

Решение гидрогеологических задач в условиях криолитозоны заполярной части Западной Сибири с помощью индукционного зондирования.

В.В. Агеев* (ЦГЭМИ ИФЗ РАН), Д.В. Агеев (ООО «Центр ЭМИ»)

Введение

Многофакторность зависимости удельного электрического сопротивления (УЭС) горных пород от разных характеристик (литология, минерализация и др.) в условиях вечной мерзлоты только усиливается, неоднозначность геологической трактовки геоэлектрических результатов возрастает. Перспективный на пресную воду целевой горизонт, с одной стороны, должен обладать повышенным удельным сопротивлением (УЭС) (пески в глинистом разрезе). С другой стороны, это должна быть талая зона и отличаться более низким УЭС от окружающих мерзлых пород. В условиях такой неоднозначности для принятия обоснованных решений при интерпретации важно использовать дополнительную независимую информацию и дополнительные критерии. Такими информационными возможностями обладает быстропотекающая вызванная поляризация (БВП), связанная только с мерзлым состоянием пород.

Такая поляризация наблюдается как при гальванических, так и при индукционных методах исследования [1,3]. Поляризационный процесс очень специфический, характеризуется малой постоянной времени, показателем S близким к 1 (при формальной аппроксимации частотной дисперсии проводимости формулой Cole-Cole) и очень большой интенсивностью (поляризуемость может достигать десятков %). Проведенные нами лабораторные исследования на мерзлых образцах показали, что явление БВП свойственно как глинистым, так и песчаным мерзлым образцам и его интенсивность определяется, в первую очередь, льдистостью, криотекстурой, количеством и минерализацией остаточной незамерзшей влаги.

Наиболее полную и достоверную информацию о параметрах БВП при полевых работах можно получить из данных с гальваническими установками (ВЭЗ-ВП). Но в основном работы в заполярье приходится вынужденно проводить зимой и применять индукционные бесконтактные методы. Поэтому в данной работе приводятся примеры с использованием только ЗСБ.

Анализ данных ЗСБ

Сначала продемонстрируем возможности и ограничения индукционных зондирований ЗСБ при работе в криолитозоне без относительно решения гидрогеологической задачи на примере работ через р. Обь, фрагмент профиля которых приведен на рис.1. Левая часть профиля расположена на замороженном берегу, правая часть – на акватории Оби. Талый разрез под руслом Оби хорошо дифференцируется по УЭС. Сверху в низ выделяются талые суглинки (1), пески и галечник (2), суглинки (3), супесь или сильно глинистый песок (4), в основании суглинки и глины (5).

Западнее пк.17 УЭС разреза возрастает из-за его мерзлого состояния и данные ЗСБ позволяют только определить среднее эффективное УЭС мерзлой толщи, объединяющей второй, третий и четвертый горизонты. На рис. 1 кровля и подошва третьего слоя пунктиром продолжены на запад до скв. 1R-2. Хорошее соответствие подтверждает, что литологическое расчленение разреза сохраняется и на этом участке, но из-за мерзлого состояния выполнить его по данным ЗСБ затруднительно. В этом случае возможности ЗСБ ограничены выделением подошвы мерзлоты, контура талика и дифференциацией талого разреза. Светлым пунктиром между скважинами показана предполагаемая геологами подошва мерзлоты по результатам бурения. Она не совпадает с нашей границей в сторону скв. 16L. Данные ЗСБ позволили исправить ошибку в описании скважины.

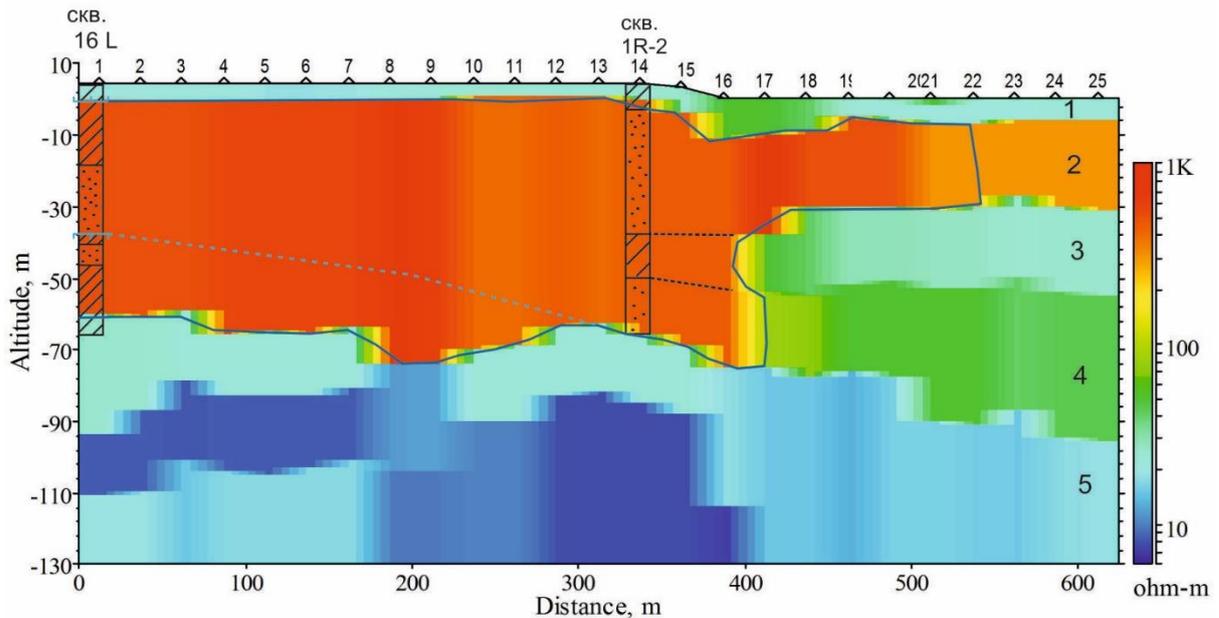


Рисунок 1. Фрагмент геоэлектрического разреза по данным ЗСБ на левом берегу р. Обь. Совмещенная установка с петлей 50 x 50 м.

Рассмотрим теперь три примера решения гидрогеологической задачи по поиску межмерзлотных и подмерзлотных водоносных горизонтов для обустройства водозаборов на территории Новоуренгойского месторождения.

Согласно существующей схеме мерзлотного районирования севера Западной Сибири район работ характеризуется прерывистым двухслойным распространением многолетнемерзлых пород. Особенности мерзлотного строения четвертичных и олигоценых пород определяются сложностью геологического строения района, а также присутствием рек и озер.

Практический интерес для использования в целях удовлетворения хозяйственно-питьевых нужд рассматривается преимущественно водоносный таликовый олигоценый горизонт, приуроченный к отложениям песков разнозернистых с гравием и галькой, мощность которых составляет 20-40 м. Воды горизонта весьма пресные с величиной минерализации 0,02-0,05 г/л. Интенсивное движение воды в этом горизонте препятствует его промораживанию. С глубины 100-150 м разрез сильно глинистый, воды с повышенной минерализацией.

Наземной электроразведкой ЗСБ мы решаем две главные задачи – поиск талых зон и выделение в их пределах перспективных по фильтрационным характеристикам горизонтов. Традиционного решения только первой задачи недостаточно. На рис.2 показан фрагмент геоэлектрического разреза по данным ЗСБ на одном из участков. Он примечателен **простой** геоэлектрической ситуацией с очевидным выделенным таликом и подошвой мерзлоты. Крайними западными точками 23, 24, 25 мы зашли в котловину овальной формы. Возможно, это хасырей на месте бывшего озера, под которым и образовался талик. Верхняя часть разреза (20-25м) уже начала промораживаться. А нижняя часть талая, но представлена суглинками и глинами с низким сопротивлением и **не является перспективной** на воду.

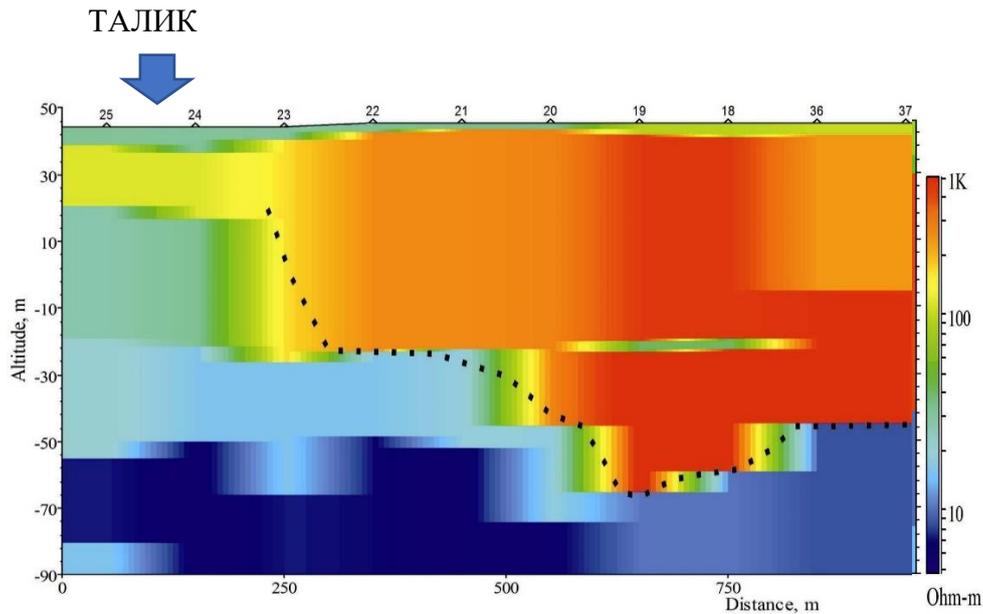


Рисунок 2. Фрагмент геоэлектрического разреза по данным ЗСБ (Уренгой). Точками выделена подошва мерзлоты

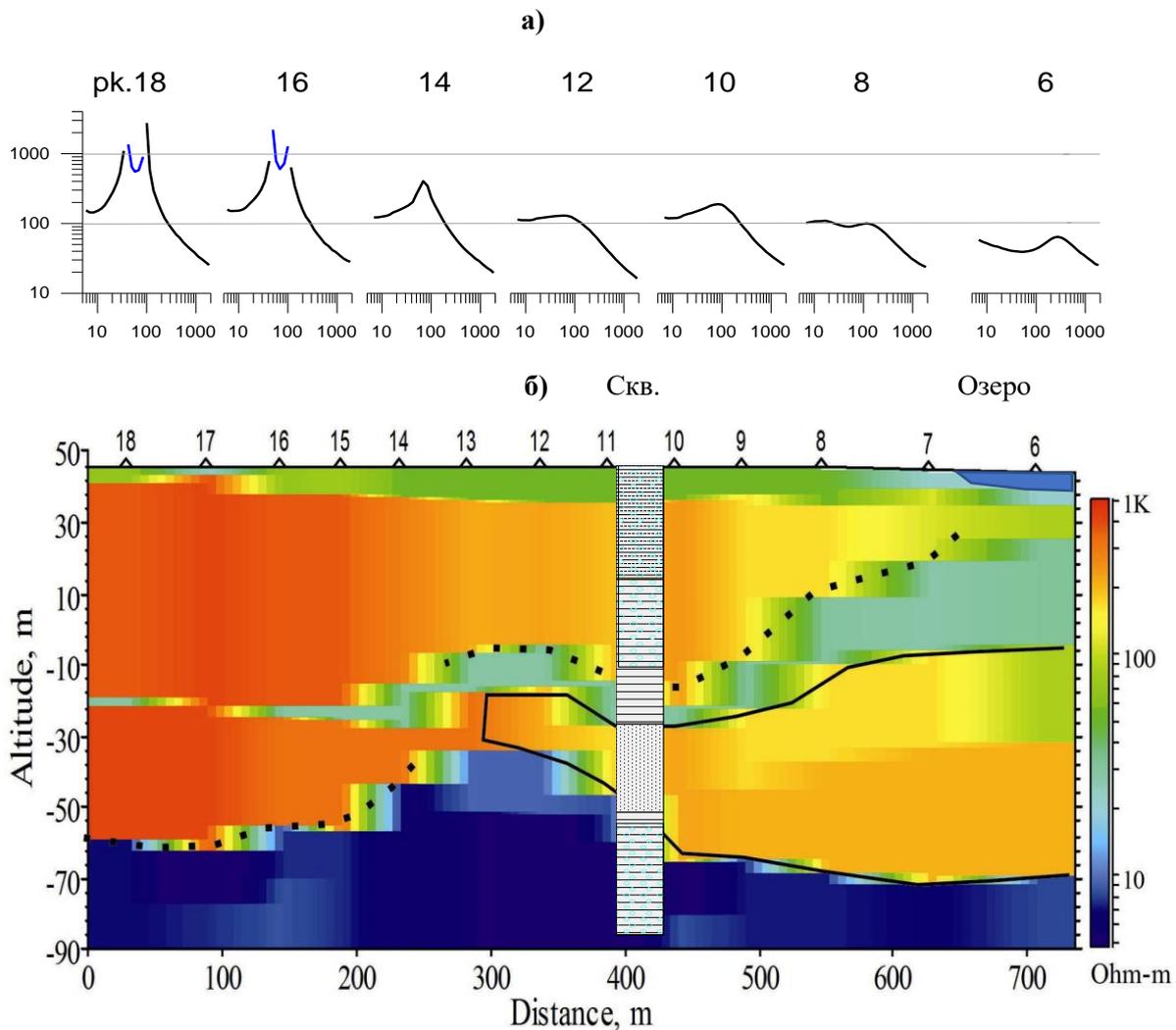


Рисунок 3. Кривые ЗСБ (а) и геоэлектрический разрез (б) по данным ЗСБ (Уренгой) с выделенным талым водоносным песчаным горизонтом. Точками выделена подошва мерзлоты.

На соседнем участке мы имеем менее однозначную геоэлектрическую ситуацию. Результаты приведены на рис.3. Профиль заканчивается на востоке в озере. Кривые ЗСБ с пк.18 по 10 (рис.3а) искажены влиянием БВП. Интенсивность проявления БВП снижается при приближении к озеру. На пк.18-16 наблюдается смена знака кривой, далее - только слабый экстремум. Это свидетельствует о том, что вдали от озера разрез сильно проморожен, а на берегу и под озером находится талик. Анализ конфигурации границ на геоэлектрическом разрезе (рис.3б) и информация о БВП позволяют предположить, что находящийся под озером на абсолютных отметках от -30 до -70м высокоомный горизонт, выклинивающийся в сторону берега, представлен тальми песками и может быть перспективным для бурения на воду. Заложенная скважина, показанная на разрезе, подтвердила и подошву мерзлоты, и наличие водоносных песков.

Самым сложным для принятия решения оказался третий участок. Его особенностью является то, что все выделяемые на участке талики были подрусловыми и подозерными, с малой мощностью и не выходили за пределы 100 метровой водоохранной зоны водоемов, запрещающей всякую деятельность. Остальная территория характеризовалась высокоомной мерзлой (по данным многочисленного бурения) верхней частью разреза до глубины 120-150 м и тальм глинистым основанием. Кривые ЗСБ повсеместно искажены влиянием БВП со сменой знака кривой. Исключением стал участок, данные по фрагменту профиля с которого представлены на рис. 4.

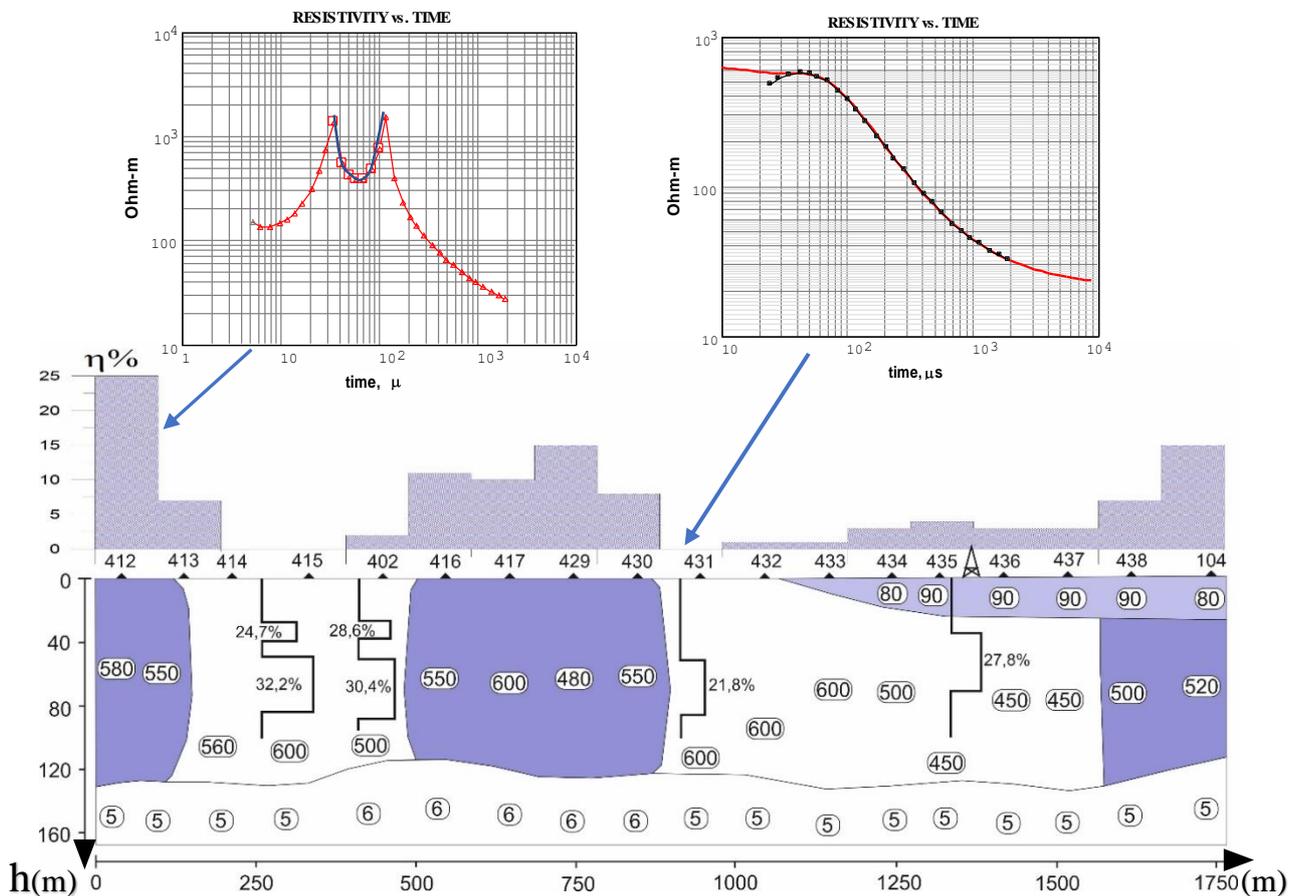


Рисунок 4. Кривые ЗСБ для двух характерных точек (мерзлая и талая), график параметра поляризуемости БВП и геоэлектрический разрез по данным ЗСБ (Уренгой).

600 - значение УЭС, **27.8%** - гистограмма обводненности пород с объемным содержанием воды по данным ЯМР-зондирования

По данным ЗСБ верхние 120-140 м детально не дифференцируются и обладают большим УЭС не менее 500-600 Омм (только местами сверху можно выделить метров 20-30 вероятно суглинков с УЭС 90 Омм). Но некоторые зоны при большом УЭС характеризуются полным отсутствием влияния БВП. Отсутствие БВП свидетельствует об отсутствии мерзлоты, а высокое УЭС верхней части разреза, представленной песчано-глинистыми породами, возможно в случае насыщенности пресными водами и преимущественно песчаного состава. Совпадение этих двух факторов является оптимальным для устройства водозабора – пресная вода пригодна для питьевого водоснабжения, а песчаный состав обеспечивает высокое содержание воды и водоотдачу. Для подтверждения такого предположения на этих участках были выполнены несколько точек ядерно-магнитно-резонансного (ЯМР) зондирования для определения параметров подземных вод. Для зондирования использовался прибор «Гидроскоп», разработанный в ИХКГ СО РАН [2, 4]. Данные ЯМР показали высокое объемное содержание воды (до 32,2 %) в мощных (более 30 м) водоносных горизонтах. Результаты ЯМР зондирований выведены на разрез на рис.4. На окружающих мерзлых точках сигнал ЯМР отсутствовал. Указанный комплекс данных позволил с уверенностью задать место для водозабора. На следующем рис.5 приведена литологическая колонка с выделенным (голубым) талым интервалом и каротаж (ВИКИЗ, кавернометрия, ГК) в заверочной скважине, отмеченной на разрезе рис.4. Интервал 13 – 74 м талый, причем с 38м до 74м представлен преимущественно хорошо промытыми песками. Граница на глубине 74м между талыми и мерзлыми песками судя по каротажу ВИКИЗ имеет слабую контрастность по УЭС (2-3) и по ЗСБ не выделяется.

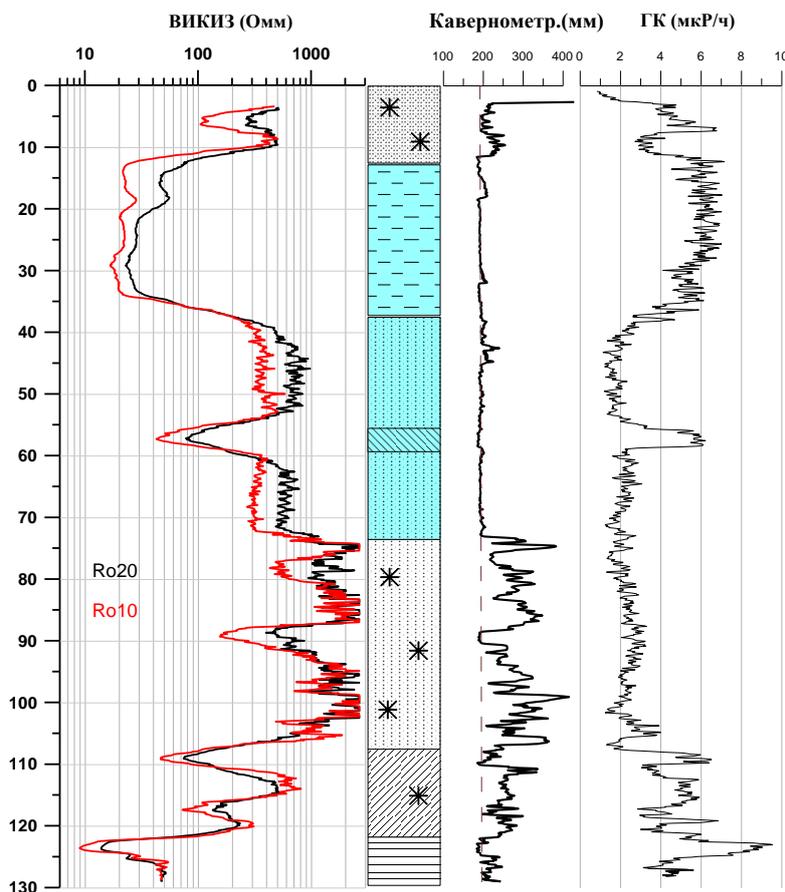


Рисунок 5. Литологическая колонка с выделенным (голубым) талым интервалом и каротаж (ВИКИЗ, кавернометрия, ГК) в заверочной скважине, отмеченной на разрезе рис.4

Выводы

Дополнительный независимый параметр поляризуемости БВП в данных ЗСБ позволил в сложных геокриологических условиях помимо традиционных таликов пониженного УЭС предположить наличие высокоомного талика с улучшенными фильтрационными свойствами. ЯМР зондирование, как прямой метод, направленный на обнаружение свободной воды, подтвердило наличие талика и помогло выделить водоносные горизонты в высокоомном разрезе, что в комплексе позволило уверенно рекомендовать выделенный участок, как первоочередной для бурения водозаборной скважины.

Библиография

1. Агеев В.В. Изучение процессов вызванной поляризации для решения геокриологических задач. Разведка и охрана недр. №11. 2012. С. 46-49.
2. Булгаков Ю. И., Ицкович Г. Б., Пусеп А. Ю., Сторожев А.В. Математическое моделирование сигнала ЯМР при поисках воды в проводящей среде. Геология и геофизика, 1992, № 12, стр. 133-140.
3. Кожевников Н.О. Быстропротекающая индукционно-вызванная поляризация в мерзлых породах. Геология и геофизика, 2012, т.53, №4, с.527-540.
4. Палкин С.С., Козак С.З., Агеев В.В., Кальнеус Е.В. Опыт выявления таликов в криолитозоне полуострова Ямал. Разведка и охрана недр, 2014, №5, С. 57-61.

References

1. Ageev V.V. 2012. Induced polarization processes study for geocryological tasks solution. Prospect and Protection of Mineral Resources 11, 46-49.
2. Bulgakov 1992. Математическое моделирование NMR сигнала in the exploration for water в проводящей среде. Russian Geology and Geophysics 12, 133-140.
3. Kozhevnikov N.O. and Antonov E.Y. 2006. Fast-decaying IP in frozen unconsolidated rocks and potentialities for its use in permafrost-related TEM studies. Geophysical Prospecting 54, 383-397.
4. Kozhevnikov N.O. and Antonov E.Y. 2012. Fast-decaying inductively induced polarization in frozen ground: a synthesis of results and models. Journal of Applied Geophysics 82, 171-183.
5. Kozhevnikov N.O., Antonov E.Y., Zakharkin A.K. and Korsakov M.A. 2014. TEM surveys for search of taliks in areas of strong fast-decaying IP effects. Russian Geology and Geophysics 55, 1452-1460.
6. Palkin S.S., Kozak S.Z., Ageev V.V. and Kalneus E.V. 2014. Subgelisol identification experience in a permafrost zone of Yamal peninsula. Prospect and Protection of Mineral Resources 5, 57-61.