

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОЛЕТНЕМЁРЗЛОЙ ТОЛЩИ ПЕРЕВАЛА ЖОСАЛЫ КЕЗЕН (ИЛЕЙСКИЙ АЛАТАУ) ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ

Владимир Владимирович Оленченко

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, 3, старший научный сотрудник, тел. (383)330-79-08, e-mail: OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

Ярослав Константинович Камнев

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, 3, инженер, тел. (383)330-79-08, e-mail: KamnevYK@ipgg.sbras.ru

Рассмотрены результаты электрических зондирований в области распространения многолетнемёрзлых пород альпийского типа. Показано влияние экспозиции склона и тектоники на строение геоэлектрической модели многолетнемёрзлой толщи. Установлено закономерное изменение геоэлектрической модели при переходе от сплошного типа распространения мерзлых пород к прерывистому и островному.

Ключевые слова: электротомография, многолетнемёрзлые породы, разлом, талик.

GEOELECTRIC MODEL OF PERMAFROST ZHOSALY KEZEN PASS (ILEYSKIY ALATAU) BY RESULTS OF ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY

Vladimir V. Olenchenko

Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Akademika Koptyuga Prosp., senior staff scientist, tel. (383)330-79-08, e-mail: OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

Yaroslav K. Kamnev

Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Akademika Koptyuga Prosp., engineer, tel. (383)330-79-08, e-mail: KamnevYK@ipgg.sbras.ru

The results of electrical soundings in the area of mountain permafrost presented. Effect of slope exposure and faults on structure of the geoelectric model permafrost has been shown. Change in the type of continuous permafrost to the island type leads to a regular change in the geoelectric model.

Key words: electrical resistivity tomography, mountain permafrost, fault, talik.

Изучение морфологии многолетнемёрзлых пород (ММП) это одна из основных задач геокриологии. Для определения морфометрических параметров многолетнемерзлой толщи наряду с бурением применяются геофизические методы. Одним из наиболее информативных методов исследования криолитозоны является современная модификация вертикального электрического зондирования – электротомография (ЭТ).

В основе технологии электротомографии заложены многоэлектродные измерения и двумерная инверсия данных зондирований. В результате получают распределение удельного электрического сопротивления горных пород по разрезу, по которому судят о геологическом и/или геокриологическом строении массива. Технология ЭТ отличается от классических вертикальных электрических зондирований высокой пространственной плотностью наблюдения и двумерным подходом к интерпретации, что позволяет использовать её для изучения сложнопостроенных геологических разрезов.

Технология электротомографии была применена нами для изучения многолетнемёрзлых пород Тянь-Шаня. Основными задачами являлись оценка мощности ММП и влияния на её строение локальных факторов, таких как экспозиция склона, тектоника.

Исследования проводились в высокогорье Северного Тянь-Шаня на хребте Илейский Алатау. Участок работ располагался на перевале Жосалы Кезен (абс. высота 3340 м). Здесь в межгорной седловине на площади около 3 км² расположены здания и инженерные сооружения научных организаций Республики Казахстан и Института мерзлотоведения СО РАН (ИМЗ СО РАН). На застроенной территории и за её пределами находятся несколько термометрических скважин. Термометрические скважины вскрывают крупнообломочные толщи верхнеплейстоценовых и голоценовых морен мощностью около 20-25 м, подстилаемых коренными гранитными породами. Межгорная седловина представляет собой узел пересечения двух тектонических нарушений, образующих мощную зону дробления субширотного простирания, протягивающуюся между долинами рек Проходной и Озёрной [1].

По данным Казахстанской высокогорной геокриологической лаборатории ИМЗ СО РАН температура ММП в слое нулевых годовых колебаний изменяется в пределах минус 0,2-0,3 °С. Максимальная предполагаемая мощность ММП на склоне северной экспозиции составляет около ста метров, 70 м из которых вскрыто скважиной № 3 (рис.1а). В 220 м от скв. 3 по направлению к склону южной экспозиции мощность ММП сокращается предположительно до 35-40 м (скв. №1 не вскрыла подошву ММП). Еще через 80 м в скважине №2, пробуренной около отапливаемых до 1987 года зданий, вскрытая мощность мёрзлых пород составляла 13 м. Через 110 м от скважины №2 под склоном южной экспозиции скважина №4 на глубину до 300 м не вскрыла мёрзлые породы.

Профиль электрических зондирований располагался в створе термометрических скважин. Зондирования выполнялись с помощью многоэлектродной электроразведочной станции «Скала-48» [2]. Измерения осуществлялись последовательностью подключения электродов, соответствующей симметричной установке Шлюмберже с максимальными разносами питающей линии 235 м, что обеспечивало глубинность

исследований 35-40 м. Инверсия разреза кажущегося сопротивления проводилась в программе Res2Dinv [3].

На рис. 1 показан геокриологический разрез по [4] и геоэлектрический разрез по данным электротомографии. На геоэлектрический разрез снесены проекции скважин. Сами скважины находились на расстоянии от 10 (скв. 1) до 40 м (скв. 3, 2) от оси профиля. Скважина № 4 расположена в 110 м перпендикулярно оси профиля.

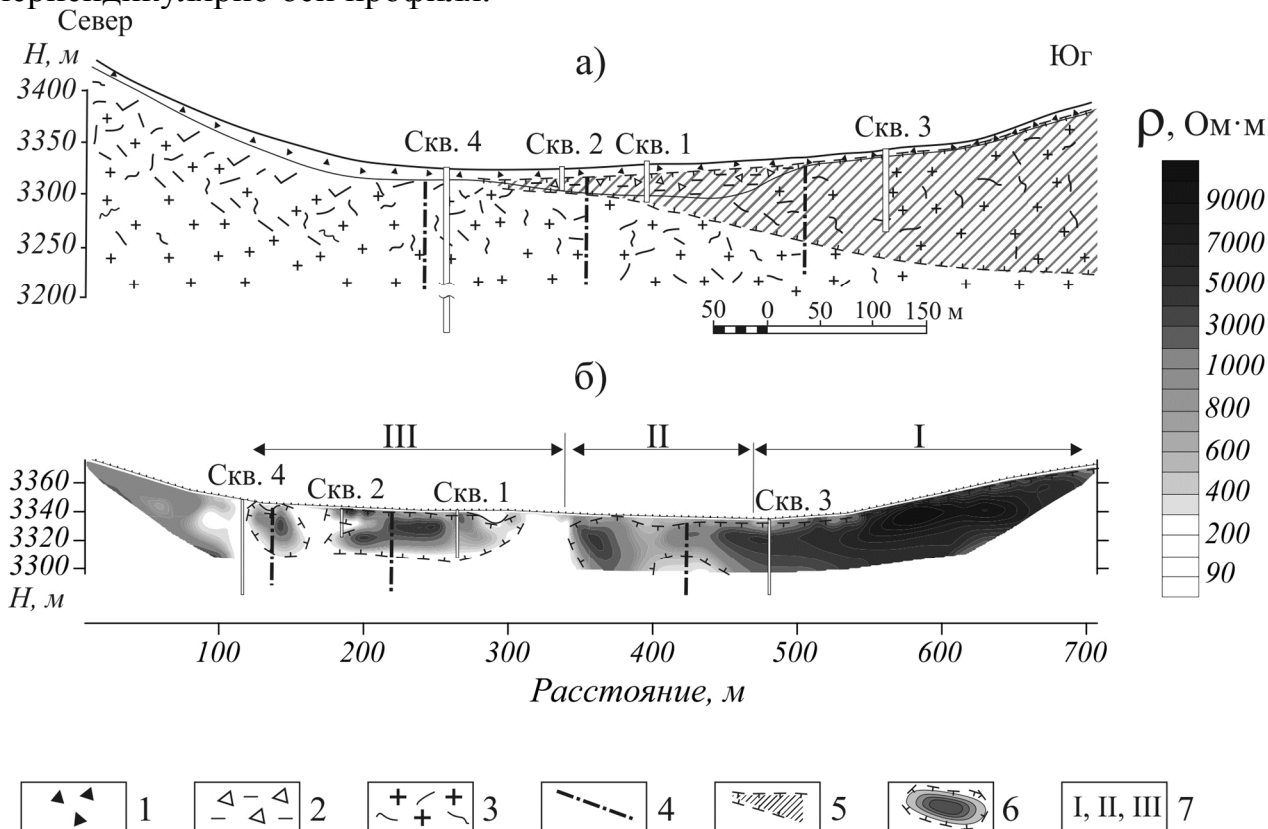


Рис. 1. Геокриологический (а) и геоэлектрический (б) разрез перевала Жосалы Кезен:

- 1- склоновые отложения; 2- моренные крупноглыбовые отложения с песчано-суглинистым заполнителем; 3- граниты трещиноватые; 4- разломы; 5- мёрзлые породы по данным бурения 1967 г; 6- мёрзлые породы по данным электроразведки 2013 г.

Мёрзлая часть разреза склона северной экспозиции характеризуется высокими (4500-11000 Ом·м) значениями удельного электрического сопротивления (УЭС). При этом, максимуму УЭС соответствуют ММП с минимальной температурой на глубине 10-15 м, установленной по данным термокаротажа скв. №3. Мощность слоя высокого УЭС превышает глубинность исследований.

По мере продвижения профиля по направлению к склону южной экспозиции (с юга на север) УЭС мёрзлой толщи понижается до 2000-5000, геоэлектрический разрез становится невыдержанным, а в области

тектонического нарушения наблюдается уменьшение мощности высокоомного слоя. Уменьшение УЭС мёрзлых пород связано с ростом их температуры, вызванной как сменой экспозиции склона, так и повышенным тепловым потоком по разлому.

На горизонтальной поверхности седловины в зоне тектонического разлома слой высокого сопротивления, ассоциируемый с ММП, становится фрагментарным, что отражает островное строение многолетнемёрзлых пород. УЭС пород здесь меняется от 780 до 5000 Ом·м в зависимости от литологического состава, температуры и льдистости.

На склоне южной экспозиции УЭС трещиноватых гранитов составляет 780-1600 Ом·м, что говорит об их талом состоянии.

В соответствии с характером распределения УЭС вдоль линии профиля в направлении с юга на север можно выделить участок сплошного (I), прерывистого (II) и островного (III) типов распространения мёрзлых пород (рис. 1 б). При этом закономерно изменяется как строение высокоомного слоя (от сплошного типа к прерывистому и островному), так и его УЭС. Изменение УЭС при смене типа ММП от сплошного к островному связано с повышением температуры мёрзлой толщи.

Помимо температуры на УЭС горных пород влияет и литологический состав. На рис. 2 показана гистограмма распределения УЭС пород на перевале Жосалы Кезен. Распределение характеризуется полимодальностью, что говорит о неоднородности выборки. То есть в разрезе присутствуют несколько групп пород, обладающих определённым УЭС.

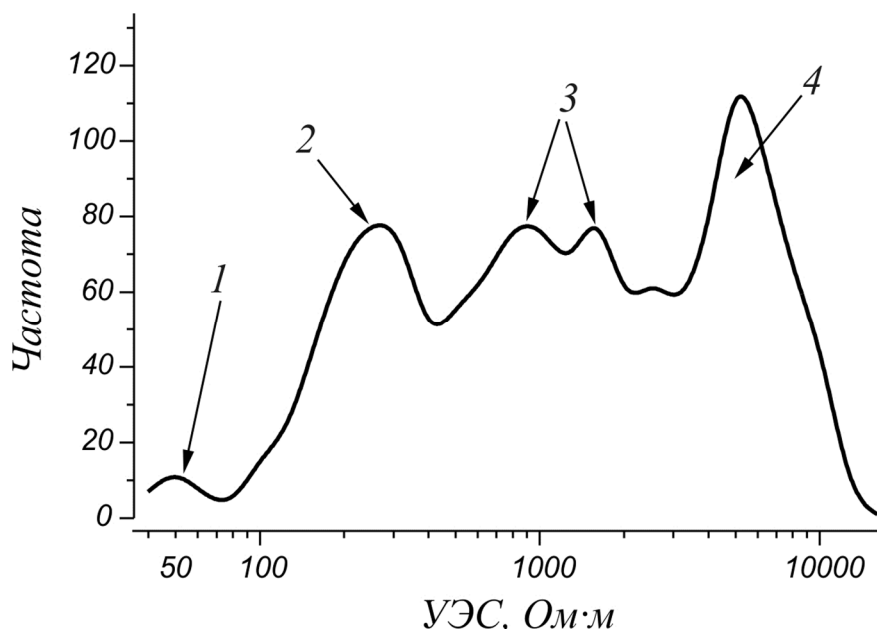


Рис. 2. Гистограмма распределения УЭС горных пород на участке работ:

- 1- милониты зоны разлома; 2- талые моренные и склоновые отложения; 3- мерзлые моренные и талые трещиноватые граниты; 4- мёрзлые трещиноватые граниты

На основе известных зависимостей УЭС от температуры и литологического состава пород гистограмма распределения интерпретируется следующим образом. Группе пород с сопротивлением 50 Ом·м соответствуют милониты зоны дробления, так как только присутствием глинистой фракции можно объяснить такие низкие УЭС горных пород. Максимум распределения на 250 Ом·м вызван тальми моренными и склоновыми отложениями, представленными глыбово-валунными отложениями с песчаным заполнителем, песчаным и щебенистым грунтом. В диапазоне УЭС 700-2000 Ом·м проявляется два максимума, соответствующих тальм трещиноватым гранитам и мёрзлым моренным и склоновым отложениям. Мода, равная 5000 Ом·м отвечает за мёрзлые трещиноватые граниты.

Таким образом, в результате электрических зондирований на перевале Жосалы Кезен установлено, что при смене экспозиции склона закономерно уменьшается мощность слоя высокого сопротивления, интерпретируемого как толща многолетнемёрзлых пород, изменяется его строение от сплошного к фрагментарному, а также уменьшается электрическое сопротивление. Все эти трансформации геоэлектрической модели вызваны сменой типов распространения многолетнемёрзлой толщи от сплошного к прерывистому и островному, происходящей при изменении экспозиции склона. Другим фактором, влияющим на строение ММП, является разломная тектоника. В зоне разломов наблюдаются нарушения в распределении УЭС по высокоомному слою, а также общее уменьшение УЭС пород, связанное с повышением температуры ММП.

Исследования выполнены при частичной поддержке гранта РФФИ № 14-05-00435 А.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбунов А.П., Северский Э.В., Титков С.Н. Геокриологические условия Тянь-Шаня и Памира. Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 1996. 194 с.
2. Балков Е. В., Панин Г. Л., Манштейн Ю. А., Манштейн А. К., Белобородов В. А. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nemfis.ru/pdf/etom.pdf>.
3. Loke M.H. Tutorial. RES2DINV ver. 3.59, Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method. Malaysia: Geotomo Software, 2010. 148 с.
4. Филатов Л. Г., Ровенский М. И., Тузов В. А., Гуленин Н. Е. Методика комплексных геофизических исследований при решении гидрогеологических и инженерно-геологических задач в селеопасных районах Большой и Малой Алматинок // Мат-лы семинара по применению географич. и математич. методов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. Москва, 1967. Вып. 5, с. 159-171.

© В. В. Оленченко, Я. К. Камнев, 2014