

## НЕКОТОРЫЕ ЧЕРТЫ СТРОЕНИЯ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА ПО МАГНИТОВАРИАЦИОННЫМ ДАННЫМ

Трофимов И.Л.<sup>1</sup>, Жданов М.С.<sup>2</sup>, Коротаев С.М.<sup>1,3</sup>, Кругляков М.С.<sup>3,4</sup>, Орехова Д.А.<sup>3</sup>,  
Попова И.В.<sup>1</sup>, Шнеер В.С.<sup>1</sup>, Щорс Ю.Г.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> – Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта, Москва,

<sup>2</sup> – Консорциум по электромагнитному моделированию и инверсии (СЕМІ), UTA USA,

<sup>3</sup> – НИЦ Курчатовский институт, Москва,

<sup>4</sup> – Московский Государственный Университет, Москва.

Проведено трехмерное численное моделирование геоэлектрического разреза центральной части Северного Ледовитого океана по магнитовариационным данным, полученным на дрейфующих станциях "Северный полюс". Обработка и интерпретация данных были выполнены на основе новой теории комплексных магнитных индукционных векторов (МИВ). Установлено, что для интерпретации МИВ необходимо использовать более сложный источник первичного поля, нежели традиционная плоская волна. Расчеты показали, что распределение такого параметра МИВ как большая полуось зависит в основном от геометрии источника, а малых – от геоэлектрического разреза. Поэтому была реализована следующая идея - параметры эквивалентного источника магнитных вариаций были определены на основе естественного распределения больших полуосей. В качестве такого источника была выбрана пара вертикальных магнитных диполей, расположение которых относительно области интерпретации было определено с помощью нейросетевого метода. Параметры геоэлектрического разреза были определены с помощью интерпретации распределения малых полуосей на основе вычислительных моделей, включающих эквивалентный источник вариаций. В результате была получена модель геоэлектрического разреза океана для области регионального масштаба.

*Ключевые слова:* магнитные индукционные вектора, геоэлектрический разрез, эквивалентный источник, Северный Ледовитый океан

Северный Ледовитый океан имеет чрезвычайно сложное геологическое строение. Особенностью океана является распространенность на части его акватории при типично океанических глубинах литосферы континентального типа. В данной работе проводилось моделирование геоэлектрического разреза приполюсной части его акватории на основе длиннопериодных магнитовариационных данных с целью определения границ распространения континентальной литосферы.

В основе данной работы лежит концепция комплексных четырехкомпонентных магнитных индукционных векторов (МИВ), разработанная И.Л. Трофимовым [1,2]. Проводилась интерпретация МИВ для периода 24 часа, полученных Трофимовым в результате обработки данных дрейфующих станций «Северный Полюс» (СП) за период с 1962 по 1976 год.

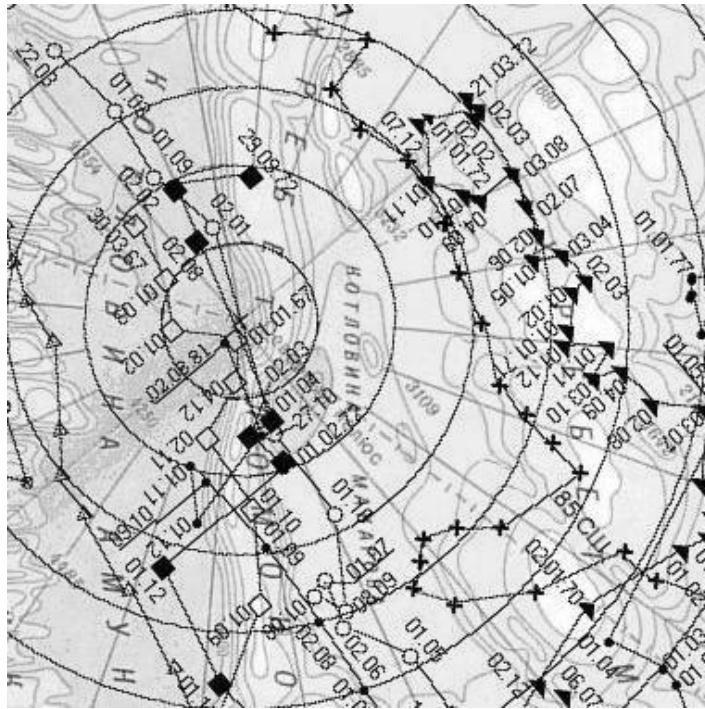


Рис. 1. Карта дрейфа станций СП в пределах области интерпретации.

Было установлено, что для интерпретации МИВ необходимо использовать более сложный источник первичного поля, нежели традиционная плоская волна, поскольку в рамках модели плоской волны такой параметр МИВ как большие полуоси оказываются меньше экспериментальных на 1-2 порядка. Фактически это означает, что вертикальная компонента получаемого магнитного поля  $H_z$  существенно меньше наблюдаемой. Возникла задача определения модельного источника, который бы создавал достаточно большую компоненту  $H_z$  в первичном поле. В качестве такого источника была выбрана пара вертикальных магнитных диполей. Вычисления для двух диполей разнесенных на разные расстояния от центра площади моделирования показали, что величина больших полуосей зависит в основном от геометрии источника, а малых – от геоэлектрического разреза. Исходя из этой предпосылки, была поставлена обратная задача определения источников по большим полуосям, которая была решена И.В. Поповой с помощью нейросетевого метода [3]. В качестве входных данных для нейронных сетей использовались значения величины большой полуоси МИВ, а в качестве выходных - соответствующие им координаты положений двух диполей. Географические координаты найденных оптимальных диполей оказались следующими:  $\varphi_1=69.6^\circ$  с.ш.,  $\lambda_1=217^\circ$  в.д.;  $\varphi_2=65.6^\circ$  с.ш.,  $\lambda_2=83^\circ$  в.д.

В качестве вычислительного инструмента моделирования использовался метод интегральных уравнений [4,5]. Расчеты проводились на высокопроизводительных кластерах НИЦ Курчатовский институт и РАН, с помощью программного обеспечения Pie3d, разработанного консорциумом SEMI.

Область моделирования в горизонтальной плоскости состояла из трёх зон:

1) Собственно область интерпретации (рис. 1), для которой проводился подбор геоэлектрических параметров на основе распределения МИВ. Эта зона имеет форму квадрата со стороной 1000 км.

2) Переходная область, прилегающая к области интерпретации и включающая в себя приближенное продолжение геологических структур, подбираемых в первой области. Вместе обе эти зоны представляют собой квадрат со сторонами 3000 км.

3) Нормальный разрез. Горизонтально-слоистый океанический разрез с верхним слоем морской воды толщиной 4000 м, слоем осадков толщиной 1 км и проводимостью 1 См/м, подстилаемого корой проводимостью 0.01 См/м и глубиной до высокопроводящего (1 См/м) основания 50 км.

Предварительный расчет с эквивалентным источником для различных простых аномалий, осложнённых локальными проводящими неоднородностями, выявил, что если большие полуоси в большей степени зависят от положения источника, то малые полуоси существенно зависят от горизонтального градиента проводимости. Было обнаружено, что влияние локализованных проводящих объектов прослеживается на расстояниях в несколько раз больших, чем поперечный размер зоны развития этих неоднородностей.

На основе этих результатов были определены три вида элементарных аномалий, которые далее использовались как элементы для построения региональной аномалии в области интерпретации:

1. Вертикальный сильно проводящий разлом, соединяющий осадочный чехол с проводящим основанием (астеносферой).

2. Зона подъема проводящего основания, границы которой могут быть как вертикальными, так и наклонными.

3. Зона континентальной литосферы с характерной проводимостью  $10^{-3} \text{ См/м}$ , которая может отделяться от океанической переходной зоной, где проводимость коры и верхней мантии плавно меняется от  $10^{-3}$  до  $10^{-2} \text{ См/м}$ .

Был проведен расчет нескольких десятков вариантов глобальных моделей состоящих из таких элементарных аномалий различных размеров, расположенных различным образом. Наилучшее приближение к экспериментальным данным достигается в модели, изображенной в двух сечениях на рис. 2 и 3.

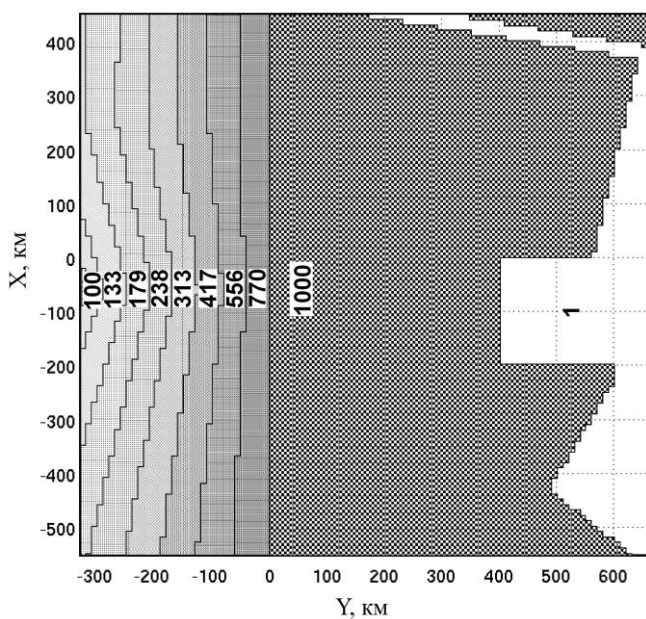


Рис. 2. Горизонтальное сечение модели на глубине 60 км. Цифры – удельное сопротивление, Ом м.

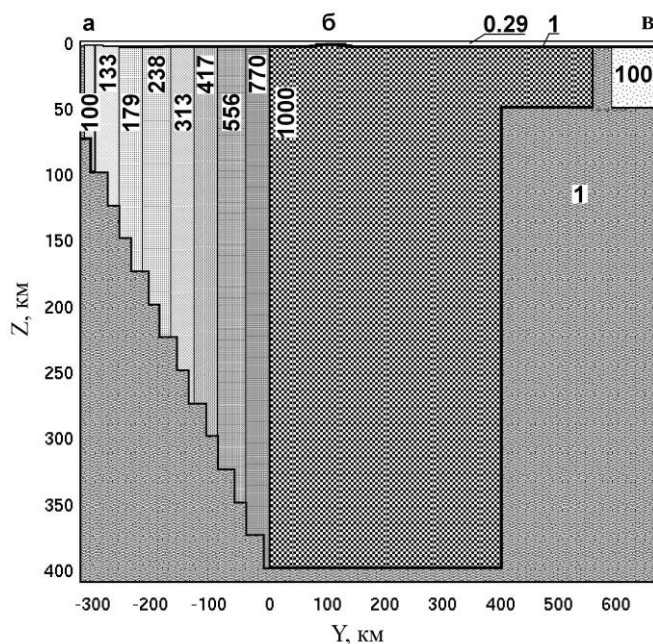


Рис. 3. Вертикальное сечение модели при  $X=-70 \text{ км}$ . Цифры – удельное сопротивление, Ом м. Буквами обозначен хребет Гаккеля – а, хребет Ломоносова – б, Канадская котловина - в.

В соответствии с данной моделью в области отрицательных  $Y$  от хребта Гаккеля идет зона “плавного” перехода от океанического типа литосферы к континентальному типу под хребтом Ломоносова с понижением поверхности проводящего основания от глубины 50 км до 400 км и ростом сопротивления пород коры и верхней мантии от 100 до 1000 Ом·м. Блок континентальной литосферы начинается с хребта Ломоносова и продолжается через впадины Подводников и Макарова до поднятия Менделеева-Альфа. Правая граница этого блока примерно следует внешней границе хребтов Менделеева и Альфа с включением океанической литосферы между ними. Со стороны Канадской глубоководной котловины граница типов литосферы выражена резким изменением глубины проводящего основания, а также изменением удельного сопротивления коры-верхней мантии (рис. 3). Имеется глубинный разлом, отделяющий хребет Альфа Менделеева от Канадской котловины и разделяющий блоки с разным сопротивлением. Кроме того, имеется внутриблоковый глубинный разлом (в правой верхней части рис. 2).

Таким образом, установлены следующие особенности строения дна приполюсной части акватории Северного Ледовитого океана:

- установлена плавная зона понижения поверхности проводящего основания от оси хребта Гаккеля в сторону хребта Ломоносова;
- обнаружено отсутствие регионального разломного нарушения в зоне сочленения котловины Амундсена и хребта Ломоносова;
- обнаружено ступенчатое поднятие проводящего основания под восточным склоном хребта Менделеева-Альфа на границе с Канадской котловиной;
- установлен континентальный тип литосферы под котловинами Макарова и Подводников;
- установлен континентальный тип литосферы под большей частью хребта Менделеева-Альфа, на границе с Канадской котловиной, резко переходящий в океанический.

1. Трофимов И.Л., Халезов А.А., Шнеер В.С. Итоговый отчет по проекту РФФИ № 04-05-64002 Профилирование геоэлектрического разреза Северного Ледовитого океана по магнитовариационным наблюдениям на дрейфующих станциях «Северный полюс». 2006. 29с.

2. Трофимов И.Л., Шнеер В.С. Некоторые результаты определения магнитного индукционного вектора в Центральной Арктике // Геофизические исследования. 2008. № 8. С. 69-74.

3. Spichak V., Popova I. Artificial neural network inversion of magnetotelluric data in terms of three-dimensional Earth macroparameters, Geophys. J. Int. 2000. V. 142. P.15-26.

4. Жданов М.С. Теория обратных задач и регуляризации в геофизике. //М.: «Научный мир». 2007. 712 с.

5. Дмитриев В.И. Захаров Е.В. Метод интегральных уравнений в вычислительной электродинамике. //М.: МАКС Пресс. 2008. 316 с.