

# О возможности выбора между конкурирующими моделями Байкальского рифта по магнитовариационным наблюдениям в районе глубоководного мониторинга Ez

Д.А. Орехова<sup>1</sup>, М.С. Кругляков<sup>1</sup>, С.М. Коротаев<sup>1</sup>, Н.М. Буднев<sup>2</sup>, В.Х. Кириаков<sup>1</sup>, Р.Р. Миргазов<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Центр геоэлектроманнитных исследований Института физики Земли РАН,  
<sup>2</sup>Иркутский государственный университет

**Введение** Озеро Байкал находится между Сибирской платформой и Саяно-Байкальским складчатым поясом. Наши магнитовариационные измерения проводятся вблизи его южной котловины (рис. 1), наиболее близко к району глубоководного эксперимента по мониторингу Ez в водной толще (Korotaev et al., 2018). Первоначально это было именно дополнение к эксперименту ради подтверждения отсутствия теллурической Ez, затем были попытки использовать эти данные для поиска предвестников землетрясений, что пока идет не слишком удачно, но в итоге мы имеем многолетние магнитно-градиентометрические наблюдения (хоть и с перерывами) по нескольким точкам с помощью протонных магнитометров.

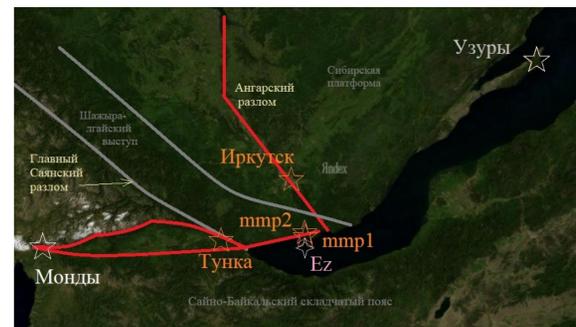


Рис.1. Расположение точек наблюдения магнитных полей и Ez

Всего было установлено три протонных магнитометра с выводом данных в сеть Интернет в режиме реального времени (рисунок 1). Для измерения градиента поля вкостр пространства разлома, проходящего в районе нейтринной обсерватории вдоль побережья озера Байкал, были размещены два магнитометра ММП-203: один вблизи воды (mmp1), другой вглубь берега на расстоянии 1 км (mmp2). Для измерения градиента поля вдоль простирания этого разлома на расстоянии 90 км был установлен третий протонный магнитометр ММП-203 на космофизическом полигоне Долина Тунка. В качестве еще одной точки наблюдений используется магнитная обсерватория Иркутск.

Разумеется, по столь ограниченной области наблюдений нельзя самостоятельно построить региональную модель. Однако, пользуясь преимуществом большой длительности наблюдений по сравнению с обычными полевыми исследованиями можно поставить задачу выбора между некоторыми отдельными идеями о строении Байкальского рифта.

Для определения чувствительности градиентов магнитного поля в районе мониторинга к принципиальным изменениям геоэлектрического разреза на основании исходной, были построены три группы моделей – типа мантийный диапир, типа астеносферный выступ и отсутствие обеих аномалий. Также в моделях варьировалась граница (изменение глубины) проводящих слоев в исследуемой части региона (в районе Шарьжалгайского выступа) и др. параметры. Модельные расчеты полей велись с использованием суперкомпьютеров по оригинальной программе М.С. Круглякова, реализующей метод интегральных уравнений (Kruglyakov, Kuvshinov, 2018). Из четырех функций, которые можно получить из спектров модуля магнитного поля в паре точек, наиболее помехозащищенной оказалась разность фаз между средним по базе градиентом поля и самим полем, т.е. в нашем случае между разностью (комплексных) полей в какой-либо из точек и в Иркутске и полем в Иркутске. Для расчетов выбирались наиболее свободные от помех интервалы времени с 2017 г. до 2020 г. При этом для каждого интервала времени и каждого периода в модельных расчетах поля выбиралась равной фактической эллиптической поляризации в Иркутске. Поэтому вид модельных частотных кривых для разных временных реализаций различен. Здесь Модель 1 – исходная модель с тремя проводящими слоями и сетью главных разломов, залегающих до глубины первого слоя. Граница проводящих слоев проходит по границе осадочного чехла Сибирской платформы и Шарьжалгайского выступа. Модель 2 – исходная модель с сетью главных разломов, залегающих до глубины первого слоя. Граница слоев проходит по границе выступа фундамента и складчатого пояса (вблизи нашей точки Тунка). Модель 3 – модель мантийного диапира, то есть модель 2 плюс разлом, соединяющий второй проводящий слой с астеносферой. Модель 4 – модель мантийного диапира, сеть главных разломов проходит от поверхности до астеносферы. Модель 5 – модель с астеносферным выступом. Модель 6 – модель 2, с более проводящим разломом, проходящим вдоль побережья Байкала (1 Ом м против 10) и менее проводящим Ангарским разломом, проходящим рядом с точкой Иркутск (10 Ом м верхние 2.5 км и 500 Ом м ниже против 10 Ом м). Части их вертикальных сечений представлены на рисунке 6 (Y=40 км), кроме модели 5(сечение X=100 км).

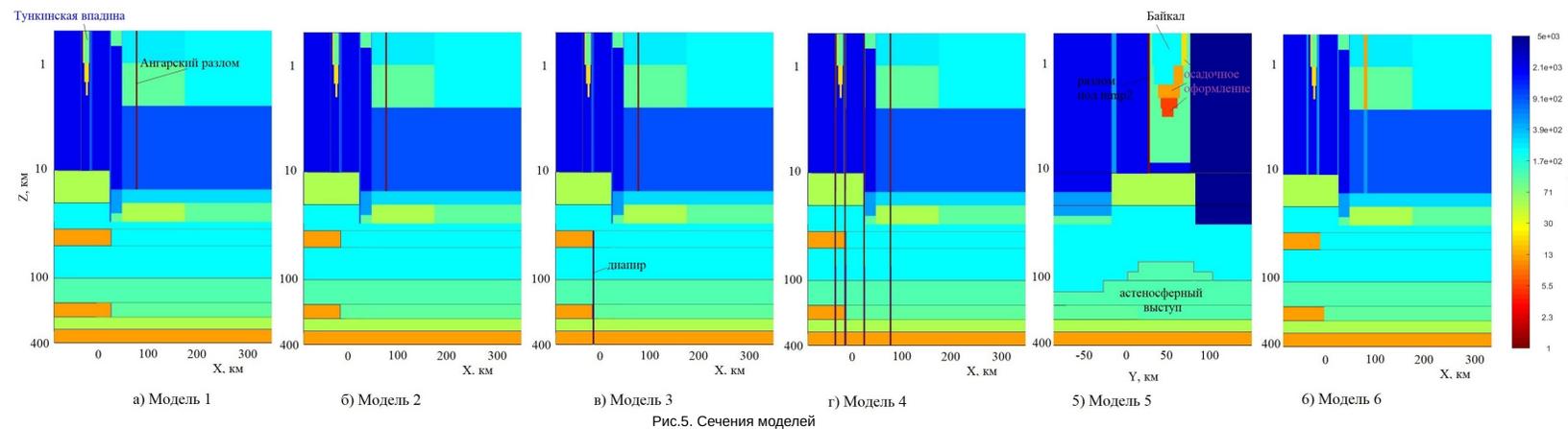


Рис.5. Сечения моделей

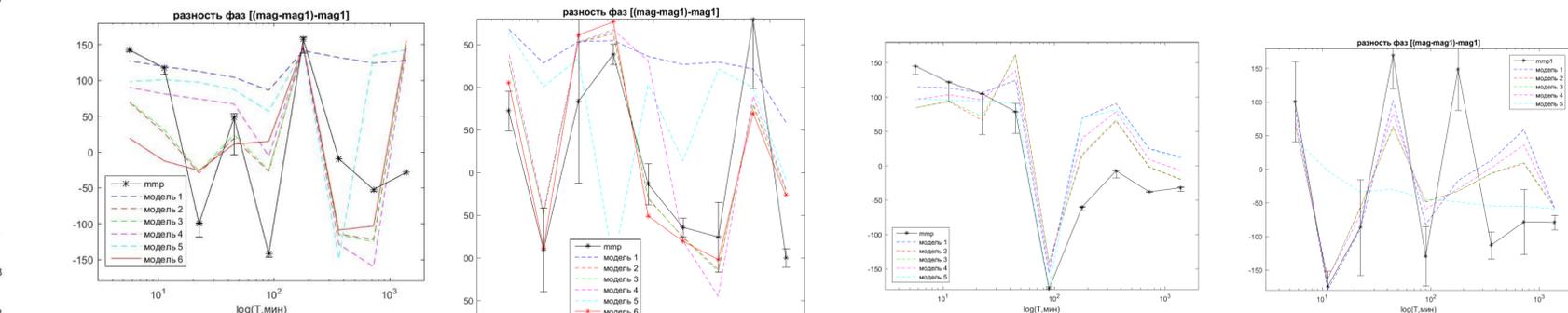


Рис.6 Тунка, разность фаз

Рис.7 Тунка, разность фаз

Рис.8 Побережье, mmp1, разность фаз

Рис.9 Побережье, mmp1



Рис.2. Положения профилей известных МТЗ относительно наших точек измерений

Исходная базовая трехмерная геоэлектрическая модель Байкальского региона включала в себя котловину озера Байкал, его осадочное обрамление с мощностью до 4000 м, осадочный слой Сибирской платформы, Тункинскую кайнозойскую впадину, основные разломы и кристаллический фундамент. Глубинная часть модели была приведена в соответствие с интерпретацией результатов МТЗ в средней части рифта из (Мороз, Мороз, 2012), и содержала три проводящих слоя в интервалах глубин 10-20 км, 35-50 км и 170-230 км, которые в Прибайкалье (под Сибирской платформой) могут отсутствовать или уходить ниже, чем под Байкалом. В дальнейшем эта модель была значительно доработана и детализирована, в частности, по результатам других известных МТЗ, сосредоточенных в центральной части Байкальского региона (профили на рисунке 2), а часть модели, соответствующая Тункинской впадине – по результатам известных ВЭЗ. Полученная исходная модель в плане показана на рисунке 3, а ее вертикальное сечение YZ по профилю X=222 км.

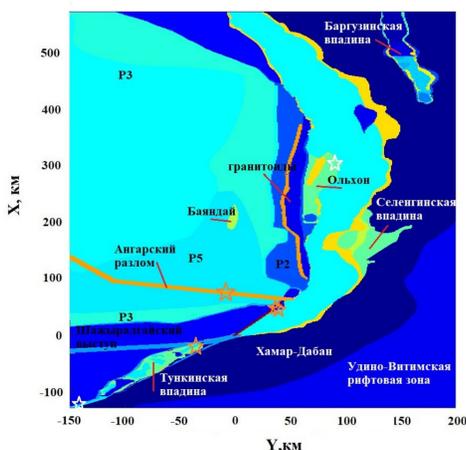


Рис. 3. Базовая модель в плане

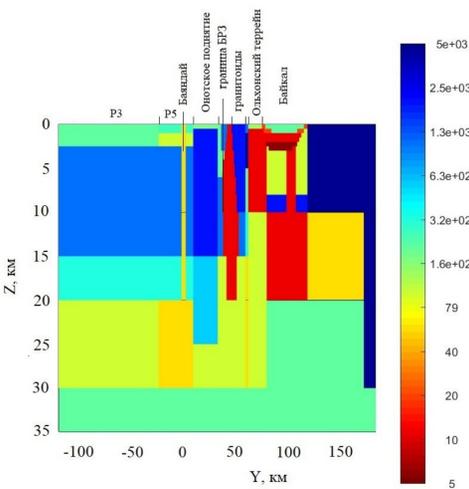


Рис.4. Сечение базовой модели X=222 км

Хотя в дальнейшем будет обсуждаться только отклик градиентов магнитного поля на геоэлектрическую структуру, подчеркнем особую роль Ez. Как отмечалось выше, многолетние измерения показали почти полное отсутствие теллурической составляющей в Ez в точке наблюдений (теллурическая Ez не превышает 5% горизонтальных компонент и незаметна на фоне гидродинамических полей). Однако с помощью расчетов на исходной трехмерной модели, с тем отличием, что в нее были включены не только крупные, но и все достоверно известные Байкальские разломы было показано, что Ez действительно, ни при каких условиях не превышает 5% горизонтальных компонент. Это условие практического отсутствия Ez сохраняло роль контроля реалистичности всех рассматриваемых далее моделей.

На рисунках 6-7 даны примеры разности фаз градиента поля на базе Тунка-Иркутск и поля в Иркутске при разных поляризациях естественного поля, на рисунках 8-9 – то же для точки mmp1 на побережье Байкала.

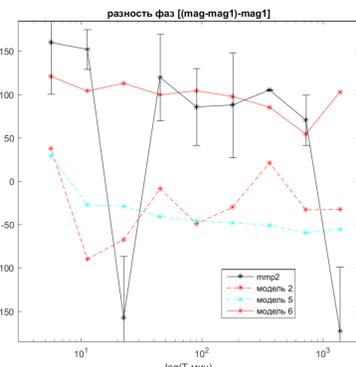


Рис.10 Побережье, mmp2

На рисунке 10 отдельно представлена разность фаз для точки mmp2 на побережье, которая сама, по-видимому, находится на разломе. Для нее наиболее существенным является параметры разломов, проходящих рядом с этой точкой и опорной.

**Выводы.** Вся совокупность результатов продемонстрированных на рис. 5-9 позволяет 1) уверенно отвергнуть гипотезу астеносферного выступа (модель 5). 2) Гипотеза мантийного диапира если справедлива, то не в варианте радикально глубокого заложения рифтовых разломов, т.е. модель 4 также может быть отвергнута. 3) Гипотеза отсутствия неоднородности в варианте продолжения проводящих слоев за пределы Байкала под Шарьжалгайский выступ (модель 1) тоже явно неудовлетворительна. 4) Гипотеза отсутствия неоднородности с проводящими слоями, не проникающими под Шарьжалгайский выступ (модель 2), и гипотеза мантийного диапира с умеренной глубиной заложения разломов (модель 3) по имеющимся данным практически неразличимы. Некоторое слабое преимущество в некоторых из результатов в пользу гипотезы мантийного диапира не значимо. Для различимости моделей требуются наблюдения в том же районе, но на удалении от Шарьжалгайского выступа, т.е. в юго-западном Забайкалье.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант 20-05-00001. Развитие техники эксперимента поддержано Минобрнауки РФ в рамках программы крупных научных проектов национального проекта Наука, грант 075-15-2020-778. Результаты, представленные в этой статье, основаны на данных, собранных в обсерватории Иркутск. Мы благодарим ИСЗФ СО РАН за поддержку ее работы и компанию INTERMAGNET за продвижение высоких стандартов магнитных обсерваторий ( ). Вычисления производились на высокопроизводительных кластерах МСЦ РАН.

## ЛИТЕРАТУРА

Мороз ЮФ, Мороз ТА, 2012 Глубинный геоэлектрический разрез Байкальского рифта. Вестник КРАУНЦ Науки о Земле, № 2, Вып. 20, с 114-126  
 Орехова ДА, Кругляков МС, Коротаев СМ, Буднев НМ, 2017 Возможности выбора адекватной геоэлектрической модели Байкальского рифта по наблюдениям в районе эксперимента по глубоководному электромагнитному мониторингу. Актуальные проблемы науки Прибайкалья. Вып. 2. Иркутск: ИГ СО РАН, с 150-159  
 Korotaev SM, Budnev NM, Serdyuk VO., Orekhova DA, Kruglyakov MS, Kiktenko EO, Mirgazov RR, Zurbanov VL, Gorohov JV, Ryabov EV, 2018 Baikal electromagnetic experiment. Atmospheric and Oceanic Physics, V54, p 1569-1594  
 Kruglyakov M, Kuvshinov A, 2018 Using high-order polynomial basis in 3-D EM forward modelling based on volume integral equation method. Geophysical Journal International, V213, I2, p 1387-1401