

НАТУРНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ 3D ИНВЕРСИИ МАГНИТОВАРИАЦИОННЫХ ТИППЕРОВ

Старжинский С.С.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток
ss_stars@poi.dvo.ru*

Широкое использование в последнее время магнитотеллурических (МТ) и магнитовариационных (МВ) методов исследования геоэлектрического строения глубоких слоёв Земли основано на регистрации естественных вариаций теллурических токов и геомагнитного поля в широком диапазоне периодов. Обработка полученных цифровых записей позволяет получить частотные зависимости импедансов и типперов, служащих основой для построения моделей геоэлектрического строения в процессе выполнения их интерпретации.

Основным методом интерпретации МТ и МВ данных в последнее время является выполнение их 3D инверсии, основанной на решении регуляризованной обратной задачи, для достижения однозначности и устойчивости которого требуется выполнять большой объём компьютерных расчётов с заданием различных стартовых моделей среды, размерностей используемых сеток и с оценкой чувствительности решения к контрастностям удельных электрических сопротивлений (УЭС) блоков земной коры (ЗК) и верхней мантии (ВМ), а в некоторых случаях и инвертировать контрольные цифровые модели разреза.

С другой стороны, существует возможность оценки способности метода 3D инверсии выделять поверхностные проводящие неоднородности, положение и форма которых хорошо известны. Под этими неоднородностями будут пониматься морские заливы и бухты, для которых контуры и глубины определены на топографических и батиметрических картах. В дополнении к этому УЭС морской воды $\rho \approx 0.3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ обеспечивает большую контрастность по УЭС с большинством горных пород, слагающих ЗК и обладающих удельными электрическими сопротивлениями в диапазоне от 10 до нескольких тысяч Ом·м.

Таким образом, проводя регистрацию геомагнитных вариаций вблизи подобных неоднородностей и выполняя 3D инверсию, получаемых в результате типперов, чувствительных к горизонтальным градиентам УЭС [1], можно оценить возможности метода МВ зондирования по их выделению на натуральных моделях разрезов.

При обработке трёх H_x, H_y, H_z компонент, зарегистрированных магнитных вариаций используется линейная связь между ними в частотной области

$$H_z(f) = A(f)H_x(f) + B(f)H_y(f), \quad (1)$$

где комплексные коэффициенты A, B (типперы) зависят от частоты f и распределения УЭС в геоэлектрическом разрезе. На основе рассчитанных коэффициентов A и B были определены индукционные стрелки (рис. 1) в двух пунктах ОТР и МРV на противоположных берегах залива Находка. Стрелки на коротком периоде 15.8 с направлены в область ближайшего шельфа, а на длинном периоде 1581.2 с направлены перпендикулярно простиранию материкового склона.

3D инверсия экспериментальных зависимостей $A(f), B(f)$ выполнялась путём решения обратной задачи магнитовариационного зондирования (МВЗ) для различных стартовых моделей, позволяющих построить результирующую модель геоэлектрического разреза, оптимально удовлетворяющую экспериментальным данным. Для выполнения инверсии была использована программа трёхмерного моделирования ModEM [2].

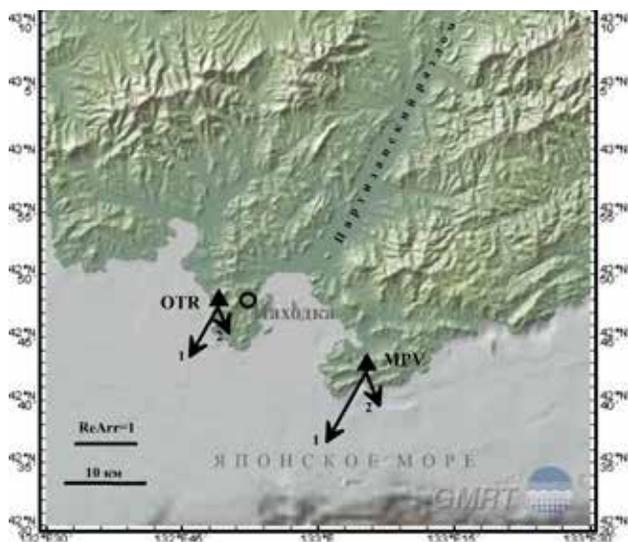


Рис. 1. Карта рельефа района исследований с расположением пунктов измерений (треугольники) и ориентацией на них реальных индукционных стрелок в конвенции Паркинсона на периоде 15.8с (1) и 1581.2 с (2). Карта рельефа построена с использованием программы GeoMapApp (<http://www.geomapapp.org>) [1].

Все расчёты по выполнению инверсии проводились с использованием оборудования ЦКП «Дальневосточный вычислительный ресурс» ИАПУ ДВО РАН на многопроцессорном вычислительном кластере IRUS17 (<https://www.cc.dvo.ru>).

Размерность используемой сетки была $86 \times 86 \times 53$ ячеек по осям x , y , z , соответственно, Начало модельной системы координат помещалось в пункте ОТР. В горизонтальной плоскости в центральной части сетки размером 60×60 ячеек размер ячейки был 4×4 км и к краям сетки он увеличивался в геометрической прогрессии со знаменателем 1.25, что определяет область моделирования $\approx 926 \times 926$ км. По оси z вниз размер первой ячейки составлял 30 м и увеличивался с глубиной в геометрической последовательности со знаменателем 1.28.

Стартовые модели разреза задавалась как однородным полупространством с УЭС $\rho = 100$ Ом·м, так и полупространством включающем водную толщу прибрежной части Японского моря с учётом её батиметрии и УЭС равным 0.3 Ом·м. При этом в глубоководной части моря глубины составляли 3.2 км и 0.26 км. В последнем варианте рассматривалось мелководное море.

Экспериментальные значения типперов задавались на 14-ти периодах на интервале 15.8-8891.4 с. Их ошибка задавалась равной 0.02. Близость экспериментальных значений типперов к предсказанным по результирующей модели значениям оценивалась по нормированному среднеквадратическому отклонению и составила для результирующей модели 3.2.

На рис. 2 показан горизонтальный срез результирующей модели в области глубин 496-664 м. Хорошо видна проводящая зона под дном залива Находка, продолжающаяся и на суше в направлении Партизанского разлома. Выделяемая аномальная зона в полученной модели просматривается, начиная с глубин в первые десятки метров и до глубин в первые км. Если на малых глубинах можно полагать, что аномальный эффект вызывается проводящей водной толщей и осадками залива Находка, то на километровых он, по-видимому, обусловлен зоной дробления Партизанского разлома и её повышенной электрической проводимостью, которая может обеспечиваться мантийными флюидами. Выделенная поверхностная аномалия просматривается со всеми стартовыми моделями и глубинами моря, что говорит о надёжности её локализации. В самой верхней части её контуры практически очерчивают побережье залива Находка с его глубинами от 10 до 50 м.

Если существование проводящей зоны в верхах ЗК в модели как-то можно связать с особенностями тектонического строения района, то

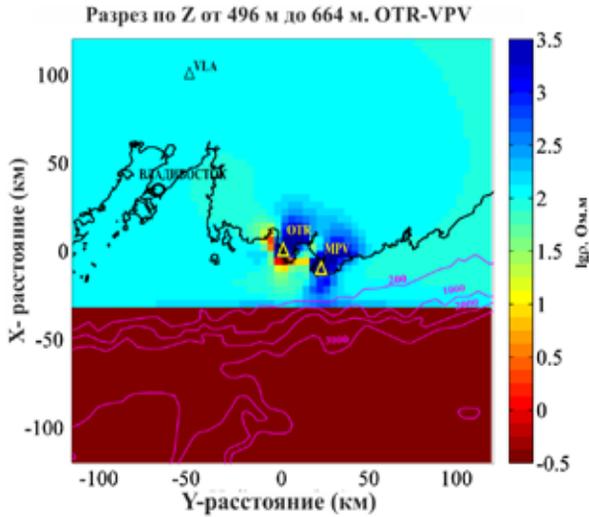


Рис. 2. Горизонтальный срез результирующей модели в диапазоне глубин 496–664 м. Треугольниками показано расположение пунктов измерений. Чёрной линией изображена береговая черта. Глубины моря в м. Окрашенный прямоугольник в нижней части-море в стартовой модели.

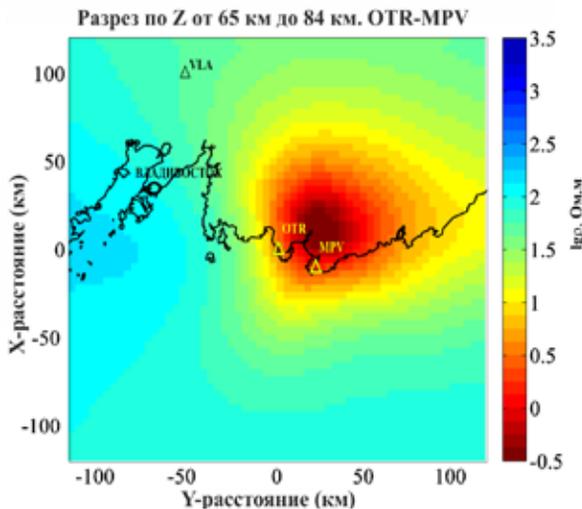


Рис. 3. Горизонтальный срез результирующей модели в диапазоне глубин 65–84 м. Треугольниками показано расположение пунктов измерений. Чёрной линией изображена береговая черта.

выделяемое в модели проводящее тело, погружающееся под континент от нижнекоровых до верхнемантийных глубин около 140 км, требует дальнейших исследований. Горизонтальный срез этого тела изображён на рис. 3.

В этой его части оно расположено практически под пунктами измерений и если предположить его обусловленность зоной частичного плавления пород, то можно ожидать и подъём флюидов к верхам ЗК, что и обусловит повышенную проводимость зоны дробления Партизанского разлома.

Необходимо отметить, что аномальные области выделены на фоне региональных поверхностных проводящих неоднородностей, представленных шельфовыми и глубоководными частями Японского моря и определяющих ориентацию индукционных стрелок, изображённых на рис. 1.

Литература

1. Campanya J., Ogaya X., Jones A.G., Rath V., Vozar J., Meqbel N. The advantages of complementing MT profiles in 3-D environments with geomagnetic transfer function and interstation horizontal magnetic transfer function data: results from a synthetic case study // *Geophys. J. Int.* 2016. V. 207. P. 1818-1836.
2. Ryan W.B.F., Carbotte S.M., Coplan J.O., O'Hara S., Melkonian A., Arko R., Weissel R.A., Ferrini V., Goodwillie A., Nitsche F., Bonczkowski J., and Zemsky R. Global Multi-Resolution Topography synthesis // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2009. V. 10. Q03014. doi: 10.1029/2008GC002332
3. Egbert G.D., and Kelbert A. Computational recipes for electromagnetics inverse problems // *Geophys. J. Int.* 2012. V. 189. P. 251-267. doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.05347.x