

ВОПРОСЫ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 1 (9)

2 0 1 6

8. Xiao P., Bai D., Varentsov Iv.M. et al. Study on long-period MT sounding: The LMT transfer functions in eastern Tibetan Plateau // Seismology and Geology. – 2010. – V. 32(1). – P. 38–50 (in Chinese).
9. Варенцов Ив.М., Бай Д. Геоэлектрическая модель тектоносферы Восточного Тибета по данным глубинных и разведочных MT/MB зондирований // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. – 2015. – С. 169–177 (В печати).
10. Алексанова Е.Д., Варенцов Ив.М., Куликов В.А. и др. Глубинные аномалии электропроводности в северной части Воронежской антеклизы // Геофизика. – 2013. – № 2. – С. 32–38.
11. Варенцов Ив.М., Гордиенко В.В., Гордиенко И.В. и др. Склон Воронежского кристаллического массива (геофизика, глубинные процессы). – Киев : Логос, 2013. – 118 с.
12. Caldwell G.T., Bibby H.M., Brown C. The MT phase tensor // Geophys. J. Int. – 2004. – V. 158. – P. 457–469.



УДК 550.372

Е.В. Агеенков¹, П.Ю. Легейдо

ИЗУЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ОДНОМЕРНЫХ СРЕД ПРИ ИНДУКЦИОННОМ ВОЗБУЖДЕНИИ И ПРИЁМЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Аннотация. На основе численного эксперимента определены некоторые проблемы изучения численных характеристик процесса вызванной поляризации (ВП) при индукционном возбуждении электромагнитного поля и индуктивной регистрации отклика от горизонтально-слоистой проводящей поляризующейся Земли.

Ключевые слова: индукционно вызванная поляризация, индуктивный источник электромагнитного поля, модель Коула-Коула, частотная дисперсия проводимости, ЗСБ.

Об авторах:

¹ ООО «Сибирская геофизическая научно-производственная компания», Иркутск.

E.V. Ageenkov, P.Yu. Legeydo

THE STUDY OF THE PARAMETERS OF ONE-DIMENSIONAL AREAS INDUCED POLARIZATION UPON INDUCTION EXCITATION AND RECEPTION OF ELECTROMAGNETIC FIELD

Abstract. On the basis of numerical experiment some problems in the study of the numerical characteristics of the process of induced polarization (IP) with inductive excitation of the electromagnetic field and inductive reception of the response from a horizontally-layered conductive polarized Land have been identified.

Keywords: induction induced polarization, inductive electromagnetic field source, the model of Cole-Cole frequency dispersion of conductivity, TEM.

При прохождении электрического тока через двухфазную (многофазную) среду возникают процессы разделения носителей электрических зарядов под его воздействием, а после прекращения воздействия этого внешнего для среды тока происходит раз-

рядка запасённой энергии в виде токов вызванной поляризации (ВП). Интенсивность токов ВП зависит от свойств геологической среды, а регистрируемый на её поверхности отклик может показывать присутствие некоторых минералов (графита, пирита и т. д.) [5] или диагностировать физико-химические изменения геологических образований [7]. Поэтому вызванная электрическая поляризация используется для решения ряда рудных и нефтегазопромысловых задач.

Зачастую в разведочной геофизике источником тока для изучения процессов ВП служит заземлённая электрическая линия и последовательность прямоугольных импульсов тока низкой частоты подаваемых в среду с её помощью. В этом случае основную часть процессов ВП порождает гальванический ток, текущий между двумя заземлениями линии АВ. Однако при использовании в качестве источника индуктивной петли в среде также возникают процессы ВП индукционной природы, вызванные вихревым током [3]. Переходные процессы в присутствии индукционно-вызванной поляризации (ИВП), регистрируемые индуктивным приёмником, отличаются от становления над проводящей средой и не могут быть аппроксимированы лишь изменением проводимости разреза с глубиной. Для их описания требуется вводить частотную дисперсию сопротивления (проводимости) среды.

Нужно отметить, что решение обратной задачи электроразведки, как правило, ведётся в области моделей ограниченной априорными представлениями о геоэлектрической среде. Тем не менее, если о распределении проводимости среды можно получить дополнительные сведения из каротажных исследований, то о поляризационных характеристиках среды таких сведений практически нет, поэтому ограничить изменение поляризационных параметров модели можно лишь основываясь на опыте.

За последние годы появился ряд публикаций, посвящённых теоретическому изучению сигналов над проводящими поляризующимися средами [2, 4]. Позднее, в журнале «Геофизика» №1 за 2013 г., была опубликована статья «Проявление и учёт индукционно-вызванной поляризации при изучении осадочного чехла юга Сибирской платформы методом ЗСБ» авторами С.В. Компаниец, Н.О. Кожевниковым и Е.Ю. Антоновым [6]. В статье приводится пример, когда полевые записи многоканальной установкой ЗСБ возможно аппроксимировать только моделями с присутствием частотной дисперсии сопротивления, описываемой формулой Коула-Коула (1).

$$\rho(\omega) = \rho(0) \cdot \left(1 - \frac{\eta(\omega\tau)^c}{1 + (\omega\tau)^c}\right), \quad (1)$$

где $\rho(0)$ – удельное электрическое сопротивление (УЭС) на постоянном токе (Ом·м); η – коэффициент поляризуемости (доли ед.), равный $\frac{\rho(0) - \rho(\infty)}{\rho(0)}$, где $\rho(\infty)$ – УЭС на бесконечно высокой частоте; τ – время релаксации или постоянная времени (с.); c – показатель степени (б.р.); ω – круговая частота (сек.⁻¹).

Авторы указанной статьи показывают, что учёт поляризуемости снимает проблему появления на геоэлектрических разрезах и картах сопротивления не существующих в реальности геологических объектов. В результате инверсии полевых данных проявление ИВП связаны с породами верхней части разреза с параметрами: $\rho = 5 \dots 160$ Ом·м, $\eta = 1 \dots 14$ %, $\tau = 0,02 \dots 0,5$ с, $c = 0,5 \dots 0,6$ б.р. Публикация, безусловно, является значительным шагом на пути решения проблемы изучения ИВП, но в ней не затронут вопрос эквивалентности поляризационных параметров модели, уже исследованный ранее для возбуждения электрической линией [1].

Чтобы восполнить пробел, был проведён численный эксперимент, результаты которого описаны ниже. Нужно отметить, что расчёты проведены для одной модели ха-

рактерной для юга Сибирской платформы, поэтому выводы, сделанные в ней, нельзя назвать общими и вопрос требует более глубокого исследования.

Описание численного эксперимента

Задачи исследования: получить синтетический отклик от одномерной проводящей поляризующейся среды для многоразностной установки ЗСБ; решить ряд обратных задач для этого отклика для нахождения эквивалентных моделей, позволяющих описать синтетический отклик с невязкой менее 5 % по ЭДС.

Уровень невязки в 5 % выбран, основываясь на точности измерений, определённой инструкцией по электроразведке.

Для инверсии использовался метод главных осей [8], основанный на аппроксимации оврага целевой функции кривой второго порядка и движению по оврагу с поиском нескольких локальных минимумов.

В таблице 1 представлена модель для расчёта референтного отклика – это типичная геоэлектрическая модель юга Сибирской платформы с переслаиванием относительно проводящих и высокоомных образований (предоставлена одним из авторов [6] Е.Ю. Анотоновым).

Таблица 1

Слой	ρ , Ом*м	η , %	τ , с	c , б.р.	h , м
1	32,8				43,5
2	12,8	3,6	0,06	0,5	81,5
3	37,2				106,5
4	103,2				352
5	37,9				573
6	246,2				665
7	25,6				530
8	33,5				350
9	2000				∞

Время расчёта сигнала от 0.5 мс до 1.2 с. Схема установки предполагала расчёт сигнала становления на трёх датчиках: соосном и удалённых от центра питающей петли на 500 и 1000 м (рис. 1). В качестве источника задавалась квадратная петля с длиной стороны 500 м.

Невязка во время решения обратной задачи рассчитывалась по формуле:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{2 \cdot (\text{ЭДС}_P(t_i) - \text{ЭДС}_\Pi(t_i))}{\text{ЭДС}_P(t_i) + \text{ЭДС}_\Pi(t_i)} \right)^2}, \quad (2)$$

где индекс Р обозначает сигнал от референтной модели, индекс П обозначает сигнал от текущей модели, изменяющейся в процессе инверсии.

Распределение невязки во времени рассчитывалось по формуле:

$$\delta(t) = \frac{2 \cdot (\text{ЭДС}_P(t) - \text{ЭДС}_\Pi(t))}{\text{ЭДС}_P(t) + \text{ЭДС}_\Pi(t)},$$

где значение индексов аналогично (2).

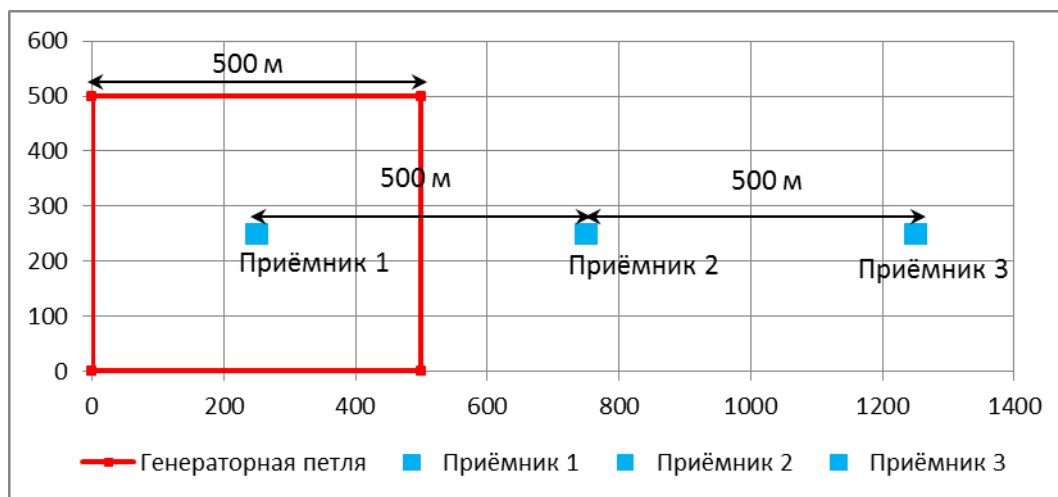


Рис. 1. Схема многоразносной установки ЗСБ для расчёта сигнала, состоящая из трёх приёмников: соосном и удалённых на 500 и 1000 м

Для поиска эквивалентных моделей первоначально закреплялось время релаксации на смещённых значениях относительно истинного: 1, 0,001 и 10 с (рис. 4). В результате решения обратной задачи были найдены эквивалентные решения (модели М1, М2 и М3) с общей невязкой по ЭДС для трёх измерителей 4,95 (рис. 2), 3,39 и 4,99 % соответственно. Затем, поляризующимся в модели был только первый слой, далее только третий. При этом во время решения обратной задачи были раскреплены все поляризационные параметры этих слоёв. Эквивалентные аппроксимации (модель М4 и М5) были получены с невязкой 4,17 и 3,87 % соответственно.

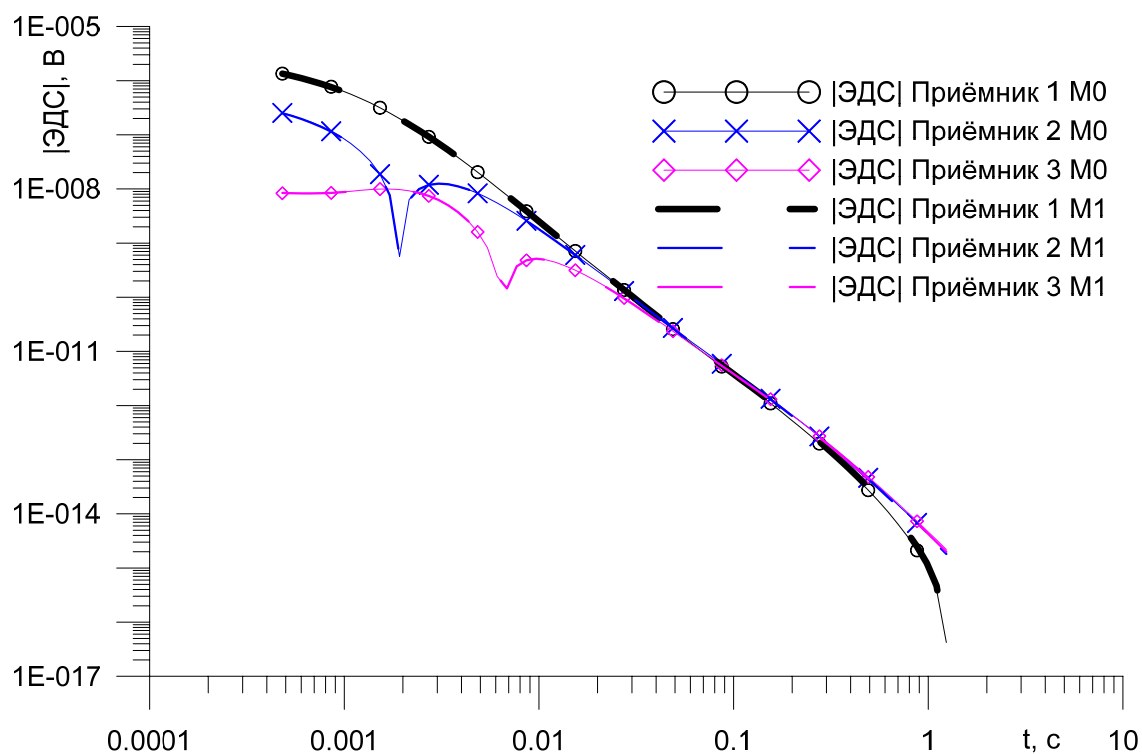


Рис. 2. ЭДС от референтной (с индексом М0) и от эквивалентной модели М1 (с индексом М1) для многоразносной установки ЗСБ. Невязка: 4,95 %

Не удалось найти эквивалентного решения при помещении поляризуемости в четвёртый слой (модель М6), невязка составила 6,26 %.

Основная невязка для эквивалентных аппроксимаций сосредоточена на поздних временах спада от 300 мс до 1,2 с, больше она для сигнала на соосном датчике (рис. 3). Только в последнем случае, когда поляризующимся является четвёртый слой (модель 6), максимальные расхождения сигнала для измерителя, удалённого на 500 м.

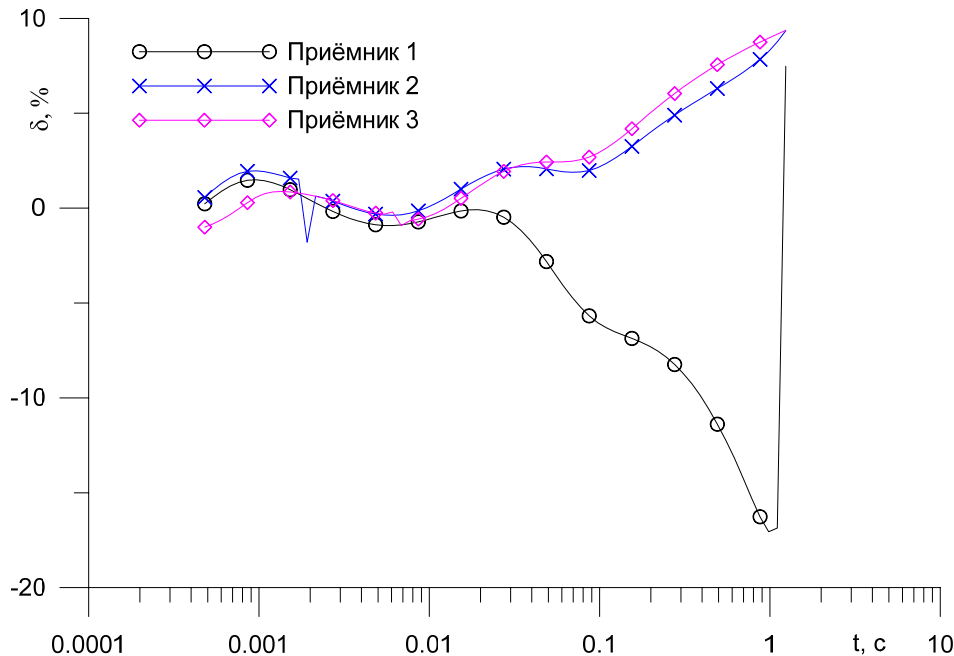


Рис. 3. Распределение невязки ЭДС во времени между откликом от референтной и от эквивалентной модели М1 для многоканальной установки ЗСБ

Нужно отметить, что УЭС и проводимость слоёв для эквивалентных моделей незначительно отличаются от референтных значений. Только для модели М6 суммарная продольная проводимость отличается от референтной более чем на 10 %, в остальных случаях различие не более 5 % (рис. 6).

Выводы

Выводы, которые можно сделать из проведённого исследования:

- имеется чувствительность индукционного отклика к поляризационным параметрам референтной модели;
- отклик от данной референтной модели в пределах погрешности наблюдений 5 % можно аппроксимировать рядом эквивалентных моделей, поэтому можно утверждать, что существует широкая область эквивалентных поляризующихся моделей;
- для данной модели по индукционному отклику нельзя определить, в каком слое находится поляризующийся объект;
- для данной модели нельзя определить численные значения поляризационных характеристик;
- чтобы сделать глобальные выводы о пределах действия эквивалентности поляризационных параметров при индукционном возбуждении разреза и индукционном измерении сигнала, необходимо провести более масштабные исследования.

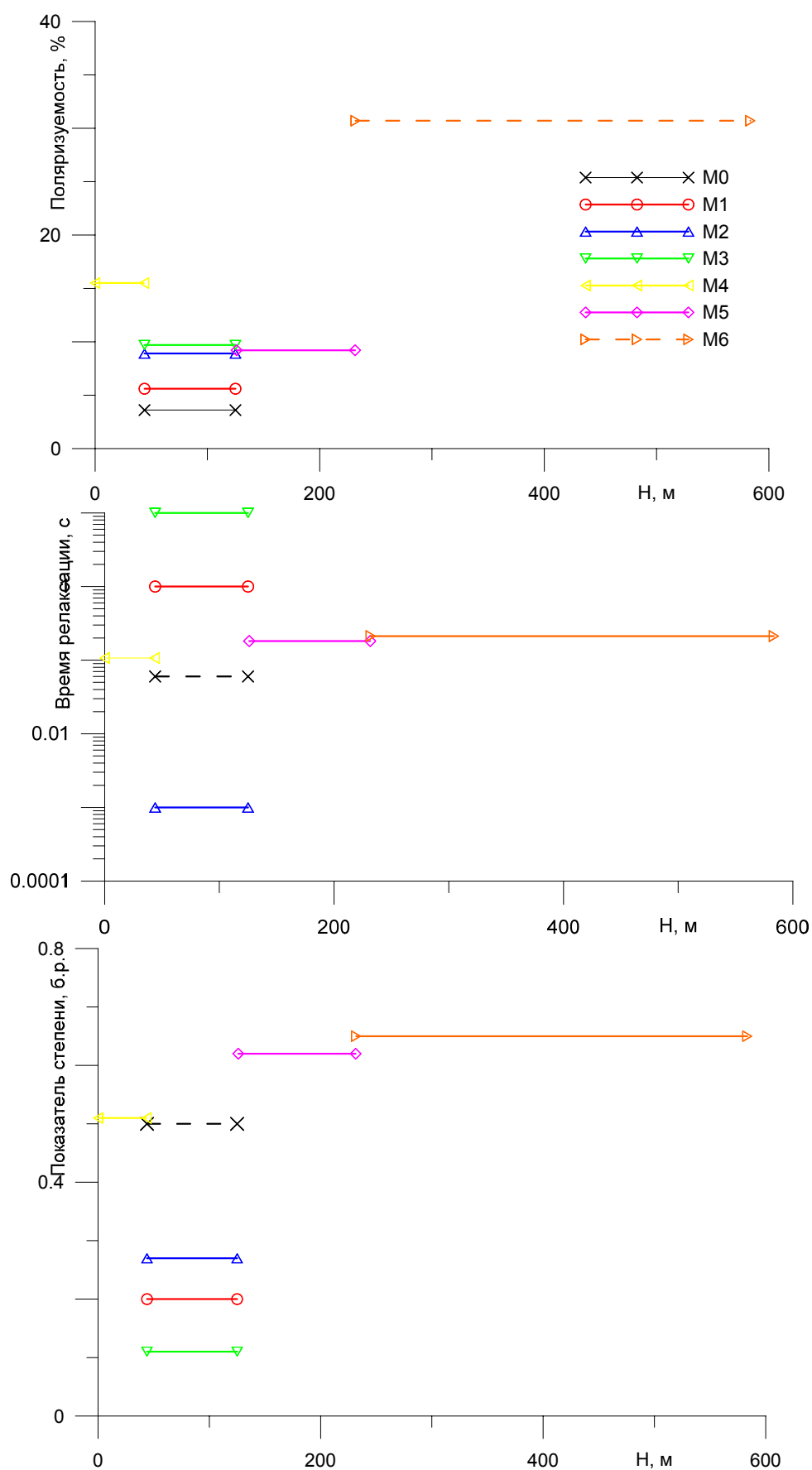


Рис. 4. Поляризационные параметры (поляризуемость (вверху), время релаксации и показатель степени (внизу)) по слоям для референтной (M0) и эквивалентных моделей (M1-M6)

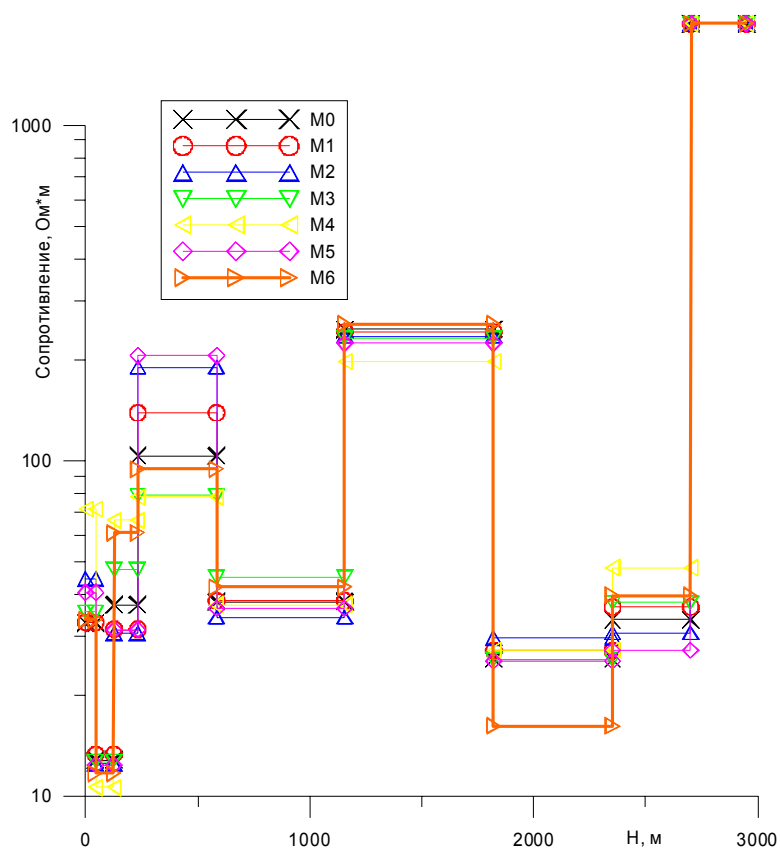


Рис. 5. Графики изменения сопротивления по слоям для референтной (M0) и эквивалентных моделей (M1-M6)

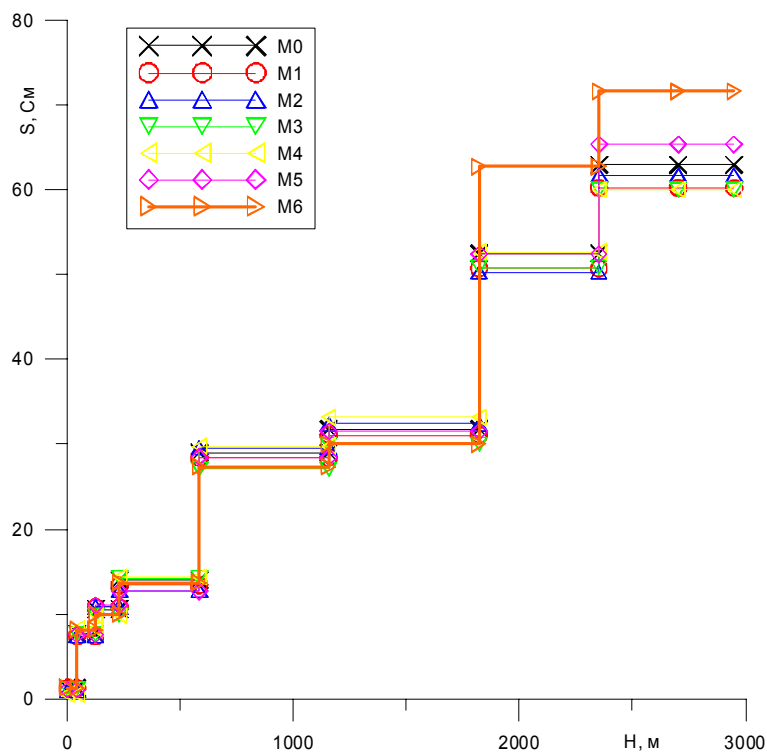


Рис. 6. Графики накопленной проводимости по слоям для референтной (M0) и эквивалентных моделей (M1-M6)

Библиографический список

1. Агеев Е.В. Исследование эквивалентностей горизонтально-слоистых поляризующихся сред в дифференциально-нормированном методе электроразведки // Автореферат дисс. канд. геол.-мин. наук. – Иркутск, 2004. – 18 с.
2. Кожеев Н.О., Антонов Е.Ю. Инверсия данных МПП с учётом быстро протекающей индукционно вызванной поляризации: численный эксперимент на основе модели однородного поляризующегося полупространства // Геофизика. – 2007. – № 1. – С. 42–50.
3. Кожеев Н.О., Антонов Е.Ю. Импульсная индуктивная электроразведка поляризующихся сред // Геофизический журнал. – 2009. – № 4, Т. 31. – С. 104–118.
4. Кожеев Н.О., Антонов Е.Ю. Совместная инверсия данных МПП с учётом индукционно вызванной поляризации // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50, № 2. – С. 181–190.
5. Комаров В.А. Электроразведка методом вызванной поляризации. – Ленинград : Недра, 1980. – 391 с.
6. Компаниец С.В., Кожеев Н.О., Антонов Е.Ю. Проявление и учёт индукционно вызванной поляризации при изучении осадочного чехла юга сибирской платформы методом ЗСБ // Геофизика. – 2013. – № 1. – С. 35–40.
7. Основы теории геохимических полей углеводородных скоплений / И.С. Старобинец, А.В. Петухов, С.Л. Зубайраев / под ред. А.В. Петухова и И.С. Старобинца. – М. : Недра, 1993. – 332 с.
8. http://www.allpsych.uni-giessen.de/karl/pdf/03_praxis.pdf.



УДК 550.837.211

Д.А. Алексеев^{1,2}, А.Г. Нурмухамедов³, И.И. Чернев⁴, А.Г. Яковлев^{1,5}

ТРЕХМЕРНАЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МУТНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПАРОГИДРОТЕРМ

Аннотация. В докладе приводятся результаты интерпретации данных магнитотеллурического зондирования (МТЗ), полученных в районе Мутновского месторождения парогидротерм (Камчатка) в период с 2004 по 2014 гг. Обсуждаются подходы к интерпретации магнитотеллурических данных в ситуации, характеризующейся существенными трехмерными искажениями и явлением берегового эффекта. Представлена результирующая 3D-геоэлектрическая модель.

Ключевые слова: магнитотеллурическое зондирование, гидротермальные ресурсы, геоэлектрическая модель.

Об авторах:¹ ООО «Северо-Запад», Москва.² Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва.³ ОАО «Камчатгеология», Петропавловск-Камчатский.⁴ ОАО «Геотерм», Петропавловск-Камчатский.⁵ Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва.

D.A. Alekseev, A.G. Nurmuhamedov, I.I. Chernov, A.G. Yakovlev

3-D CONDUCTIVITY MODEL OF THE MUTNOV GEOTHERMAL FIELD

Abstract. We present the results of the interpretation of magnetotelluric (MT) data acquired in the Mutnov geothermal field area during the period from 2004 to 2014. Approaches to an interpretation of MT data in