

Геоэлектрическое строение разреза на Анмангындинской наледи (Магаданская область) по данным метода ЗСБ

В. В. Потанов^{1}, О. М. Макарьева², В. В. Оленченко¹*

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. Трофимука А.А. СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

² Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация

* e-mail: potapovvv@ipgg.sbras.ru

Аннотация. В марте 2021 года проводились измерения методом ЗСБ на Анмангындинской наледи в Магаданской области. Цель исследований состояла в том, чтобы с помощью метода ЗСБ определить места разгрузки подземных вод, которыми предположительно питается наледь и определить геоэлектрическое строение среды под наледью и ее ближайшими окрестностями до глубин 500 метров. В пределах участка исследований были выполнены профильные зондирования методом ЗСБ, вдоль 8 профилей различной длины, которые пересекают саму наледь и русло р. Анмангынды выше и ниже по течению. Измерения проводились генераторной петлей размером 71*71 метр, измерительная петля размером 20*20 метров с расстоянием 100 метров от центра генераторной петли. При проведении исследований на Анмангындинской наледи были проведены измерения на 98 пикетах вдоль 9 профилей. В пределах участка исследований удельное электрическое сопротивление горных пород определяется в первую очередь их литологическими особенностями, степенью трещиноватости и вещественным составом. Это затрудняет геокриологическую интерпретацию разрезов и делает практически невозможным выделение таликов в условиях низкоомных глинистых сланцев. Места выходов подземных вод на поверхность выше наледной поляны пространственно совпадают с выходом на поверхность крутопадающих зон пониженного УЭС, интерпретируемых как разломы, по которым вероятно происходит разгрузка подземных вод.

Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, метод зондирований становлением поля, геоэлектрический разрез, удельное электрическое сопротивление, наледь

Goelectric structure of the section on the Anmangynda ice (Magadan region) according to the data of the TEM method

V. V. Potapov^{1}, O. M. Makarieva², V. V. Olenchenko¹*

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

² Mel'nikov Permafrost Institute of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (MPI SB RAS), Yakutsk, Russian Federation

* e-mail: potapovvv@ipgg.sbras.ru

Abstract. In March of 2021, measurements were carried out by the TEM method on the Anmangynda aufeis in the Magadan region. The purpose of the research was to use the TEM method to determine the places of discharge of groundwater, which presumably feeds the aufeis, and to determine the goelectric structure of the environment under the aufeis and its immediate surroundings to depths of 500 meters. Within the research area, profile soundings were performed by the TEM method, along 8 profiles of different lengths that intersect the aufeis itself and the bed of the Anmangynda River upstream and downstream. The measurements were carried out by a generator loop measuring 71 * 71 meters, a measuring loop measuring 20 * 20 meters with a distance of 100 meters from the center

of the generator loop. When conducting research on the Anmangynda aufeis, 98 pickets were measured along 9 profiles. Within the research area, the electrical resistivity of rocks is determined primarily by their lithological features, degree of fracturing and material composition. This significantly complicates the geocryological interpretation of the sections and makes it almost impossible to isolate taliks in conditions of low-resistance clay shales. The places of groundwater outlets to the surface above the aufeis glade spatially coincide with the access to the surface of the steeply falling zones of the lowered UES, interpreted as faults along which the discharge of groundwater is likely to occur.

Keywords: permafrost, transient electromagnetic method, geoelectric section, electrical resistivity, aufeis

Введение

В марте 2021 года проводились измерения методом ЗСБ на Анмангындинской наледи в Магаданской области. Цель исследований состояла в том, чтобы с помощью метода ЗСБ определить места разгрузки подземных вод, которыми предположительно питается наледь и определить геоэлектрическое строение среды под наледью и ее ближайшими окрестностями до глубин 500 метров.

В пределах участка исследований были выполнены профильные зондирования методом ЗСБ вдоль 8 профилей различной длины, которые пересекают саму наледь и русло р. Анмангынды выше и ниже по течению. Также были сделаны зондирования по профилю вдоль русла реки в пределах наледи.

Характеристика участка исследований

Анмангындинская наледь расположена в центральной части Магаданской области, в верхнем течении р. Колымы, в бассейне р. Анмангынды, которая является правым притоком р. Детрин, впадающей в р. Колыму.

В геологическом строении района исследований участвуют пермские и триасовые отложения, в долинах рек – четвертичный аллювий.

Пермские отложения представлены нерючинской и кулинской свитами (P2nr+kl). Нерючинская свита сложена преимущественно глинистыми сланцами. Вышележащая кулинская свита характеризуется значительным развитием алевролитов, песчаников, мелкогалечных конгломератов и туфогенных сланцев.

Отложения нижнего отдела триаса (T1) сложены глинистыми и песчано-глинистыми сланцами, а средний отдел триаса представлен анизийским ярусом (T2a), сложенным алевролитами, песчано-глинистыми сланцами.

Современный аллювий в долине р. Анмангынды состоит преимущественно из крупно- и среднегалечного материала с подчиненным количеством мелких валунов, гравия, песков, супесей мощностью 6-12 м.

В районе исследований развиты многолетнемерзлые породы, мощность которых по литературным данным на водоразделах достигает 300 м, а в долинах рек сокращается до 80-100 м. Температура ММП в середине прошлого века в слое нулевых годовых колебаний составляла от – 1,7 до – 3,5 °С.

Методика

При зондированиях размер генераторной петли составлял 71×71 м. Регистрация электромагнитного поля осуществлялась одновитковой петлей размером 20×20 метров с разносом от центра генераторной петли 100 метров.

Перед началом работ предполагалось проводить измерения с использованием соосной петли размером 10×10 метров. Однако, как показали первые измерения, получить достоверные данные с использованием соосных установок не представляется возможным. На сигналах становления виден колебательный процесс до времен 20 мкс, что обычно связано с высоким сопротивлением среды при применении метода ЗСБ. Необходимо добавить, что данный колебательный процесс проявлялся даже на минимальных усилениях и при минимальном токе 0,2 А. Таким образом при измерениях по соосной схеме мы теряем информацию о разрезе вплоть до времен 20 мкс, что неприемлемо для решения поставленных задач.

Такого рода колебательные процессы возникают при измерениях над высокоомными средами, когда токи, которые должны возбуждаться в среде от индукционного процесса выключения тока в генераторной петле не идут в среду, поскольку там высокое удельное электрическое сопротивление, а создаются в измерительной петле и генерируют в ней данный колебательный процесс.

Этот процесс высокоамплитудный и быстрый и при определенных условиях возможна перегрузка измерительного тракта измерителя, который перестает достоверно измерять переходный процесс [1].

Измерения шумов в районе исследований проводились на каждом пикете вдоль всех профилей и были выявлены следующие особенности участка работ. Вдоль р. Анмангынды, на которой располагается сама наледь, проходит автомобильная дорога и за дорогой на северном борту долины р. Анмагынды проходят две линии электропередач (ЛЭП) с различной мощностью. В условиях проводящего разреза при измерении методом ЗСБ удаления в 300-400 метров от ЛЭП достаточно для того, чтобы промышленная помеха от таких ЛЭП не влияла на качество измерений. Однако на нашем участке наблюдается совсем иная картина.

Уровень периодических промышленных помех на пикете 65 (близкий к ЛЭП) составил 2 В на максимальном усилении, а на пикете 104 (дальний от ЛЭП) он составил 74 мВ при максимальном усилении. Это высокий уровень помех, кроме того, уровень сигнала помехи слабо спадает с расстоянием от ЛЭП.

Анализ проведенных тестовых измерений показал следующее:

1) Шумовая обстановка на участке работ неблагоприятная, имеется высокий уровень промышленных помех, который слабо спадает с расстоянием от источника этих помех – ЛЭП;

2) В измерительной одновитковой петле после выключения возбуждается колебательный процесс, связанный с высоким удельным электрическим сопротивлением среды, из-за которого энергия выключения тока идет не в среду, а идет в измерительную петлю;

3) Измерения соосными и разнесенными установками не совпадают даже на поздних временах, что связано скорее всего с перегрузкой измерительного тракта в измерителе, что опять же связано с высоким сопротивлением среды.

Для минимизации влияния всех выше указанных факторов на качество измерений необходимо увеличивать размеры генераторной и измерительной петли. Также необходимо разносить генераторную и измерительную петлю друг от друга чтобы, не происходило перегрузки измерительного тракта. Это взаимо-

исключающие требования, однако необходимо было найти компромисс, при котором, выполняются оба условия.

Таким образом была реализована следующая схема измерений.

Измерения проводились генераторной петлей размером 71×71 м, измерительная петля размером 20×20 м с разномом 100 метров от центра генераторной петли. Схема расположения петель диагональная, с расстоянием между центрами генераторных и измерительных петель 100 метром. Таким образом обеспечивалось проведение профильных измерений с непрерывным перемещением вдоль профиля генераторной петли.

Измерения проводились современной аппаратурой «Fast-Snap» [2]. Для качественного измерения во всем диапазоне времен сила тока в генераторной петле менялась от 0,5 А до 22 А. Питание генератора осуществлялось от трех автомобильных аккумуляторов емкостью 75 А·ч и напряжением 12 В. Длительность токового импульса составляла – 20 мс, паузы – 20 мс.

Большинство сигналов ЗСБ имели длительность от 10 мкс до 1 мс, однако имелось незначительное количество кривых, с длительностью до 4-5 мс, что связано с уменьшением сопротивления разреза на этих точках. Также были кривые, у которых конечное время составило всего 300-400 мкс, эти кривые располагались на пикетах с высокими сопротивлениями среды.

Первичная обработка измеренных данных проводилась в специализированном программном обеспечении для аппаратуры FastSnap [3]. В процессе обработки полевые данные фильтруются, осредняются и трансформируются в формат, пригодный для геофизической интерпретации. Некондиционные записи и зашумлённые сигналы исключаются из набора данных в ходе обработки, а нежелательные помехи подавляются. Методика первичной обработки с использованием специализированного программного обеспечения описана в [4].

При проведении исследований на Анмангындинской наледи проведены измерения на 98 пикетах вдоль 9 профилей. Схема первых 8 профилей показана на рис. 1. Девятый профиль пересекает русло р. Анмангында в 8 км ниже по течению и состоит из 5 пикетов. Расположение пикета отнесено к центру выносной измерительной петли.

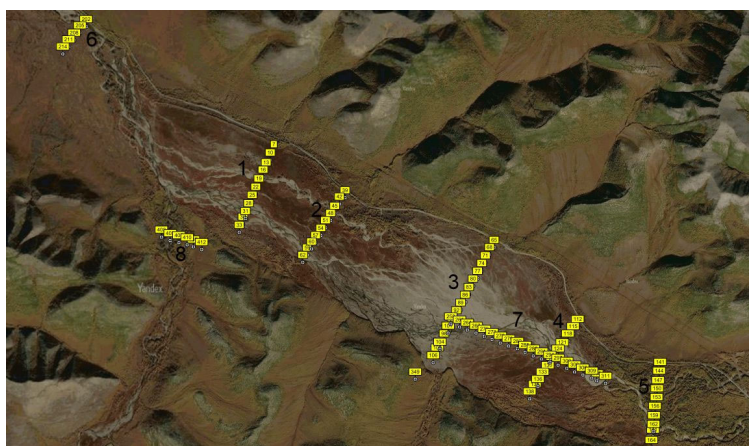


Рис. 1. Схема профилей и пикеты при измерениях методом ЗСБ на Анмангындинской наледи

После предварительной обработки были получены конечные сигналы становления и их трансформации в кривые кажущегося сопротивления. Все кривые кажущегося сопротивления, полученные на участке исследований, разделяются на два типа: проводящие и высокоомные.

На рисунках 2 и 3 показаны типичные кривые кажущегося сопротивления для пикетов с проводящим разрезом и высокоомным.

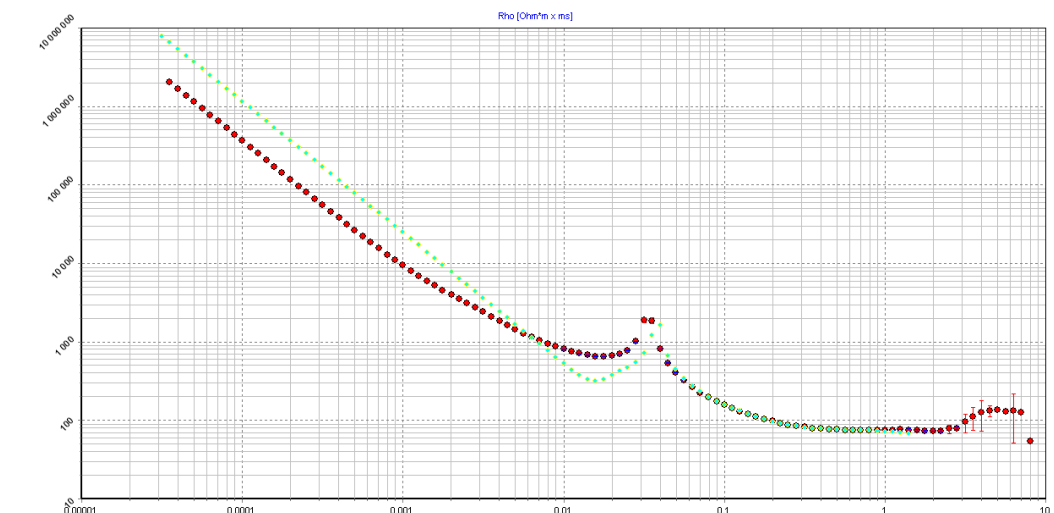


Рис. 2. Кривая кажущегося сопротивления на пикете 309 над проводящим разрезом

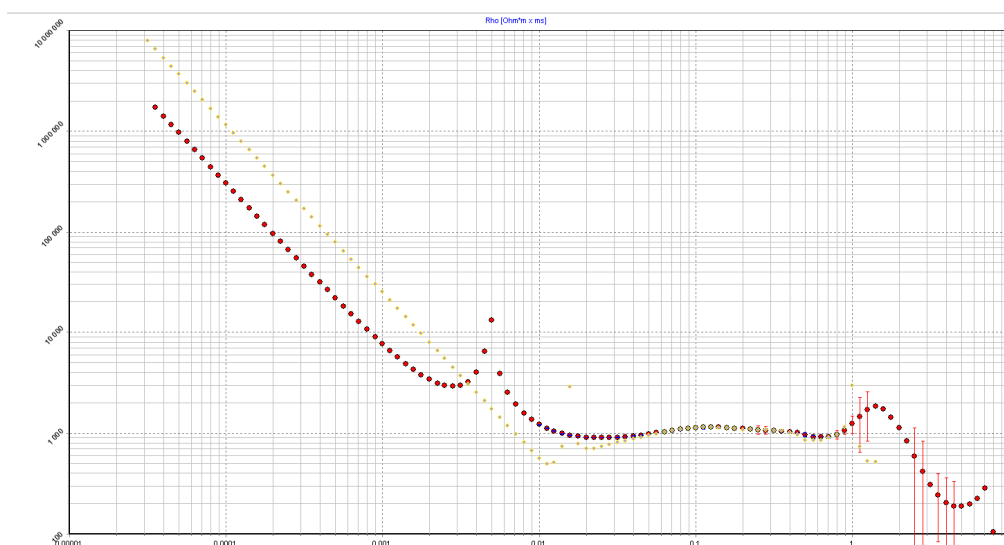


Рис. 3. Кривая кажущегося сопротивления на пикете 101 над высокоомным разрезом

Результаты

После предварительной обработки всех измеренных сигналов была проведена инверсия построены геоэлектрические разрезы по всем профилям. Инверсия данных ЗСБ выполнялась г.н.с Антоновым Е. Ю. с помощью программы TEM-IP в рамках горизонтально-слоистой поляризующейся модели среды

(рис.5). Большинство кривых ЭДС осложнено переходами через 0, которые объясняются индукционно-вызванной поляризацией среды (ИВП). Источником ИВП могут быть как сульфидизированные пермские сланцы, так и многолетне-мёрзлые породы.

Пример интерпретации приведён на рис. 4. На геоэлектрическом разрезе через наледь с глубины 2-3 до 10-12 м выделяется слой пониженного УЭС 90-150 Ом·м, который вероятно представляет собой межмерзлотный талик (рис. 13). Мощность этого слоя изменяется от 10-20 в юго-западной части разреза до 65 м в северо-восточной части разреза у правого берега р. Анмангында. Ниже до глубины 170-250 м залегают породы высокого УЭС (более 1000 Ом·м). Предполагается, что на глубине 170-250 м расположена подошва ММП (не показана на рисунке). Рекомендовано пробурить две заверочные скважины на пикете 104 глубиной 25 и глубиной 50 м между пикетами 77-74.

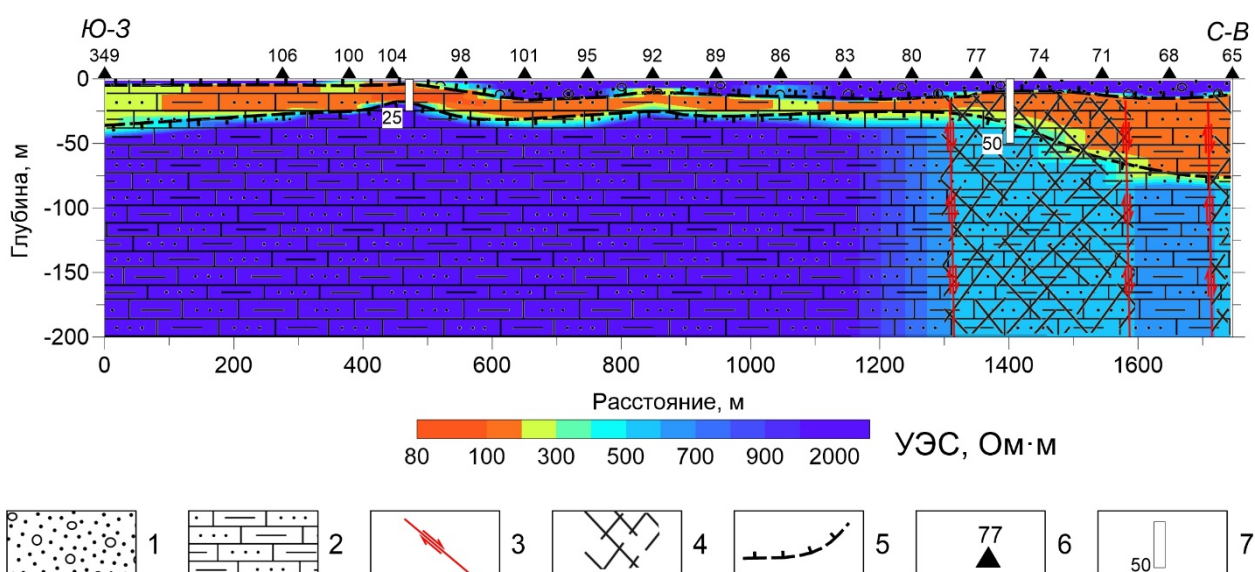


Рис. 4. Геоэлектрический разрез по профилю № 6 с элементами интерпретации:

1 - аллювиальные отложения ; 2 – преимущественно алевропесчаники с прослоями глинистых сланцев; 3 – разлом; 4 – зона дробления; 5 – границы ММП; 6 – пункты зондирования; 7 – рекомендуемая скважина и её глубина

Выводы

В результате электроразведочных исследований установлено следующее.

В пределах участка исследований удельное электрическое сопротивление горных пород определяется в первую очередь их литологическими особенностями, степенью трещиноватости и вещественным составом. Это существенно затрудняет геокриологическую интерпретацию разрезов и делает практически невозможным выделение таликов в условиях низкоомных глинистых сланцев.

В случае высокоомных пород на их фоне в верхней части разреза выделены аномалии пониженного УЭС в толще четвертичных отложений и трещиноватой кровле коренных пород. Такие аномалии интерпретируются как талики. Они залегают на глубинах от 2-3 м, до 16-18 м.

Подошва многолетнемёрзлых пород определена по нижней границе пород высокого и низкого УЭС на глубинах 170-250 м.

Непосредственно под Анмангындинской наледью породы имеют очень высокое УЭС, что изначально стало препятствием при проведении электромагнитных зондирований соосной установкой. Изменение схемы измерений на разнесённую установку позволило зарегистрировать переходные процессы становления поля и выполнить количественную интерпретацию. Оказалось, что в направлении вверх по течению на границе наледи происходит резкая смена геоэлектрических комплексов с высокоомного на низкоомный. Предполагается что это тектонический контакт толщи алевропесчаников и глинистых сланцев. Однако не исключено, что под наледью находится интрузия гранитоидов, которая выполняет роль водоупора. Подобные интрузии широко распространены в районе исследований.

Места выходов подземных вод на поверхность выше наледной поляны пространственно совпадают с выходом на поверхность крутопадающих зон пониженного УЭС, интерпретируемых как разломы, по которым вероятно происходит разгрузка ПВ.

Благодарности

Исследования проводятся при поддержке гранта Санкт-Петербургского государственного университета (проект 75295776) и программы ФНИ FWZZ-2022-00 «Геоэлектрические и электромагнитные методы исследования верхней части земной коры: теория, модели, эксперимент».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шарлов М.В, Агафонов Ю.А., Стефаненко С.М. Современные телеметрические электроразведочные станции SGS-ТЕМ и FastSnap. Эффективность и опыт использования // Приборы и системы разведочной геофизики. Ежеквартальное официальное издание Саратовского отделения Евро-Азиатского геофиз. о-ва. – 2010а. – №01 (31). – С. 27-31.
2. FastSnap Цифровая электроразведочная станция. Руководство по эксплуатации и программному обеспечению (РЭ) // ООО «Сигма-Гео». Иркутск: 2017. - 177 с.
3. Современная практическая электроразведка / Рос. Акад. Наук, Сиб. Отд-ние, Ин-т земной коры. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2018. – 231 с.
4. Шарлов М.В., Кожевников Н.О., Пестюрин Т.Н. Повышение эффективности измерительной системы для малоглубинных зондирований методом переходных процессов // Материалы VIII Всероссийской школы-семинара по электромагнитным зондированиям Земли имени М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна. Москва, 2021. – С. 78-82.

© В. В. Потапов, О. М. Макарьева, В. В. Оленченко, 2022