

## **ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ КАМЕННОГО ГЛЕТЧЕРА СУКОРСКОГО ОПОЛЗНЯ-ОБВАЛА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)**

*Анастасия Александровна Лапковская*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, инженер, e-mail: LapkovskayaAA@ipgg.sbras.ru

*Владимир Владимирович Оленченко*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)330-79-08, e-mail: OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

*Галина Сергеевна Дьякова*

Алтайский государственный университет, 656049, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 61, ассистент кафедры физической географии и геоинформационных систем, e-mail: galinabarmaul@mail.ru

Приведены результаты исследований одного из каменных глетчеров Горного Алтая методом электротомографии. По полевым данным построены геоэлектрические разрезы, получена модель по результатам трехмерной инверсии и построены карты распределения удельного электрического сопротивления (УЭС) по площади на разных глубинах. Установлено, что УЭС каменно-ледяных ядер изменяется от первых десятков тысяч до нескольких сотен тысяч Ом·м. Над каменно-ледяными ядрами отчетливо проявляется сезонно-талый слой мощностью 5-7 м, отличающийся пониженными значениями УЭС.

**Ключевые слова:** каменный глетчер, электротомография, Горный Алтай, многолетнемерзлые породы, геоэлектрический разрез.

## **THE GEOELECTRICAL STRUCTURE OF ROCK GLACIER SUKORSKY LANDSLIDE (ALTAI MOUNTAINS)**

*Anastasia A. Lapkovskaya*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptuyug Prospect 3, Engineer, e-mail:lapkovskaya.a.a@gmail.com

*Vladimir V. Olenchenko*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptuyug Prospect 3, Ph. D., Senior Staff Scientist, tel. (383)330-79-08, e-mail: OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

*Galina S. Dyakova*

Altai State University, 656049, Russia, Barnaul, Lenin Prospect 61, Assistant of the Department of Physical Geography and GIS, e-mail: galinabarmaul@mail.ru

The results of electrical resistivity tomography of one of rock glaciers of the Altai Mountains are presented. It was found that the resistivity of rock-ice cores varies from a few tens of thousands to several hundred thousand ohms · m. Above the rock-ice cores clearly manifested active layer capacity of 5-7 m, wherein reduced values of resistivity.

**Key words:** rock glacier, electrical resistivity tomography, Altai Mountains, permafrost, geoelectric section.

Изучение каменных глетчеров (КГ) становится актуальным направлением ряда физико-географических исследований. Результаты этих исследований приобретают сегодня особое значение при разработке планов социально-экономического развития горных территорий России. Кроме того, данные о внутренней структуре каменных глетчеров могут применяться в процессе палеогеографических и палеосейсмогеологических реконструкций [1, 2].

По данным исследований [1], на территории Горного Алтая насчитывается более 1200 подобных объектов, и многие из них находятся в непосредственной близости с населенными пунктами. Определенные условия развития комплексов гляциально-мерзлотных каменных образований могут привести к быстрому перемещению огромного объема ледового-каменного материала. В связи с активным освоением территории Алтайских гор КГ могут нести серьезную угрозу для эффективного развития региона, его инфраструктуры. Комплексное изучение внутреннего строения КГ, их особенностей и специфических характеристик позволит обеспечить продуктивность и безопасность процесса освоения горных территорий.

Современные представления зарубежных специалистов о внутреннем строении каменных глетчеров основаны на комплексировании данных различных геофизических методов [3]. Однако в российской практике гляциальных исследований нет примеров целенаправленного использования геофизических методов для изучения подобных объектов. С 2014 г. в ИНГГ СО РАН ведется научная работа по изучению каменных глетчеров геофизическими методами.

Район исследований находится на территории республики Алтай Кош-Агачского района. Участок исследований расположен между Курайской и Чуйской степями, на Чаган-Узунском блоке, у подножия горы Сукур (абс. 2926 м). Данный участок относится к зоне прерывистого распространения многолетнемерзлых пород [4]. В геологическом строении территории участвуют баратальская свита, представленная известняками, доломитами и силицитами, а также арыджанская свита, включающая в основном вулканогенный, лавовый материал: пиллоу-лавы базальтов, сланцы.

Изучаемый каменный глетчер имеет несколько различных генераций и располагается внутри цирка на северном склоне г. Сукур. Внутренняя часть цирка заполнена обвальными-осыпными отложениями, состоящими из глыб, валунов, щебня, предполагаемой мощностью 70-100 м. Ряд исследователей рассматривают данный объект как палеосейсмодислокацию, в которой сформировался оползень-обвал [5].

В 2015 г. площадными исследованиями был изучен каменный глетчер, расположенный в левом (северо-западном) борту цирка. Данные об особенностях внутреннего строения были получены с помощью метода электротомографии (ЭТ), исследования проводились многоэлектродной

электроразведочной станцией «Скала-48». Измерения выполнены поперек структуры КГ по семи профилям. Шесть профилей имели протяженность 475 м и один – 355 м. Расстояние между профилями составляло 50 м. Один из профилей длиной 840 м располагался вдоль оси структуры. Последовательность подключения электродов соответствовала трехэлектродной (поле-диполь) прямой и встречной установкам ( $AO_{\max}=215$  м). Шаг измерений по профилю составлял 5 м. Максимальная глубинность измерений составила 80 м.

Инверсия полученных данных осуществлялась в рамках двумерных и трехмерных моделей с учетом рельефа с помощью программ Res2Dinv, Res3Dinv [6]. По результатам интерпретации были построены геоэлектрические разрезы по профилям, на основе 3D-инверсии получена трехмерная модель и построены карты распределения УЭС по площади на разных глубинах.

Особенности строения наиболее наглядно отражаются на геоэлектрическом разрезе продольного профиля. На рисунке показан геоэлектрический разрез и его интерпретация по профилю, пересекающему каменный глетчер вдоль оси, по направлению спуска.

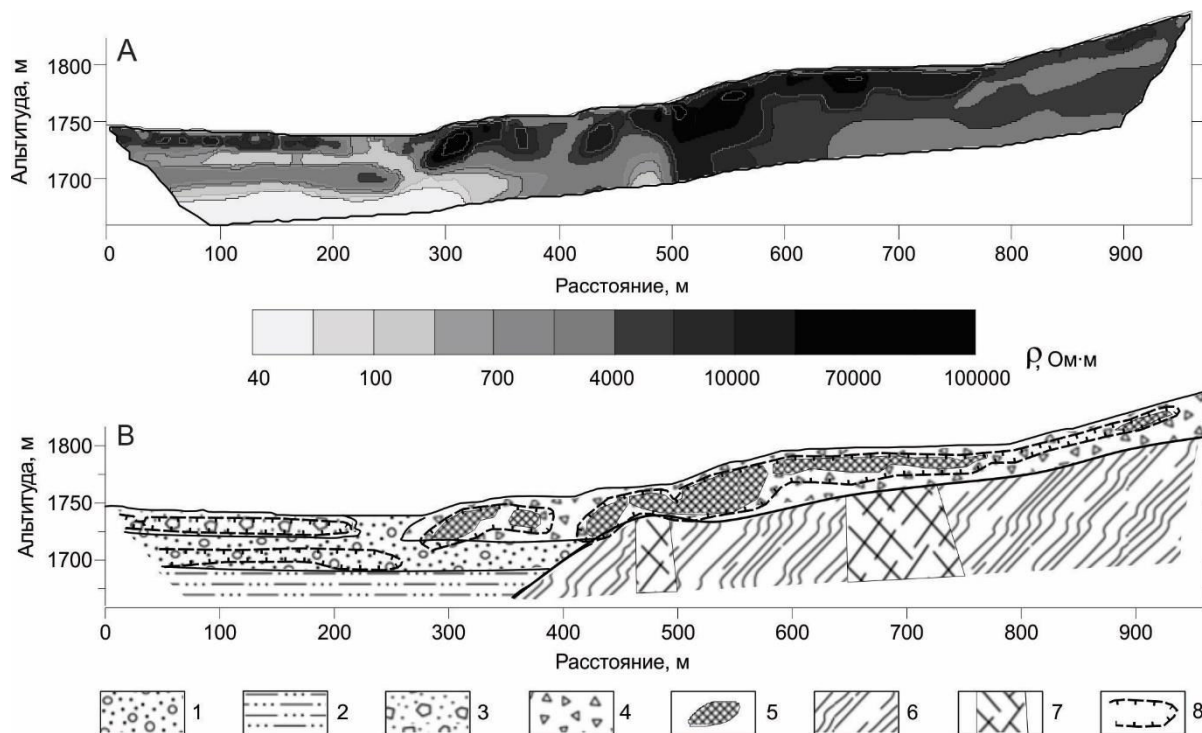


Рис. А) Продольный геоэлектрический разрез каменного глетчера  
 В) Интерпретация: 1 – песчано-галечниковые отложения; 2 – супеси;  
 3 – моренные отложения; 4 – каменный глетчер; 5 – каменно-ледяное ядро;  
 6 – коренное ложе; 7 – зоны разломов в коренных породах; 8 – граница  
 многолетнемерзлых пород

Данный профиль охватывает прифронтальную часть, несколько генераций основного потока, а также частично боковой фронт каменного глетчера. Профиль пересекает не менее 5 генераций, а также несколько прифронтальных

напорных валов. Сам каменный комплекс является неактивным. Практически вся поверхность этой геоморфологической структуры покрыта лесом и кустарником, что говорит о значительном возрасте каменных комплексов. Доказательством этому служит отсутствие признаков современной активности: фронтальные части каменного глетчера выположены и задернованы, молодая древесная растительность не имеет видимых нарушений (перекрученных или наклоненных стволов). В прифронтальной части данного образования фиксируются напорные валы, свидетельствующие о том, что ранее каменный глетчер активно двигался.

С помощью программы Past 3.1 [7] был проведен статистический анализ распределения УЭС в среде. Инструмент Mixture analysis программы Past 3.1 позволяет оценить параметры (среднее значение, стандартное отклонение и т. д.) двух или более одномерных нормальных распределений на основе обобщенной одномерной выборки. По результатам статистического анализа можно выделить несколько комплексов пород, различающихся по УЭС (таблица). Согласно известной [8] зависимости УЭС рыхлых пород от литологического состава, выделенные комплексы пород можно отнести к представленным в таблице литологическим группам.

Таблица

Комплексы пород, различающиеся по УЭС

УЭС пород, Ом·м			Литология
-σ	+σ	Среднее	
52	73	61	Супеси
101	115	108	Пески
215	1144	496	Галечниковые с песчаным заполнителем
1230	4027	2225	Мёрзлые моренные, мёрзлые аллювиальные
3493	4535	3980	Осыпные отложения, коренные породы
3529	9815	5886	Мёрзлые склоновые
16625	70999	34356	Каменно-ледяные

В верхней части разреза на первых 250 м профиля выделяется горизонт повышенного УЭС, представленный моренными отложениями. Высокое электрическое сопротивление (6000-12000 Ом·м) внутренних частей морены говорит об их мерзлом состоянии. При этом в интервале глубин 27-45 м выделяется еще один горизонт высокого УЭС (1200-4000 Ом·м), интерпретируемый как погребенная многолетнемерзлая толща. Она подстилается отложениями низкого электрического сопротивления (60 Ом·м), вероятно, представленными супесями.

Таким образом, геолого-геофизическая интерпретация полученных данных позволила соотнести высокоомные аномалии с каменно-ледяными ядрами в отложениях каменного глетчера. Зафиксировать, что УЭС каменно-ледяных ядер изменяется от первых десятков тысяч до нескольких сотен тысяч Ом·м. Предположительно, такой разброс значений объясняется различной

льди́стостью. В коренных породах вертикальными зонами пониженных УЭС выделяются тектонические нарушения. Над каменно-ледяными ядрами отчетливо проявляется сезонно-талый слой мощностью 5-7 м, отличающийся пониженными значениями УЭС, причем максимальная глубина оттаивания отмечается в местах незадернованной каменистой поверхности.

Авторы выражают благодарность Потапову В.В., Шеину А.Н., Камневу Я.К. за помощь в проведении полевых исследований.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Останин О.В., Дьякова Г.С. Гляциально-мерзлотные каменные образования Центрального Алтая // Известия АлтГУ. - 2013. - Т. 2 - С. 167-170.
2. Галанин А.А. Каменные глетчеры северо-востока России: строение, генезис, возраст, географический анализ: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. - СВНЦ ДВО РАН, 2009. - 35 с.
3. Ribolini A. and etc. The internal structure of rock glaciers and recently deglaciated slopes as revealed by geoelectrical tomography: insights on permafrost and recent glacial evolution in the Central and Western Alps (Italy–France) // Quaternary Science Reviews. - 2010. - Vol. 29. - P. 507-521.
4. Шац М.М. Геокриологические условия Алтае-Саянской горной страны. - Новосибирск: Наука, 1978. - 103 с.
5. Деев Е.В., Зольников И.Д., Староверов В.Н. Отражение быстрых геологических процессов в отложениях и текстурах (на примере разновозрастных комплексов Северной Евразии) // Литосфера. - 2012. - № 6 - С. 14-35.
6. Loke, M.H. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys, RES2DINV Manual, IRIS Instruments, 2009.
7. Oyvind Hammer, 1999-2012, PAST – Paleontological Statistics, Reference Manual.
8. СП 11-105-97. «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. «Правила производства геофизических исследований» / Госстрой России. - М.: ПНИИИС Госстроя России, 2004. - 53 с.

© А. А. Лапковская, В. В. Оленченко, Г. С. Дьякова, 2016