

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. 3

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, 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. 3. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – 318 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

ДВУМЕРНАЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ШИРОТНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ТОЛЩ

Дарья Николаевна Ефремова

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, студент кафедры геофизики, тел. (913)482-28-07, e-mail: efremovadarya12@yandex.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, доцент, зав. лабораторией геоэлектрики, тел. (383)330-79-08, e-mail: OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

Анастасия Александровна Горяевчева

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, студент кафедры геофизики, тел. (913)488-72-36, e-mail: lapkovskaya.a.a@gmail.ru

Работа посвящена изучению проявления широтной зональности многолетнемерзлой толщи в геоэлектрических полях. В процессе исследования была составлена физико-геологическая (геоэлектрическая) модель, проведено решение прямой задачи средствами программы ZondRes2D. Полученные данные были верифицированы путем решения обратной задачи в программе Res2dinv. Показано соответствие геоэлектрической и геокриологической моделей распространения многолетней мерзлоты в широтном направлении.

Ключевые слова: электротомография, геоэлектрическая модель, многолетнемерзлая толща.

TWO-DIMENSIONAL GEOELECTRIC MODEL OF THE WIDTH ZONALITY OF PERMAFROST

Darya N. Efremova

Novosibirsk National Research State University, 2, Pirogova St., Novosibirsk, 630073, Russia, Student, Department of Geophysics, phone: (913)482-28-07, e-mail: efremovadarya12@yandex.ru

Vladimir V. Olenchenko

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

Anastasya A. Goreyavcheva

Novosibirsk National Research State University, 2, Pirogova St., Novosibirsk, 630073, Russia, Student, Department of Geophysics, phone: (913)469-77-10, e-mail: LapkovskayaAA@ipgg.sbras.ru

The paper is dedicated to the study of latitudinal zonality occurrence of permafrost in geoelectric field. In the course of investigation the physico-geological (geoelectric) model was created, the solution for the direct problem was conducted with the means of ZondRes2D program. The received data were confirmed by the solution of inverse problem with the means of Res2dinv pro-

gram. The correspondence of geoelectrical and geocryological models for the expansion of permafrost in latitudinal direction was given.

Key words: electrical resistivity tomography, geoelectrical model, permafrost.

Введение

В современных условиях потепления климата и, как следствие – изменения температурного режима многолетнемерзлых грунтов, происходят существенные изменения структуры криолитозоны. Они выражаются в уменьшении площади распространения многолетнемерзлых пород (ММП), увеличении глубины залегания и сокращении мощности многолетнемерзлой толщи (ММТ). Изменение мерзлотных условий влияет на русловые процессы в результате деградации многолетнемерзлых пород происходит активизация оползневых процессов [1].

Создание корректной модели распространения ММП актуально в связи с глобальной оценкой состояния мерзлых толщ Земли. Однако на сегодняшний день несмотря на актуальность и распространенность геокриологических исследований, данные о строении и распространении многолетнемерзлой толщи остаются достаточно ограниченными. Большая часть имеющихся представлений о распространении ММП относится к 1960–1980 гг., когда проводились обширные мерзлотно-гидрогеологические исследования во всех районах развития криолитозоны [2].

Основной целью исследований является анализ возможностей метода электротомографии при изучении строения ММТ путем создания синтетической модели широтной зональности распространения ММП.

Основные задачи:

1. Составление масштабированной от реальных размеров геоэлектрической модели широтной зональности ММТ.
2. Расчет прямой задачи электротомографии для стартовой модели.
3. Верификация полученных данных путем решения обратной задачи.

Характеристика объекта исследования

При анализе представлений о распространении ММП существуют следующие закономерности:

По основным процессам теплообмена в пределах области с многолетнемерзлыми породами выделяются две геокриологические зоны: северная и южная. Северная зона характеризуется высокой сплошностью и большей мощностью до 1 000–1 600 м пород с пониженной температурой, с присутствием включения льда, максимальная температура которой достигает $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Также в данной зоне распространен маломощный до 0,2 м сезонно талый слой (СТС). В южной зоне, за исключением возвышенностей, мерзлая толща встречается в виде островов и занимает меньшую долю относительно вмещающей толщи. Данная зона характеризуется температурой около $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, маломощным слоем ММТ до 5 м и мощностью СТС в летнее время, достигающий нескольких метров.

Методика исследования

При составлении моделей мы опирались на схему вертикального разреза мерзлых толщ [3]. Модель построена в программе Zondres2d для однородной песчаной среды, значения мощности взяты по данным Кудрявцева с вертикальным масштабом 1 : 5. Данные по температуре ММТ были взяты из графика зависимости сопротивления от температуры [7], где каждый тип распространения ММТ представлен на 300 метрах разреза, для того чтобы можно было в данном масштабе добиться плавных, реалистичных изменений мощности ММП в разрезе.

Решение прямой задачи было проведено для трехэлектродной установки. Расстояние между электродами 5 м, протяженность 835 м. Решение обратной задачи было выполнено в программе Res2dinv.

Результаты моделирования

При моделировании была составлена упрощенная геокриологическая модель № 1 широтной зональности ММТ, в которой при движении с севера на юг меняется только мощность ММТ и ее сплошность (рис. 1). При этом температура пород в зонах сплошного, прерывистого и островного распространения ММП задана постоянной для каждого типа ММТ.

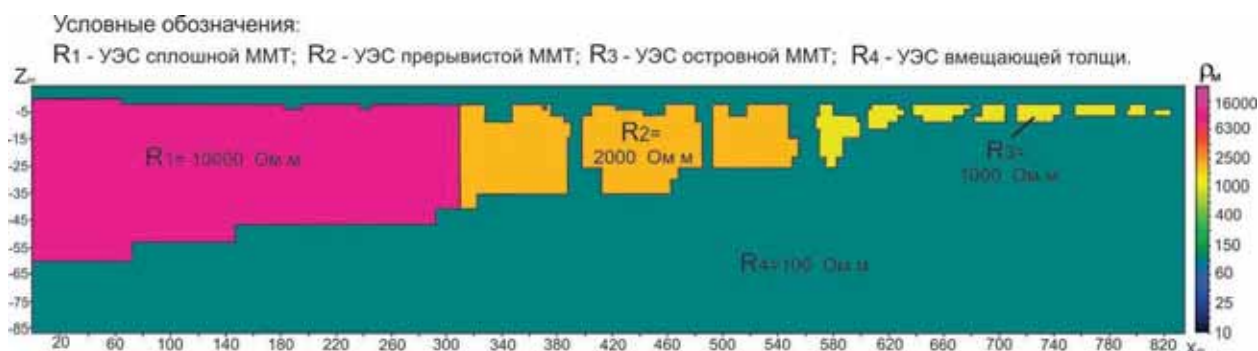


Рис. 1. Геоэлектрическая модель № 1 распространения многолетнемерзлых пород при широтной зональности:

R₁ – УЭС сплошной ММТ; R₂ – УЭС прерывистой ММТ; R₃ – УЭС островной ММТ

После расчета поля кажущегося сопротивления в программе ZondRes2D была выполнена инверсия полученных данных с помощью программы Res2Dinv. На рис. 2 приведен восстановленный геоэлектрический разрез.

На геоэлектрическом разрезе наблюдаются три различные зоны. Первая зона расположена на первых 300 м. Она соответствует сплошному типу распространения ММТ. Характеризуется высокоомным аномальным участком с (УЭС 8 000 Ом·м) и мощностью порядка 60 м, которая прослеживается на верхнем геоэлектрическом разрезе.

Вторая зона связана с прерывистым типом распространения ММТ прослеживается от 300 до 600 м. На данном интервале наблюдается отдельные островки с высоким УЭС 2 500–4 000 Ом·м, Мощность линз высокого сопротивления 25 м. В процентном соотношении от вмещающей толщи (УЭС-100 Ом·м) занимают 65 %.

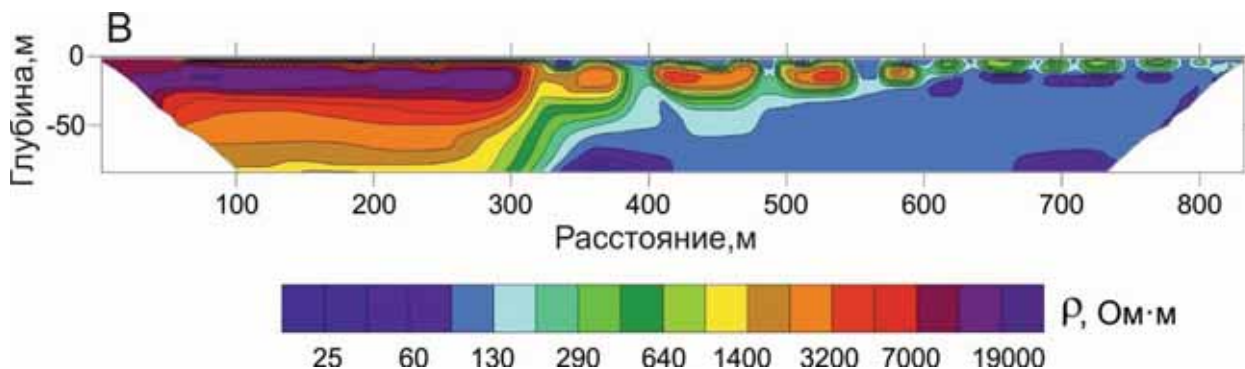


Рис. 2. Восстановленный в результате инверсии геоэлектрический разрез модели широтной зональности многолетнемерзлых пород

Третья зона распространения представлена островным типом ММТ расположена от 600 до 800 м. В третьей части разреза преобладает вмещающая среда с УЭС порядка 100 Ом·м, прослеживаются отдельные высокоомные аномалии (УЭС порядка 400–1 000 Ом·м) мощностью около 8 м.

При движении с севера на юг увеличивается температура ММП. Этот параметр существенно влияет на УЭС. Это обстоятельство было учтено в модели № 2 (рис. 3).

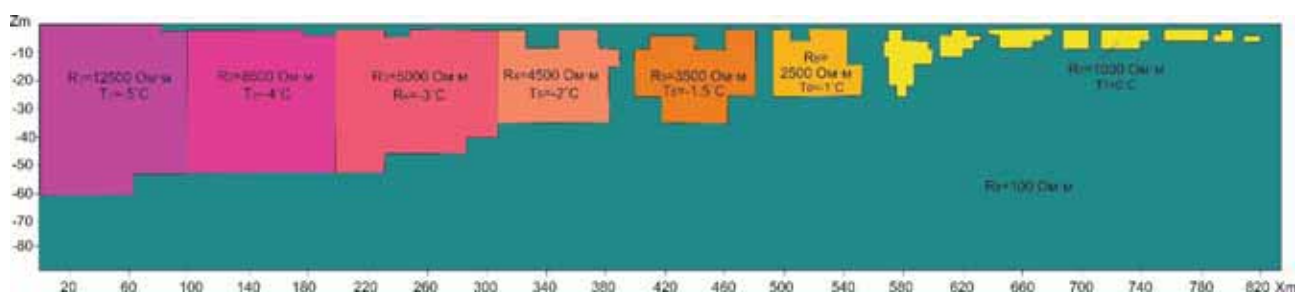


Рис. 3. Геоэлектрическая модель № 2 широтной зональности с изменением температуры

Восстановленный после инверсии геоэлектрический разрез показан на рис. 4. На первых 300 м сплошного типа распространения наблюдается плавный переход УЭС от 4 000 Ом·м до 10 000 Ом·м непрерывного пласта мощностью 50 м.

Для прерывистого типа распространения на 300–600 м наблюдается менее выраженный градиентный переход сопротивлений высокоомных линз этого участка. Значения УЭС изменяются от 2 500 до 3 500 Ом·м, мощность составляет 20 м. Соотношение площадей распространения высокоомных островков и вмещающей толщи остается прежним и составляет 65 %.

Для островного типа распространения ММТ, где температура варьирует около 0 °С, значение УЭС составляет примерно 1 300 Ом·м, а мощность 10 м.

Анализ восстановленной модели показывает, что УЭС мерзлых пород изменяется по латерали градиентно, так же, как и их температура в геокриологической модели. То есть распределение УЭС реалистично отражает геокриологическое строение разреза.

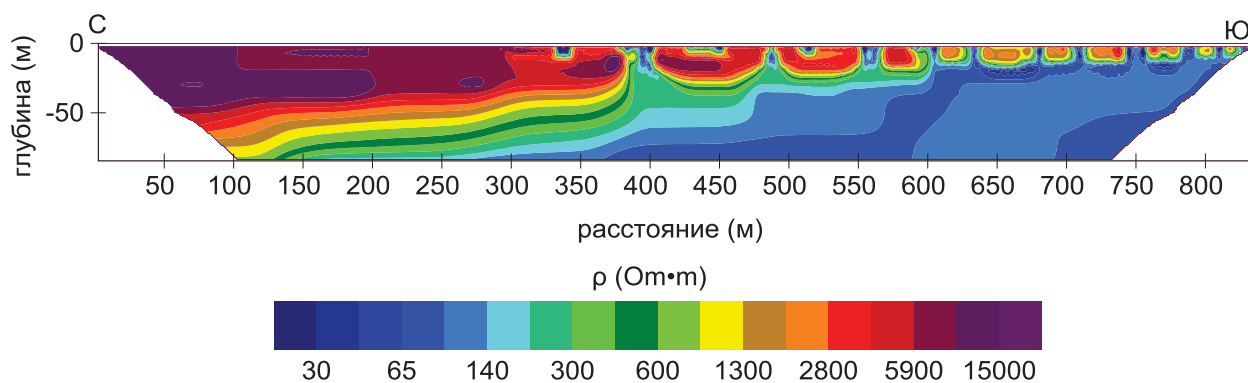


Рис. 4. Геоэлектрический разрез модели при изменении температуры в широтной зональности

Выводы

Результаты моделирования показали, что с помощью метода электротомографии можно восстановить структуру распространения ММП и получить реалистичные геокриологические модели. Существует проблема эквивалентности, но не смотря на это итоговая геоэлектрическая модель наследуют характер геокриологической модели, т. е. аналогично с юга на север изменяется сплошность и мощность пород высокого УЭС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малевский-Малевич С. П., Молькентин Е. К., Надежина Е. Д. и др. Моделирование и анализ возможностей экспериментальной проверки эволюции термического состояния многолетнемерзлых грунтов // Криосфера земли. – Новосибирск : ГЕО, 2007. – С. 29–36.
2. Вакулин А. А. Основы геокриологии. – М. : Изд-во ТГУ, 2011. – С. 115–120.
3. Мерзлотоведение (краткий курс) / под ред. Кудрявцева В. А. – М. : Изд-во Моск. унта, 1981. – 240 с.
4. 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>.

5. Бобачев А. А., Модин И. Н., Перваго Е. В., Шевнин В. А. Многоэлектродные электрические зондирования в условиях горизонтально-неоднородных сред. // Разведочная геофизика / Акционерное о-во закрытого типа «Геоинформмарк». – 1996. – 50 с.
6. Зыков Ю. Д. Геофизические методы исследования криолитозоны. – М. : Изд-во МГУ, 1999. – С. 8–26.
7. Фролов А. Д. Электрические и упругие свойства мерзлых пород и льдов. – Пушкино : ОНТИ ПНЦ РАН, 1998. – 515 с.

REFERENCES

1. Malevskij-Malevich S. P., Mol'kentin E. K., Nadezhina E. D. i dr. Modelirovanie i analiz vozmozhnostej eksperimental'noj proverki evolyucii termicheskogo sostoyaniya mnogoletnemerzlyh gruntov // Kriosfera zemli. – Izd. «GEO», g. Novosibirsk 2007. – S. 29–36.
2. Vakulin A. A. Osnovy geokriologii. – М. : Изд-во ТГУ. – 2011. – С. 115–120.
3. Merzlotovedenie (kratkij kurs). Pod red. Kudryavceva V. A. – М. : Изд-во Моск. un-ta, 1981. – 240 s.
4. Balkov E. V., Panin G. L., Manshtejn Yu. A., Manshtejn A. K., Beloborodov V. A. Elektrotomografiya: apparatura, metodika i opyt primeneniya [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://www.nemfis.ru/pdf/etom.pdf>.
5. Bobachev A. A., Modin I. N., Pervago E. V., Shevnin V. A. Mnogoelektrodnye elektricheskie zondirovaniya v usloviyah gorizontal'no-neodnorodnyh sred. // Razvedochnaya geofizika / Akcionernoe o-vo zakrytogo tipa "Geoinformmark". – 1996. – 50 s.
6. Zykov Yu. D. Geofizicheskie metody issledovaniya kriolitozony. – М. : Изд-во МГУ. – 1999. – С. 8–26.
7. Frolov A. D. Elektricheskie i uprugie svojstva merzlyh porod i l'dov. – Pushchino : ONTI PNC RAN, 1998. – 515 s.

© Д. Н. Ефремова, В. В. Оленченко, А. А. Горяевцева, 2018