

Г. С. Дьякова¹, О. В. Останин¹, А. А. Гореевчева², В. В. Оленченко²

¹Алтайский государственный университет, 656049, пр. Ленина, 61, Барнаул, Россия, e-mail: galinabarnaul@mail.ru, ostanin_oleg@mail.ru

²Новосибирский государственный университет, 630090, ул. Пирогова, 1, Новосибирск, Россия, e-mail: lapkovskaya.a.a@gmail.com, olenchenkovv@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ ГЛЯЦИАЛЬНО-МЕРЗЛОТНОГО КАМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ДОЛИНЕ Р. ДЖЕЛО (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЛТАЙ)*

Аннотация. Статья посвящена описанию особенностей строения активного гляциально-мерзлотного каменного образования в долине р. Джело (Северо-Чуйский хребет, Центральный Алтай). Морфологические особенности строения поверхности исследуемого объекта прослеживались на основе анализа аэрофотосъемки с БПЛА; такие параметры внутреннего строения, как аровля и подошва каменно-ледяных отложений, выделялись на основе анализа данных георадиолокационного зондирования. В работе сделана попытка выявления зависимости морфологии поверхности от внутреннего строения гляциально-мерзлотных каменных образований.

Ключевые слова: Алтай, гляциально-мерзлотные каменные образования, каменный глетчер, георадиолокационное зондирование, аэрофотосъемка, цифровая модель рельефа.

G. S. Dyakova¹, O. V. Ostanin¹, A. A. Goreyavcheva², V. V. Olenchenko²

¹Altai State University, 656049, Lenin Ave. 61, Barnaul, Russia, e-mail: galinabarnaul@mail.ru

²Novosibirsk State University, 630090, Pirogov St. 1, Novosibirsk, Russia, e-mail: lapkovskaya.a.a@gmail.com, olenchenkovv@yandex.ru

RESEARCH OF THE STRUCTURE OF GLACIAL-PERMAFROST ROCK FORMATION IN THE VALLEY OF DZHELO RIVER (CENTRAL ALTAI)*

Abstract. The article is devoted to the description of the structural features of the active glacial-permafrost rock formation in the valley of the Dzhelo

River (North — Chuya Range, Central Altai). The morphological features of the surface structure of the object were identified based on the analysis of aerial photography from the UAV; the features of the internal structure were traced based on the analysis of GPR sounding data. An attempt was made to reveal the dependence of the surface morphology on the internal structure of glacial — permafrost rock formations.

Key words: Altai, glacial-permafrost rock formations, rock glacier, GPR sounding, aerial photography, digital elevation model

Введение. В настоящее время исследованию внутреннего строения гляциально-мерзлотных каменных образований посвящается немало работ. Актуальность подобных исследований в Альпах и на Кавказе обусловлена тем, что данные образования зачастую могут представлять угрозу дорогам и инженерным сооружениям. Обладая способностью к самостоятельному вязкопластическому течению под действием силы тяжести, гляциально-мерзлотные каменные образования (ГМКО) могут представлять несомненную угрозу в густонаселенных горных районах.

Что касается Алтая, то несмотря на широкое распространение данных образований (только на территории Центрального Алтая выявлено более 2500 ГМКО [1]), они практически не представляют угрозы, так как это малонаселенная территория, а низкие среднегодовые температуры обуславливают низкую скорость движения исследуемых образований (не более 1–3 см/год) [2].

Для Горного Алтая данные образования по большей части представляют интерес в связи с тем, что являются хранилищами пресной воды, более устойчивыми к изменениям климата, чем классические ледники. В период активной деградации оледенения оценка запасов льда в гляциально-мерзлотных каменных образованиях становится актуальной, поскольку позволяет оценить степень устойчивости территории к глобальным климатическим изменениям и аридизации.

Материалы и методы исследования. Исследование внутреннего строения ГМКО с помощью бурения или шурфования чрезвычайно трудоемко и может нарушить целостность гляциомерзлотной системы, приведя к деградации ГМКО, и поэтому на первый план выходят неразрушающие методы, в частности — геофизические исследования. Одним из широко распространенных геофизических методов исследования внутреннего строения криогенных объектов является метод георадиолокационного зондирования (ГРЛЗ). Исследования были проведены на активном языкообразном присклоновом ГМКО в долине р. Дже-

ло (Северо-Чуйский хребет). Измерения проводились георадаром «Питон-3» с антенными блоками разных частот (100, 50 и 38 МГц), которые дают возможность получать георадиолокационные разрезы глубиной до 20, 40 и 60 м соответственно. При анализе полученных данных было установлено, что оптимальным является использование антенного блока с частотой 50 МГц, максимальная глубина зондирования которого составляет 40 м, а разрешающая способность 2 м.

Для обработки данных георадиолокационного зондирования использовались программы Prizm 2.5 и GeoScan 32. Граф обработки включал вычитание среднего, усиление профиля по глубине и задание рельефа.

Строение поверхности ГМКО исследовалось на основе данных дистанционного зондирования. Аэрофотосъемка производилась с помощью БПЛА (квадрокоптера) Phantom 4 фирмы DJI.

Аэрофотосъемка производилась в автоматическом режиме: перед полетом с помощью программного обеспечения Pix4Dcapture настраивалась схема полета, его высота, угол наклона камеры. Схема полета и угол наклона камеры закладывалась с тем расчетом, чтобы полученные данные можно было объединить в ортофотоплан, а также построить цифровую модель рельефа поверхности.

Результаты и их обсуждение. Построенная на основе данных аэрофотосъемки цифровая модель поверхности ГМКО и прилегающей территории позволяет выявить следующие особенности его морфологии (рис. 1):

- поверхность ГМКО осложнена многочисленными (не менее 10) подковообразными валами, повторяющими по форме линию фронта, а также тремя продольными ложбинами глубиной 3–7 м и длиной 80–210 м;
- центральная ложбина делит ГМКО на две части, которые, судя по их форме и строению, имеют разную скорость течения;
- высота фронтального уступа составляет 23 м, его уклон близок к углу естественного откоса (35°);
- высота боковых уступов изменяется от 23 м (в нижней части ГМКО) до 15 м по мере продвижения вверх по склону;
- общий уклон поверхности ГМКО — 13° .

Также хорошо прослеживается рельеф областей, непосредственно примыкающих к ГМКО:

- отчетливо выделяется пойма реки, часть которой к настоящему времени перекрыта осыпными отложениями фронта ГМКО;

- в северо-западной части снимка выявляются напорные валы, параллельные боковому фронту ГМКО. Это смятые в складки под действием ГМКО рыхлообломочные отложения (от крупно-обломочных до тонкодисперсных).

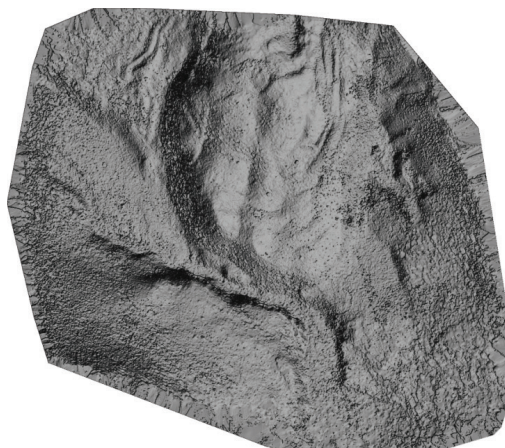


Рис. 1. Цифровая модель рельефа поверхности ГМКО, полученная на основе аэрофотосъемки с использованием БПЛА

Метод георадиолокационного зондирования благодаря контрасту в значениях диэлектрической проницаемости пресных льда и воды ($\epsilon=3,3$ и $\epsilon=81$ соответственно) позволяет проследить границу талых и мерзлых отложений. Таким образом, метод ГРЛЗ помогает решить основные задачи исследования — выделение кровли и подошвы каменно-ледяного ядра ГМКО.

Для решения поставленных задач было заложено два профиля георадиолокационного зондирования: вдоль оси движения ГМКО (рис. 2, профиль А–В) и поперек (рис. 2, профиль D–С).

На рисунке 3а представлены результаты георадиолокационного зондирования объекта по осевому профилю А–В. На радарограмме наблюдается изменение амплитудно-частотных характеристик вдоль профиля, что связано с изменением электрической проводимости. Как видно из разреза, наиболее проводящей является область в прифронтальной части ГМКО в пределах первых 100 м профиля А–В.

В приповерхностной части разреза А–В на радарограмме прослеживается отражающий горизонт, который соответствует кровле каменно-ледяного ядра ГМКО.

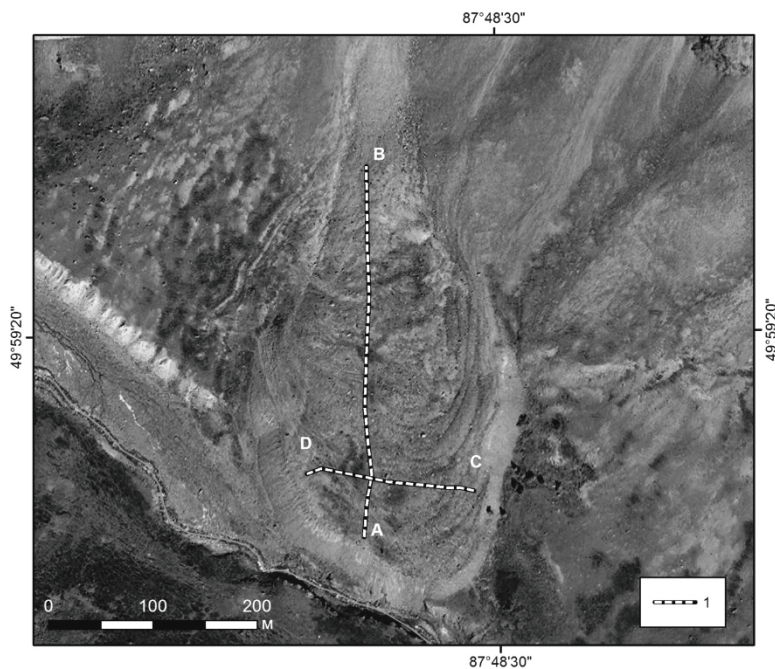


Рис. 2. Схема профилей георадиолокации: 1 — трасса профиля

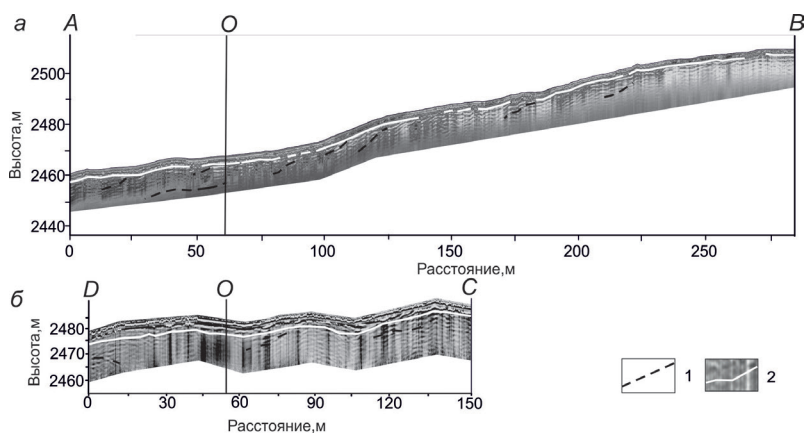


Рис. 3. Радарограммы: а — по профилю А–В; б — по профилю D–C;
1 — предполагаемые границы подошвы каменно-ледяного ядра; 2 — кровля каменно-ледяного ядра; О — точка пересечения профилей

Глубина залегания данного отражающего горизонта изменяется вдоль осевого профиля от 3,5 м в нижней части ГМКО и уменьшается до 2 м в его верхней части. На первых 120 м профиля также выделяется несколько отражающих горизонтов, можно предположить, что они связаны с подошвой каменно-ледяного ядра ГМКО. Мощность каменно-ледяных отложений в нижней части оценивается в 10 м, однако говорить об однозначном выделении этой границы по данным георадиолокационного зондирования нельзя.

При анализе радарограммы по профилю D–C (рис. 36) кровля каменно-ледяного материала была выделена на глубине 2–3 м. Нижняя граница каменно-ледяного материала ГМКО однозначно не прослеживается, наблюдается несколько отдельных крутопадающих границ. Между прифронтовыми боковыми валами ГМКО, которые выделяются по краям профиля с 0 по 60 м профиля и с 120 по 160 м, в рельефе наблюдается ниша протаивания. Внутри этой ниши отмечена возвышенность, которая, вероятно, является остатками каменного материала на протаявшей поверхности. На радарограмме профиля D–C на 60 и 100 м в точках отрицательного рельефа наблюдаются зоны повышенной проводимости, связанные с обводненным участком ниши протаивания.

Наложение радарограмм на ЦМР объекта позволяет проследить взаимосвязь морфологии поверхности ГМКО и его внутреннего строения:

- границы выделенных на радарограмме профиля A–B областей совпадают с границами поперечных валов на поверхности ГМКО;
- положительные формы рельефа на поверхности ГМКО (валы, гряды и т. п.) преимущественно совпадают с ядрами консолидации ледокаменного материала.

Выводы. В результате интерпретации данных георадиолокационного зондирования и его сопоставления с морфологией ГМКО можно сделать следующие выводы:

- 1) как на поперечном, так и на продольном профиле на глубине 2–3,5 м выделяется кровля каменно-ледяного материала;
- 2) достоверно оценить мощность каменно-ледяного ядра ГМКО можно только в нижней части продольного профиля, где наблюдается несколько отражающих горизонтов, — здесь она составляет приблизительно 10 м;
- 3) наличие хорошо выраженных положительных форм рельефа на поверхности ГМКО чаще всего предполагает наличие в его структуре нескольких ядер консолидации ледокаменного материала; поло-

жительные морфоскульптуры чаще всего совпадают с их расположением в теле ГМКО.

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00463\18.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Останин О. В., Дьякова Г. С. Гляциально-мерзлотные каменные образования Центрального Алтая // Известия Алт. гос. ун-та. 2013. № 3–2 (79). С. 167–170.

2. Михайлов Н. Н., Останин О. В., Фукуи К. Гляциально-мерзлотные каменные образования Алтая и их изменения // Вестник СПб. ун-та. 2007. Сер. 7. Вып. 3. С. 91–99.

REFERENCES

1. Ostanin O. V., D'jakova G. S. Gljacial'no-merzlotnye kamennye obrazovaniya Central'nogo Altaja // Izvestija Alt. gos. un-ta. 2013. № 3–2 (79). S. 167–170.

2. Mihajlov N. N., Ostanin O. V., Fukui K. Gljacial'no-merzlotnye kamennye obrazovaniya Altaja i ih izmenenija // Vestnik SPb. un-ta. 2007. Ser. 7. Vyp. 3. S. 91–99.

УДК 913:341.221 (574)

Р. А. Каратабанов¹, К. М. Джаналеева¹, А. В. Кротов²

¹Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, 010008, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан,
e-mail: ruslan.karatabanov@nu.edu.kz, Dzhanaleeva44@mail.ru

²Алтайский государственный университет, 656049, пр. Ленина, 61, Барнаул, Россия, e-mail: krotov_av@mail.ru

АНАЛИЗ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Аннотация. В современных условиях пространство и месторасположение перестают рассматриваться как второстепенные категории государственной политики и становятся важным фактором социаль-