.В., Кошурников А.В., Гагарин В.Е., Скосарь В.В., Брушков А.В., Спирыкова К.А., Агапкин И.А., Хименков А.Н. (2018). Применение методов электромагнитного зондирования для предупреждения опасных геокриологических процессов.- Сборник докладов расширенного заседания научного совета по криологии Земли РАН «Актуальные проблемы геокриологии», МГУ, 15-16 мая 2018 г. – Т.2. – Ч. 6. – М., «КДУ»,.– с. 145- 149.
- Желтенкова Н.В., Гагарин В.Е., Кошурников А.В., Набиев И.А. (2020). Режимные геокриологические наблюдения на высокогорных перевалах Тянь-Шаня // *Арктика и Антарктика.* – № 3. – С. 25– 43.
- Каскад ГЭС – пожизненно стратегический объект. <https://ales.kz/ru/my-v-smi/88-2014-god-5/949-kaskad-ges-pozhiznennostategicheskij-ob-ekt> сайт АО «Алматинские электрические станции». Доступ 18 января 2024 г.
- Северский Э.В. (1989). Ландшафты каменных глетчеров Северного Тянь-Шаня. – в: *Геокриологические исследования в горах СССР.* – Якутск, Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР. – с. 109-117.
- Северский Э.В., Оленченко В.В., Горбунов А.П. (2014). Влияние локальных факторов на распространение толщи мерзлых пород перевала Жосалыкезень (Северный Тянь-Шань)// *Криосфера Земли*, Т. XVIII, № 4. – С. 13-22.
- Северский Э.В. (2019). Геотермический мониторинг криолитозоны Северного Тянь-Шаня// *Вопросы географии и геоэкологии.* - №2. – С. 87-96.
- Титков С.Н. (1979). О движении некоторых каменных глетчеров Заилийского Алатау. – в: *Криогенные явления Казахстана и Средней Азии.* – Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР. – с. 34-42.
- Титков С.Н. (1989). Фации каменных глетчеров. – в: *Геокриологические исследования в горах СССР.* – Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР. – с. 98-109.

References

- Berthling I. (2011). Beyond confusion: Rock glaciers as cryo-conditioned landforms// *Geomorphology*. – Vol. 131, Issues 3–4. – pp. 98-106. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.05.002>
- Bolch T., Gorbunov A.P. (2014). Characteristics and origin of rock glaciers in northern Tien Shan (Kazakhstan/Kyrgyzstan) // *Permafrost and Periglacial Processes*.- № 25(4). – pp.320-332. DOI: <https://doi.org/10.1002/ppp.1825>
- Bolch T., N. Rohrbach, S. Kutuzov, B.A. Robson, A. Osmonov (2019). Occurrence, evolution and ice content of ice-debris complexes in the Ak-Shiirak, Central Tien Shan revealed by geophysical and remotely-sensed investigations // *Earth Surf. Process. Landf.*- № 44. – pp. 129-143.
- Bonnaventure P., Lamoureux S. (2013). The active layer: a conceptual review of monitoring, modelling techniques and changes in a warming climate// *Prog. Phys. Geography*. – # 37 (3). – pp. 352-376.
- Emmert A., Kneisel C. (2017). Internal structure of two alpine rock glaciers investigated by quasi-3-D electrical resistivity imaging// *The Cryosphere*. – № 11. – pp. 841–855.
- Eriksen H. Ø., L. Rouyet, T. R. Lauknes, I. Berthling, K. Isaksen, H. Hindberg, Y. Larsen, G. D. Corner. (2018). Recent Acceleration of a Rock Glacier Complex, Ådjet, Norway, Documented by 62 Years of Remote Sensing Observations // *Geophysical Research Letters*.- –Vol. 45, Issue 16. – pp. 7885-8697.
- Harrison S., Kargel J., Huggel C., Reynolds J., Shugar D., Richard A. Betts, Adam Emmer, Neil Glasser, Umesh K. Haritashya, Jan Klimeš, Liam Reinhardt, Yvonne Schaub, Andy Wiltshire, Dhananjay Regmi, and Vít Vilímek. (2018). Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods//*The Cryosphere*. -№ 12. – pp. 1195–1209. <https://doi.org/10.5194/tc-12-1195-2018>
- Hausmann H., Krainer K., Bruckl E., Ullrich C. (2012). Internal structure, ice content and dynamics of Olgrube and Kaiserberg rock glaciers (Otztal Alps, Austria), determined from geophysical surveys// *Austrian Journal of Earth Sciences*, – Vol. 105, № 2. – pp. 12-31. https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_215816.pdf
- Hilbich C., Marescot L., Hauck C., Loke M., Musbacher R. (2009). Applicability of electrical resistivity tomography monitoring to coarse blocky and ice-rich permafrost landforms// *Permafrost and Periglacial Processes*. – Vol. 20.- pp 269–284. DOI: 10.1002/ppp.652
- Hock R., G. Rasul, C. Adler, B. Cáceres, S. Gruber, Y. Hirabayashi, M. Jackson, A. Kääb, S. Kang, S. Kutuzov, A. Milner, U. Molau, S. Morin, B. Orlove, and H. Steltzer (2019). High Mountain Areas. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Available from www.ipcc.ch. Дата обращения 12.05.2023.
- Hoelzle M., Barandun M., Bolch T., Fiddes J., Gafurov A., Muccione V., Saks T. and Shahgedanova M. (2019). *The status and role of the alpine cryosphere in Central Asia*./ In: Xenarios, S., Schmidt-Vogt, D., Qadir, M., Janusz-Pawletta, B. and Abdullaev, I. (eds.) *The Aral Sea Basin: Water for Sustainable Development in Central Asia*. Earthscan Series on Major River Basins of the World. – London: Routledge. – 228 p. ISBN 9780429436475
- Jones D., Stephan Harrison, Karen Anderson, W. Brian Whalley (2019). Rock glaciers and mountain hydrology: A review// *Earth-Science Reviews*.- Volume 193.- pp. 66-90.
- Kääb A., Strozzzi T., Bolch T., Caduff R., Trefall H., Stoffel M., Kokarev A. (2021). Inventory and changes of rock glacier creep speeds in Ile Alatau and Kungöy Ala-Too, northern Tyan Shan, since the 1950s // *The Cryosphere*.- № 15. – pp. 927–949.
- Leopold M., Williams M.W., Caine N., Volkel J., Dethier D. (2011). Internal structure of the Green Lake 5 Rock Glacier , Colorado Front Range, USA // *Permafrost and Periglacial Processes*. – Vol.22, № 2. – pp. 107-119.
- Maurer H., Hauck C. (2007). Instruments and methods geophysical imaging of alpine rock glaciers//*Journal of Glaciology*. – V. 53, № 180. – pp. 110-120.
- Wagner T., Seeling S., Helfricht K., Kainz S., Fischer A., Avian M., Krainer K., Winkler G. (2021). Assessment of liquid and solid water storage in rock glaciers versus glacier ice in the Austrian Alps// *Science of the Total Environment*/ – # 800 (2).- pp. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149593>
- Bazhin K.I., Lytkin V.M. (2018). Study of the internal structure of the rock glacier of the Chersky ridge using the electrical tomography method. – *Materials of the IX Siberian Conference of Young Scientists in Geosciences*. – Novosibirsk: IPC NSU. – pp. 39-42. ISBN 978-5-4437-0838-6
- Dyakova G.S., Olenchenko V.V., Ostanin O.V. (2017). Application of the electrical tomography method to study the internal structure of rock glaciers in Altai // *Ice and Snow* – T. 57. No. 1. -pp. 69–76. doi:10.15356/2076-6734-2017-1-69-76.
- Dyakova G.S., Goreyavcheva A.A., Ostanin O.V., Olenchenko V.V., Biryukov R.Yu. (2020). Geophysical studies of the internal structure of glacial-permafrost rock formations in Central Altai // *Ice and Snow* – T. 60. – No. 1. – pp. 109-115.
- Galanin A.A., Olenchenko V.V., Khristoforov I.I. (2015). A new genetic type of active rock glaciers of the Northern Tien Shan – sources of catastrophic ice-mud-stone mudflows // *Proceedings of the international scientific conference “Climatology and glaciology of Siberia”*. October 20-23, 2015 / ed. by V.P. Gorbatenko, V.V. Sevastyanova – Tomsk: TSU. – 386 p.
- Galanin A.A., Olenchenko V.V., Khristoforov I.I., Severson E.V., Galanina A.A. (2017). Highly dynamic rock glaciers of the Tien Shan // *Cryosphere of the Earth*. – T. XXI, No. 4. – pp. 58-74. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2017-4(58-74).
- Gorbunov A.P. (1979). *Rock glaciers of the Zailiisky Alatau // Cryogenic phenomena of Kazakhstan and the Middle Asia*. – Yakutsk: Institute of Permafrost Science, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. — P. 5–34.

- Gorbunov A.P., Nемов A.E. (1978). To the study of temperatures of loose clastic strata of the high-mountain Tien Shan. – in: Cryogenic phenomena of high mountains. – Novosibirsk: Science, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. – pp. 92-99.
- Gorbunov A.P., Titkov S.N. (1989). Rock glaciers of the mountains of Central Asia. – Yakutsk, Institute of Permafrost Studies, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. – 164 p.
- Gorbunov A.P., Gorbunova I.A. (2013). Geography of rock glaciers and their analogues in Eurasia. – Almaty. – 184 p.
- Seversky E.V. (1989). Landscapes of rock glaciers of the Northern Tien Shan. – in: Geocryological research in the mountains of the USSR. – Yakutsk, Institute of Permafrost Science, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. – With. 109-117.
- Seversky E.V., Olenchenko V.V., Gorbunov A.P. (2014). The influence of local factors on the distribution of frozen rocks in the Zhosalykezen pass (Northern Tien Shan) // Cryosphere of the Earth, T. XVIII, No. 4. – P. 13-22.
- Seversky E.V. (2019). Geothermal monitoring of the permafrost zone of the Northern Tien Shan // Issues of geography and geocology. – No. 2. – pp. 87-96.
- State Climate Cadastre of the Republic of Kazakhstan. https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr Date of access 01.11.2022
- The hydroelectric power station cascade is a strategic object for life. – <https://ales.kz/ru/my-v-smi/88-2014-god-5/949-kaskad-ges-pozhiznenno-strategicheskij-ob-ekt> -website of Almaty Electric Power Plants JSC. Accessed 18 January 2024
- Titkov S.N. (1979). About the movement of some rock glaciers of the Zailiisky Alatau. – in: Cryogenic phenomena of Kazakhstan and Central Asia. – Yakutsk: Institute of Permafrost Science, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. – pp. 34-42.
- Titkov S.N. (1989). Facies of rock glaciers. – in: Geocryological research in the mountains of the USSR. – Yakutsk: Institute of Permafrost Science, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. – pp. 98-109.
- Zheltenkova N.V., Gagarin V.E., Koshurnikov A.V., Nabiev I.A. (2020). Routine geocryological observations on the high-mountain passes of the Tien Shan // Arctic and Antarctica. – No. 3. – P. 25–43.
- Zheltenkova N.V., Koshurnikov A.V., Gagarin V.E., Skosar V.V., Brushkov A.V., Spiriyakova K.A., Agapkin I.A., Khimenkov A.N. (2018). Application of electromagnetic sensing methods to prevent dangerous geocryological processes. – Collection of reports of the extended meeting of the Scientific Council on Earth Cryology of the Russian Academy of Sciences “Current problems of geocryology”, Moscow State University, May 15-16, 2018 – Vol.2. – Part 6. – М., “KDU”, – p. 145-149.

Сведения об авторах:

- Пиманкина Нина Валерьевна (корреспондентный автор) – кандидат географических наук, руководитель лаборатории мониторинга динамики снежных и ледовых ресурсов в ТОО «Центрально-Азиатский Региональный Гляциологический Центр категории 2 под эгидой ЮНЕСКО» (г. Алматы, Казахстан, эл. почта: pimankina@mail.ru)*
- Гонтарь Максим Игоревич – геофизик в ТОО «КазГеоплюс» (г. Алматы, Казахстан, эл. почта: maxim.gontar@mail.ru)*
- Пиманкин Алексей Викторович – геолог в ТОО «КазГеоплюс» (г. Алматы, Казахстан, эл. почта: alexeypv@mail.ru)*
- Таскынбаев Алибек Бейбитович – студент 4 курса КазННТУ им. К.И. Сатпаева кафедры геофизики и сейсмологии (г. Алматы, Казахстан, эл. почта: alitaskynbayev@gmail.com)*

Information about authors:

- Pimankina Nina (corresponding author) – Candidate of Geographical Sciences, head of the laboratory for monitoring the dynamics of snow and ice resources of the LLP «Central Asian Regional Glaciological Centre as a category 2 under the auspices of UNESCO» (Almaty, Kazakhstan, email: pimankina@mail.ru)*
- Gontar Maxim – geophysicist at «KazGeoplus» LLP (Almaty, Kazakhstan, email: maxim.gontar@mail.ru)*
- Pimankin Alexey – geologist at «KazGeoplus» LLP (Almaty, Kazakhstan, email: alexeypv@mail.ru)*
- Taskynbayev Alibek – 4th year student of KazNTU named after. K.I. Satpayev, Department of Geophysics and Seismology (Almaty, Kazakhstan, email: alitaskynbayev@gmail.com)*

Поступила: 15 ноября 2023 года

Принята: 17 февраля 2024 года