

Влияние расположенного в трёхслойной модели среды приповерхностного локального объекта на результаты МТЗ; опыт математического моделирования

А.Д. Каринский¹, Д.С. Даев

¹Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), akarinski@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В опубликованных нами ранее работах было дано обоснование применению приближённого подхода к определению понятия "область пространства, оказывающая существенное влияние на результаты измерений" и приведены результаты 3D- моделирования применительно к некоторым электрическим и электромагнитным методам геофизики. В этой работе представлены полученные на основе применения такого подхода результаты математического моделирования для метода магнитотеллурического зондирования (МТЗ) в случае, когда имеющий изометричную форму и малые размеры объект ΔV расположен в верхнем слое трёхслойной модели проводящего полупространства. Электромагнитное поле в отсутствие объекта ΔV - линейно-поляризовано. Показано то, какое влияние объект ΔV оказывает на частотные зависимости некоторых величин, вычисляемых в методе МТЗ.

Ключевые слова: магнитотеллурическое зондирование; локальный объект; моделирование

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы, связанные с моделированием влияния "горизонтальной неоднородности" среды на результаты магнитотеллурических зондирований, рассмотрены в ряде работ, например, в статье [Бердичевский, Яковлев, 1989] и других. В монографии [Бердичевский, Дмитриев, 2009] искажения результатов МТЗ, вызванные локальными приповерхностными неоднородностями были названы " $\bar{\rho}$ -эффектом".

В работе [Каринский, Даев, 2012] было дано обоснование приближённому подходу к определению понятия "область пространства, оказывающая основное влияние на результаты электрических и электромагнитных методов геофизики". Сравнение получаемых результатов с данными, приведенными в работах [Loke, Dahlin, 2002], [Dahlin, Zhou, 2004] для электроразведки методом сопротивлений, подтвердило правомерность применения этого подхода. Затем в работах [Каринский и др., 2014, а], [Каринский и др., 2016], [Каринский, Даев, 2017] и других было показано то, как этим подходом можно воспользоваться для моделирования влияния локальных объектов на результаты электроразведки методом сопротивлений и каротажа КС. В статье [Каринский и др., 2014 б] было показано то, какое влияние такой объект, расположенный в верхнем слое двухслойной модели проводящего

полупространства, может оказывать на результаты МТЗ. Заданным, кроме модели среды, являлось первичное поле - плоская, линейно поляризованная гармоническая волна, падающая на проводящее полупространство по направлению нормали (и оси Z декартовых координат) к его границе. При соответствующем выборе направлений осей X , Y для электрической и магнитной составляющих первичного электромагнитного поля, а также для поля в горизонтально-слоистой модели среды, имеем $\mathbf{E} = \mathbf{1}_x \cdot E_x$, $\mathbf{H} = \mathbf{1}_y \cdot H_y$.

МЕТОДЫ

Ниже приведены результаты численных расчётов для случая, когда модель проводящего немагнитного полупространства трёхслойная (рисунок 1, а). Наиболее интересные (и практически значимые) результаты моделирования $\bar{\rho}$ -эффекта при МТЗ нами были получены для кажущегося удельного электрического сопротивления ρ_T , а также - для отношения амплитуд вертикальной и горизонтальной компонент магнитной составляющей \mathbf{H} электромагнитного поля. Поэтому ниже, на рисунках 2, 3, приведены результаты моделирования для этих величин.

Известно, что при МТ-зондированиях определяют компоненты электрической (\mathbf{E}) и магнитной (\mathbf{H}) составляющих электромагнитного поля на границе "земля - воздух" (плоскость $z=0$ в модели на рисунке 1). При обработке результатов измерений получают частотные зависимости амплитуд и начальных фаз

компонент E_x, E_y, H_x, H_y, H_z . Ориентированные по направлению осей X, Y, Z индукционные датчики, служащие для измерения компонент магнитного поля \mathbf{H} , имеют небольшие размеры. Можно принять допущение, что измеряемые при помощи таких датчиков сигналы пропорциональны соответствующим компонентам поля \mathbf{H} в центрах датчиков, расположенных вблизи центра O измерительной установки. Но предназначенные для определения компонент E_x, E_y электрического поля измерительные линии MN имеют большую протяжённость. Длины линий MN могут значительно превышать линейные размеры локальных объектов ΔV , влияющих на результаты МТЗ. Поэтому для определения влияния таких объектов на данные МТЗ нами были проведены расчёты для компонента поля \mathbf{H} и для напряжения E_{MN} электрического поля \mathbf{E} в линии M_1N_1 (рисунок 1, б). Затем, на основе полученных путём интегрирования результатов расчётов напряжения E_{MN} мы определяли компоненту $E_x = E_{MN} / l_{MN}$, где l_{MN} - длина измерительной линии MN . Применение такого, не самого простого, подхода связано с тем, что для указанного выше первичного поля в горизонтально-слоистой модели среды электрическое (а также и магнитное) поле одинаково во всей плоскости S ($z=0$) и одинаково в пределах каждой плоскости $z=const$, но в присутствии локального объекта это далеко не так.

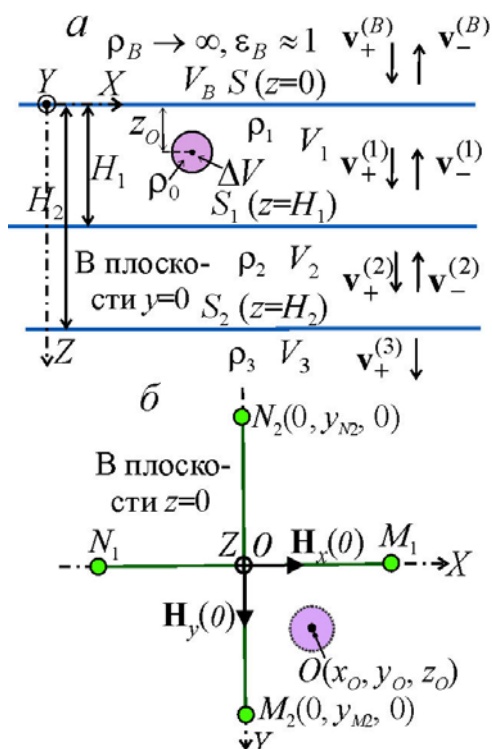


Рисунок 1. Модель среды и установки МТЗ

РЕЗУЛЬТАТЫ

На следующих двух рисунках будут

представлены только те результаты численных расчётов, которые были получены при следующих параметрах модели. Объект ΔV имеет форму шара с радиусом 3 м, а его удельное электрическое сопротивление $\rho_0 \ll \rho_1$ (см. рисунок 1, а). Координата z (глубина) центра O объекта: $z_0=4$ м. Глубины горизонтальных границ: $H_1=100$ м, $H_2=1000$ м. Длины линий MN равны 20 м (см. рисунок 1, б).

На рисунке 2 показаны зависимости определяемого в методе МТЗ по результатам измерений кажущегося удельного электрического сопротивления ρ_T от квадратного корня из периода T . Значения ρ_T определены по модулю импеданса $|Z_{xy}| = |E_x| / |H_y|$, где $|E_x|, |H_y|$ - амплитуды компонент E_x, H_y в плоскости S (при $z=0$). Чёрным цветом на рисунке 2 показаны трёхслойные кривые зондирования для 1D- модели среды - в отсутствие объекта ΔV . Другие кривые получены для 3D - модели среды в присутствии объекта ΔV . При $x_0=7$ м эпицентр O объекта ΔV находится в пределах измерительной линии M_1N_1 , а при $x_0=13$ м - вне этой линии на расстоянии 3 м от неё (см. рисунок 1).

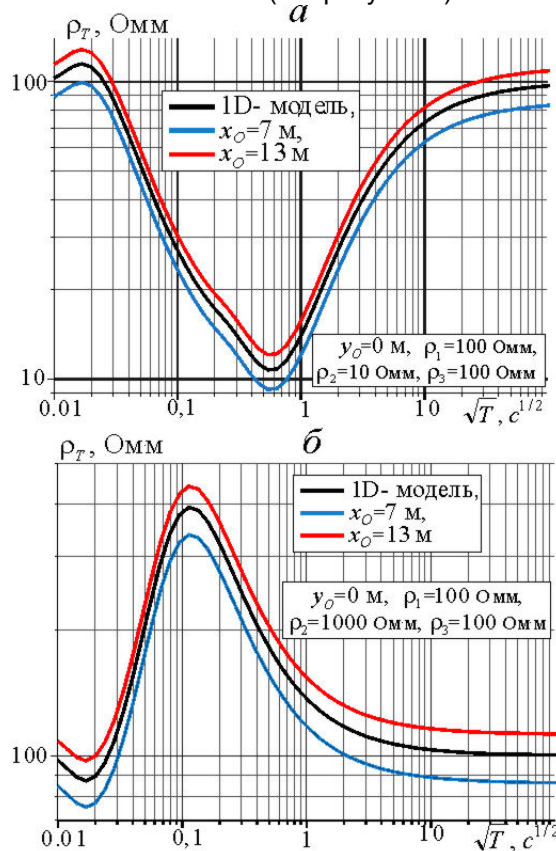


Рисунок 2. Зависимости кажущегося удельного электрического сопротивления ρ_T от $T^{1/2}$

На рисунках 2, а, б видно, что относительное влияние приповерхностного локального объекта ΔV на кажущееся удельное

электрическое сопротивление ρ_T практически не зависит от периода T (и от частоты $f=1/T$). Это, подтверждает высказанное в монографии [Бердичевский, Дмитриев, 2009] и некоторых других работах утверждение о том, что обусловленное присутствием локальной неоднородности аномальное электрическое поле при ρ -эффекте имеет преимущественно кулонову (гальваническую) природу. С этим согласуются также следующее. Как показали результаты моделирования, присутствие объекта ΔV практически не влияет на аргумент импеданса $\text{Arg}(Z_{xy})$ и, следовательно, на разности начальных фаз $\Delta\varphi(Z_{xy})=\varphi(E_x)-\varphi(H_y)$ компонент суммарного поля при $z=0$. Это возможно лишь в том случае, когда индукционная составляющая аномального электрического поля, обусловленная влиянием объекта ΔV , пренебрежимо мала по сравнению с кулоновой составляющей этого поля.

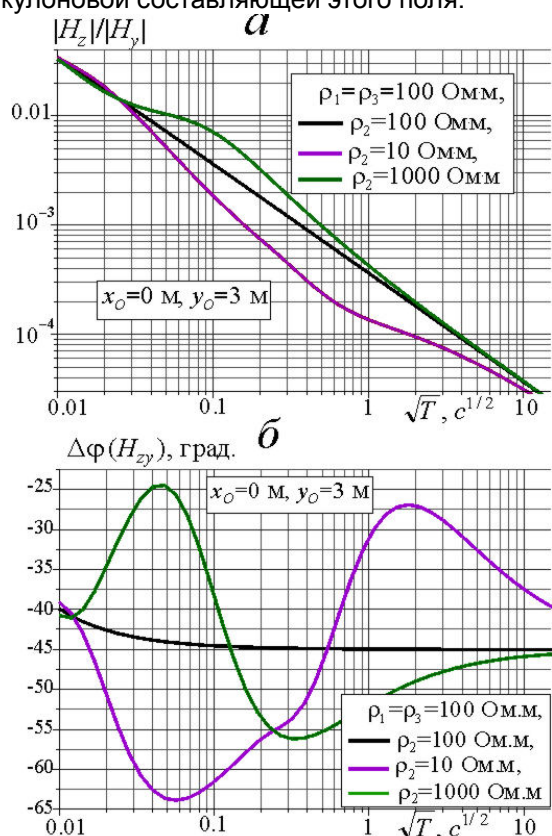


Рисунок 3. Зависимости отношения амплитуд $|H_z|/|H_y|$ (а) и разности фаз $\Delta\varphi(H_{zy})$ (б) от $T^{1/2}$

На рисунке 3, а показана зависимость отношения амплитуд $|H_z|/|H_y|$ вертикальной и горизонтальной компонент магнитного поля \mathbf{H} от квадратного корня из периода T . Обратим внимание на то, что при тех моделях первичного ЭМ поля и среды, при которых были проведены численные расчёты, в отсутствии объекта ΔV вертикальная компонента $H_z=0$. Как видно на рисунке 3, а, отношение амплитуд $|H_z|/|H_y|$

убывает с ростом периода колебаний T . Отметим, что зависимости $|H_z|/|H_y|$ от $T^{1/2}$ на рисунке 3, а монотонны, а при $\rho_1=\rho_2=\rho_3$ (в двойном логарифмическом масштабе) эта зависимость близка к линейной. По-видимому, зависимости $|H_z|/|H_y|$ от $T^{1/2}$ могут служить критерием того, что на результаты МТЗ оказывает (либо не оказывает) влияние присутствие локальных объектов ΔV .

Дополнительную информацию для выявления такого влияния, может дать зависимость от $T^{1/2}$ разности фаз $\Delta\varphi(H_{zy})$ компонент H_z и H_y (а в общем случае также $\Delta\varphi(H_{zx})$). Пример зависимости разности фаз $\Delta\varphi(H_{zy})$ от аргумента $T^{1/2}$ приведен на рисунке 3, б.

На этом рисунке видим, что зависимости $\Delta\varphi(H_{zy})$ от $T^{1/2}$ имеют значительные различия при $\rho_1=\rho_2=\rho_3$, $\rho_1<\rho_2>\rho_3$ и $\rho_1>\rho_2<\rho_3$. Возможно, такие зависимости могут не только быть критерием того, что на результаты МТЗ оказывают влияние локальные объекты ΔV , но также послужить для (независимой от результатов измерений характеристик электрического поля \mathbf{E}) оценки соотношений между удельными электрическими сопротивлениями ρ слоёв с горизонтальными границами. Это может быть актуальным в тех случаях, когда проведение измерений напряжений E_{MN} электрического поля в методе МТЗ является затруднительным из-за проблем с заземлением электродов M и N .

ЛИТЕРАТУРА

- Бердичевский М. Н., Яковлев А. Г. Аналитическая модель магнитотеллурического зондирования, искаженного эффектом S. // Физика Земли. 1989, № 9, с. 82–88.
- Бердичевский М. Н., Дмитриев В. И. Модели и методы магнитотеллурики. М. Научный мир, 2009. 680 с.
- Каринский А. Д., Даев Д. С. Об областях пространства, существенно влияющих на результаты измерений в электромагнитных методах. // Геофизика. 2012, № 6, С. 42-53.
- Каринский А. Д., Даев Д. С., Мазитова И. К. Математическое моделирование С-эффекта и Р-эффекта в методах сопротивлений электроразведки. // Геофизика. 2014, № 1, С. 36-45.
- Каринский А. Д., Даев Д. С., Красносельских А. А., Мазитова И. К. Математическое моделирование влияния приповерхностных

А.Д. Каринский, Д.С. Даев. Влияние расположенного в трёхслойной модели среды приповерхностного локального объекта на результаты МТЗ; опыт математического моделирования

локальных неоднородностей на результаты магнитотеллурических зондирований. // Геофизика. 2014, № 6, С. 62-70.

Каринский А. Д., Даев Д. С., Мазитова И. К., Юдин М. Н. Математическое моделирование влияния локальных объектов на результаты методов сопротивлений электроразведки. Международная научно-практическая конференция "Теория и практика разведочной и промысловой геофизики", г. Пермь, 24–26 ноября 2016 г. Доклады, с. 122- 126.

Каринский А. Д., Даев Д. С. Влияние локальных объектов на результаты электроразведки методом сопротивлений; опыт математического моделирования. // Геофизика. 2017, № 1, С. 35-44.

Dahlin T. and Zhou B. A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. // Geophysical Prospecting. 2004, Vol. 52, - Pp. 379–398.

Loke M.H. and Dahlin T. A comparison of the Gauss-Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion. // Journal of Applied Geophysics, 2002 , Vol. 49, Pp. 149–162.