

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XIV Международный научный конгресс

Международная научная конференция

**«НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ. ГОРНОЕ ДЕЛО. НАПРАВЛЕНИЯ
И ТЕХНОЛОГИИ ПОИСКА, РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.
ЭКОНОМИКА. ГЕОЭКОЛОГИЯ»**

Т. 4

Сборник материалов

Новосибирск
СГУГиТ
2018

Ответственные за выпуск:

Доктор геолого-минералогических наук, академик РАН,
главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск
А. Э. Конторович

Доктор технических наук, академик РАН,
главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск
М. И. Энов

Доктор технических наук, директор Института нефтегазовой геологии
и геофизики СО РАН, Новосибирск
И. Н. Ельцов

Кандидат технических наук, директор Института горного дела
им. Н. А. Чинакала СО РАН, Новосибирск
А. С. Кондратенко

Кандидат геолого-минералогических наук, исполнительный директор
Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики
и минерального сырья, г. Новосибирск
М. Ю. Смирнов

Начальник департамента по недропользованию по Сибирскому федеральному округу
Федерального агентства по недропользованию «Роснедра», Новосибирск
А. И. Неволько

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля
2018 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное
дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторож-
дений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов
в 6 т. Т. 4. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – 335 с.

В сборнике опубликованы материалы XIV Международного научного конгресса
«Интерэкспо ГЕО-Сибирь», представленные на Международной научной конференции
«Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разра-
ботки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» (секция «Гео-
логическое, геофизическое и геохимическое обеспечение поиска и разведки полезных
ископаемых. Геотехнологии. Геоэкология»).

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЗРЕЗА В ПРЕДЕЛАХ СТАЦИОНАРА ПАРИСЕНТО (П-ОВ ГЫДАН) ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ

Дарья Сергеевна Панькова

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, студент, e-mail: PankovaDS@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, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией геоэлектрики, тел. (383)330-79-08, e-mail: OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

Ярослав Константинович Камнев

Научный центр изучения Арктики, 629008, Россия, г. Салехард, ул. Республики, 73, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, e-mail: KamnevYK@gmail.com

В работе приводятся результаты исследований, проведенных в районе геокриологического стационара Парисенто, выполненные методами электротомографии и зондирования становлением поля. В результате интерпретации геоэлектрических разрезов установлено, что мощность многолетнемерзлых пород составляет около 200 м, верхняя часть разреза до глубины 50 м имеет аномально высокое электросопротивление, вызванное пластовыми льдами. Отмечено боковое влияние подоцерного талика на двумерные геоэлектрические разрезы.

Ключевые слова: стационар Парисенто, многолетнемерзлая толща, электротомография, зондирование становлением поля.

THE STRUCTURE OF GEOELECTRIC SECTION ACCORDING TO DATA OF TEM AND ERT SOUNDING WITHIN THE PARISENTO STATION (GYDAN PENINSULA)

Daria S. Pankova

Novosibirsk National Research State University, 2, Pirogova St., Novosibirsk, 630073, Russia, Student, e-mail: PankovaDS@ipgg.sbras.ru

Vladimir V. Olenchenko

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Leading Researcher, Head of Laboratory of Geoelectric, phone: (383)330-79-08, e-mail: OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

Yaroslav K. Kamnev

Arctic Research Center, 73, Respublika St., Salekhard, 629008, Russia, Ph. D., Senior Researcher, e-mail: KamnevYK@gmail.com

The results of TEM and ERT sounding of the area within the geocryological station Parisento (Gydan Peninsula) are presented. The products of interpretation of the geoelectric sections are thickness of permafrost, which is about 200 m. The upper part of the section to a depth of 50 m has

abnormally high resistivity which is caused by massive ice. It was indicated that the talic, which is located under the lake, influence on two-dimensional geoelectric section.

Key words: Parisento station, permafrost, electrical resistivity tomography (ERT), time-domain electromagnetic sounding.

Стационар Парисенто расположен в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа, в центральной части полуострова Гыдан. Он создавался с целью проведения исследований по разработке научно-методических основ экогеологического мониторинга криолитозоны и оценке изменений геокриологических условий под влиянием природных факторов и техногенного воздействия [2]. В 80–90-е гг. XX в. вблизи стационара проводились исследования, в том числе геофизические, по технологиям тех лет. Комплекс методов включал высокочастотное электропрофилирование, вертикальное электрическое зондирование и каротаж скважин. Результаты исследований представлялись в виде графиков или кривых зондирований, а также в виде таблиц с мощностью и удельным электрическим сопротивлением пород, установленными в результате интерпретации по палеткам. Целью данной работы было исследование геокриологического строения территории между озерами Круглое и Геофизическое с помощью современных электроразведочных методов, с применением специальных программ для инверсии и визуализации данных. Комплекс методов включал зондирование становлением поля (ЗС) и электротомографию (ЭТ). Они хорошо зарекомендовали себя для изучения мерзлых структур [3, 5–7].

Работы методом ЗС проводились с использованием комплекса аппаратуры «Fast-Snap» (ООО «НПК Сибгеосистемы», Россия). Измерения ЗС выполнены по сети 65×65 м внутри десяти генераторных петель размером 200×200 м. В качестве приемников применялись индукционный датчик ПДИ-50 с эффективным моментом, эквивалентным петле размером 50×50 м, и одновитковая петля размером 18×18 м, которые располагались внутри каждого генераторного контура по равномерной сети в количестве 9 штук. Последующая количественная интерпретация данных ЗС проводилась с помощью программы TEM-IP, разработанной в Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН (ИНГГ СО РАН) [1].

При измерениях методом ЭТ использовалась многоэлектродная электроразведочная станция «Скала-48», разработанная в ИНГГ СО РАН. На участке исследования выполнены зондирования на трех профилях, проходящих вдоль линий ЗС. Длина профилей составляла по 1425 м, расстояние между профилями – 65 м, межэлектродный шаг – 10 м. Дальнейшая обработка данных производилась в программах Res2Dinv, Res3Dinv (Geotomo Software) [8].

На рис. 1 показан геоэлектрический разрез по данным ЗС с элементами геологической интерпретации. В верхней части разреза до глубины 30–50 м выделяется высокоомный слой, УЭС которого составляет 500–5 000 Ом·м, и интерпретируемый как верхнечетвертично-современные аллювиально-озерные и озерные отложения. В литологическом плане слой представлен песчаной

мерзлой толщей с пластовыми льдами. Следует отметить, что сами пластовые льды не выделяются в разрезе в силу особенностей распространения электромагнитного поля в изоляторе, но в результате количественной интерпретации мы получаем один эквивалентный слой высокого УЭС.

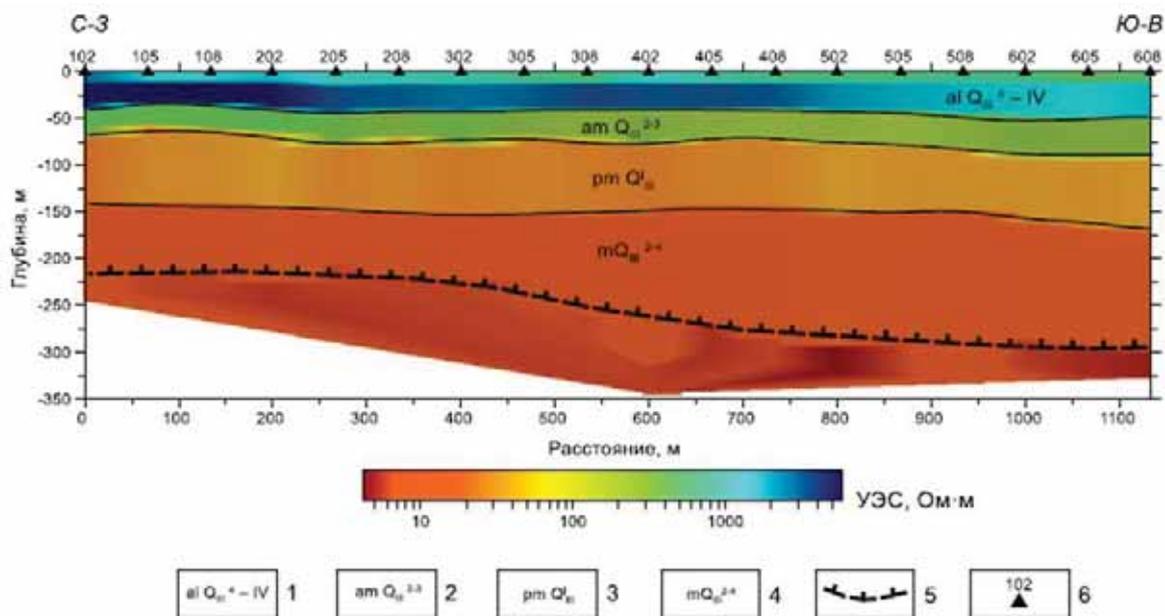


Рис. 1. Геоэлектрический разрез ЗС:

1 – верхнечетвертично-современные аллювиально-озерные отложения; 2 – верхнечетвертичные аллювиально-морские зырянско-каргинские отложения; 3 – верхнечетвертичные прибрежно-морские отложения казанцевской свиты; 4 – среднечетвертичные морские отложения салехардской свиты; 5 – предполагаемая граница фазовых переходов вода – лед; 6 – пункты электромагнитных зондирований

Ниже залегает слой пород мощностью 30–40 м с УЭС около 250 Ом·м, представленный верхнечетвертичными аллювиально-морскими зырянскокаргинскими отложениями. С глубины около 75 м УЭС понижается до 25–35 Ом·м, что, вероятно, связано с засоленностью разреза в верхнечетвертичных прибрежно-морских отложениях казанцевской свиты. С глубины порядка 150 м УЭС пород понижается до 7,5–10 Ом·м. Такое понижение УЭС объясняется возрастанием минерализации поровой влаги в среднечетвертичных морских отложениях салехардской свиты. На глубине 200–300 м выделяется верхняя граница подстилающего слоя очень низкого УЭС (4,5–7,5 Ом·м). Предполагается, что это нижняя граница мерзлых пород. На разрезе отмечается погружение границы по профилю в юго-восточном направлении, что, вероятно, отражает поведение нижней границы многолетнемерзлой толщи.

На рис. 2 приведена объемная модель участка исследований. Она отражает горизонтально-слоистое строение разреза, в котором УЭС пород уменьшается с глубиной от нескольких тысяч до единиц Ом·м. В трехмерной модели также

прослеживается закономерность погружения границы мерзлых пород в юго-восточном направлении.

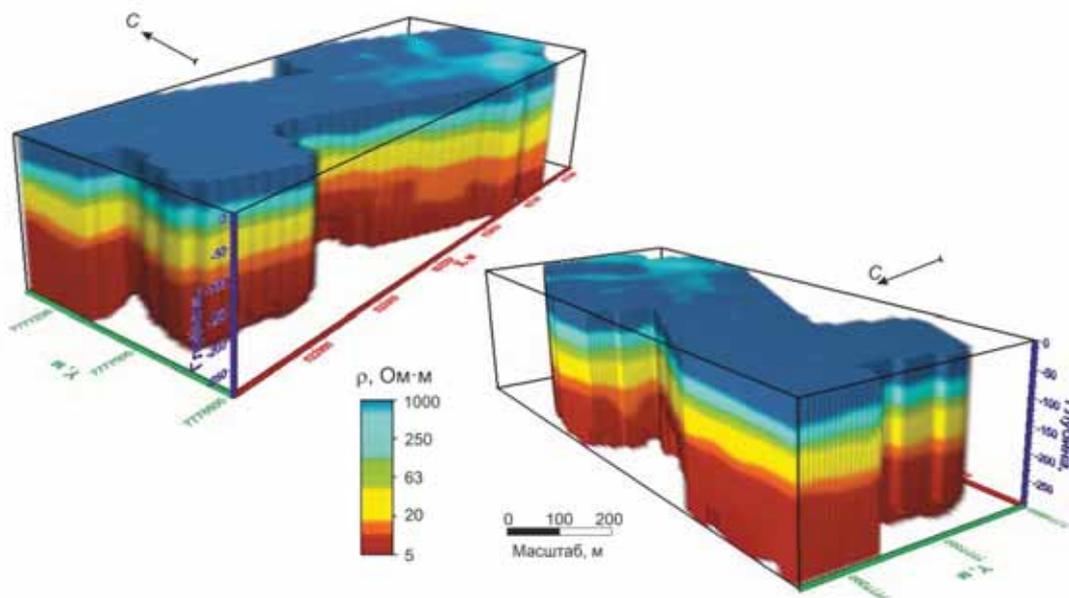


Рис. 2. Объемная геоэлектрическая модель по данным ЗС

На рис. 3 показан геоэлектрический разрез по данным ЭТ. Породы верхней части разреза до глубины 75–100 м обладают очень высоким УЭС, достигающим сотни тысяч Ом·м, а в некоторых случаях – превышающих миллион Ом·м. Такие высокие значения УЭС пород обусловлены их литологическим составом (пески) и низкой минерализацией замерзшей поровой влаги. Самые высокие значения УЭС (более 100 000 Ом·м) характерны для пластовых льдов. Следует отметить, что при измерениях на квазипостоянном токе в методе ЭТ УЭС пород получается значительно выше, чем при использовании метода ЗС.

Мощность аномалий высокого УЭС составляет 40–60 м, однако мощность пластовых льдов, которые вызывают подобные аномалии, ожидается меньшей величины. Поскольку по данным бурения в районе оз. Парисенто вскрыты пластовые льды мощностью 30 м [2], то, судя по аномалиям УЭС, мощность пластовых льдов между озерами Круглое и Геофизическое должна быть в таких же пределах.

На пикетах 100–500 профиля № 3 в верхней части разреза не наблюдается повышенных сопротивлений, за исключением локального объекта, находящегося вблизи пикета 380 м. Это связано с тем, что эта часть профиля проходила вблизи оз. Геофизического, следовательно, можно предположить, что в этой области отсутствуют пластовые льды. Аналогичная ситуация отмечается в верхней части разреза профиля № 2 (пикеты 650–900 м), так как этот участок проходит вдоль берега оз. Круглого. Возникновение низкоомной аномалии в нижней части разреза (на глубинах более 100 м) на профилях № 1 и № 2 свя-

зано с тепловым влиянием талика под оз. Круглое. Тепловое влияние озера на многолетнемерзлую толщу подтверждено термометрическими данными [2], оно выражается в повышении температуры ММП рядом с озером на 3–4 °С по сравнению с фоновой. Кроме того, существование подозерных таликов под крупными водоемами известный факт [4]. Поскольку профиль № 2 был расположен рядом с оз. Круглым, то здесь аномалия, вызванная подозерным таликом, выражена значительно сильнее, чем на разрезах по другим профилям.

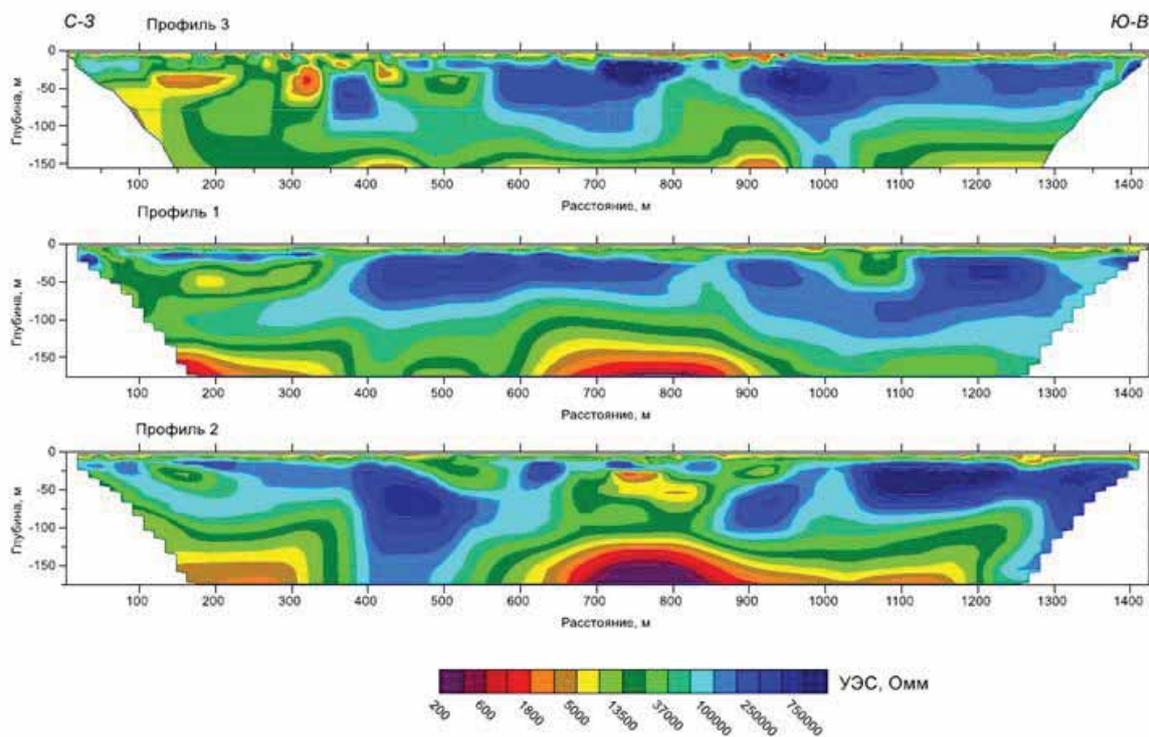


Рис. 3. Геоэлектрические разрезы по данным электротомографии

Особенности распространения пластовых льдов на площади исследований можно проследить на трехмерной модели распределения УЭС по данным ЭТ (рис. 4). На трехмерной модели изоповерхностью 50 000 Ом·м выделена аномалия высокого электросопротивления, вызванная пластовым льдом. Хорошо заметно, что мощность оконтуренного объекта возрастает в направлении на юго-восток от 20 до 50 и более метров. С северо-западной части участка аномалия уменьшается в размерах и выклинивается при приближении к оз. Геофизическому и небольшому безымянному озеру.

Таким образом, с помощью современных методов электроразведки мы получили модель строения пластовых льдов и оценили изменение мощности мерзлоты в пределах стационара Парисенто. Кроме того, было выделено боковое влияние талика на УЭС пород. Полученные данные могут быть использованы для выбора места заложения геокриологической скважины для наблюдений за состоянием криолитозоны.

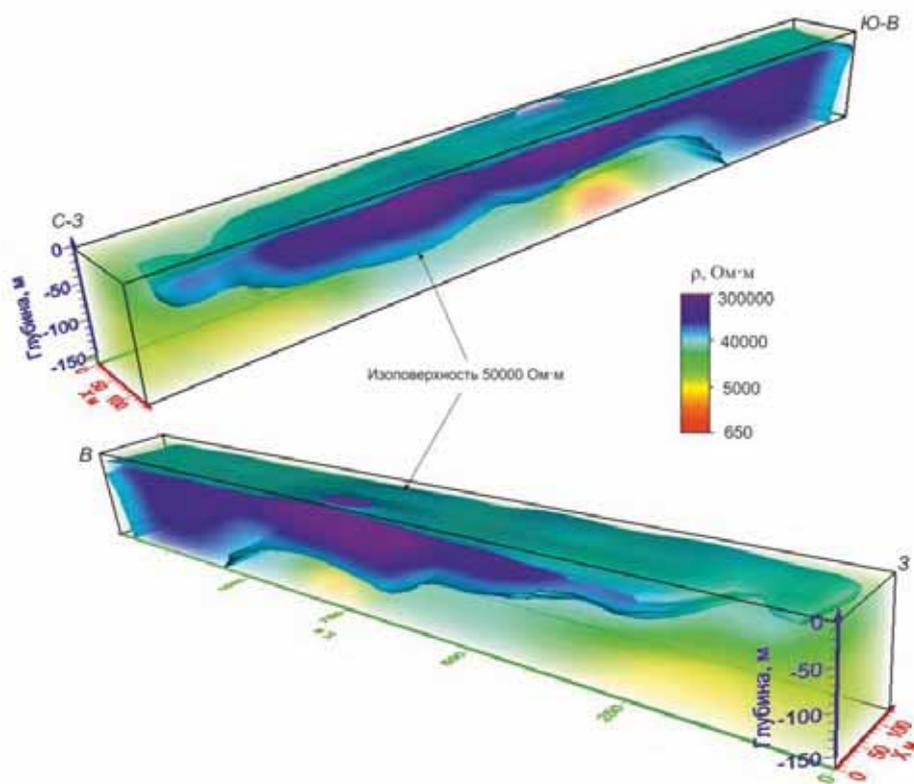


Рис. 4. Объемная геоэлектрическая модель по данным электротомографии

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонов Е. Ю., Кожевников Н. О., Корсаков М. А. Автоматизированная система для интерпретации данных индукционных импульсных электромагнитных зондирований с учетом индукционно-вызванной поляризации // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 8. – С. 1282–1293.
2. Дубровин В. А. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Научно-методическое обоснование организации экогеологических полигонов для изучения режима, прогноза измерений и оценки природной среды в Арктике». Этап 1: «Научно-методическое обоснование методов автоматизированного сбора режимной информации на объектах экогеологического мониторинга в арктических районах Западной Сибири» // ВСЕГИНГЕО. – 1996. – 255 с.
3. Ельцов И. Н., Оленченко В. В., Фаге А. Н. Электротомография в Российской Арктике по данным полевых исследований и трехмерного численного моделирования // Деловой журнал Neftegaz. RU. – 2017. – № . 2. – С. 54–64.
4. Ершов Э. Д. Общая геокриология. – М. : Изд-во МГУ, 2002.
5. Распространение толщи мерзлых пород в Чуйской впадине (Горный Алтай) по данным электромагнитных зондирований / В. В. Оленченко, Н. О. Кожевников, Е. Ю. Антонов и др. // Криосфера Земли. – 2011. – Т. XV, № 1. – С. 15–22.
6. Application of electrical resistivity tomography in investigating depth of permafrost base and permafrost structure in Tibetan Plateau / You Y. et al. // Cold Regions Science and Technology. – 2013. – Vol. 87. – P. 19–26.
7. Hauck C., Mühlh D.V. Inversion and interpretation of two-dimensional geoelectrical measurements for detecting permafrost in mountainous regions // Permafrost and Periglacial Processes. – 2003. – Vol. 14, N 4. – P. 305–318.

8. Loke M. H. Tutorial. RES2DINV ver. 3.59, Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method. – Malaysia, Geotomo Software, 2010. – 148 p.

REFERENCES

1. Antonov E. Ju., Kozhevnikov N. O., Korsakov M. A. Avtomatizirovannaja sistema dlja interpretacii dannyh indukcionnyh impul'snyh jelektromagnitnyh zondirovanij s uchetom indukcionno-vyzvannoj poljarizacii // Geologija i geofizika. – 2014. – T. 55, № 8. – S. 1282–1293.

2. Dubrovin V. A. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote po teme «Nauchno-metodicheskoe obosnovanie organizacii jekogeologicheskikh poligonov dlja izuchenija rezhima, prognoza izmerenij i ocenki prirodnoj sredy v Arktike». Jetap 1: «Nauchno-metodicheskoe obosnovanie metodov avtomatizirovannogo sbora rezhimnoj informacii na ob#ektah jekogeologicheskogo monitoringa v arkticheskikh rajonah Zapadnoj Sibiri» // VSEGINGEO. – 1996. – 255 s.

3. El'cov I. N., Olenchenko V. V., Fage A. N. Jelektrotomografija v Rossijskoj Arktike po dannyh polevyh issledovanij i trehmernogo chislennoogo modelirovanija // Delovoj zhurnal Neftegaz. RU. – 2017. – № 2. – S. 54–64.

4. Ershov Je. D. Obshhaja geokriologija. – M. : Izd-vo MGU, 2002.

5. Rasprostranenie tolshhi merzlyh porod v Chujskoj vpadine (Gornyj Altaj) po dannyh jelektromagnitnyh zondirovanij / V. V. Olenchenko, N. O. Kozhevnikov, E. Ju. Antonov i dr. // Kriosfera Zemli. – 2011. – T. XV, № 1. – S. 15–22.

6. Application of electrical resistivity tomography in investigating depth of permafrost base and permafrost structure in Tibetan Plateau / You Y. et al. // Cold Regions Science and Technology. – 2013. – Vol. 87. – P. 19–26.

7. Hauck C., Mühl D. V. Inversion and interpretation of two-dimensional geoelectrical measurements for detecting permafrost in mountainous regions // Permafrost and Periglacial Processes. – 2003. – Vol. 14, N 4. – P. 305–318.

8. Loke M. H. Tutorial. RES2DINV ver. 3.59, Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method. – Malaysia, Geotomo Software, 2010. – 148 p.

© Д. С. Панькова, В. В. Оленченко, Я. К. Камнев, 2018