

# 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.

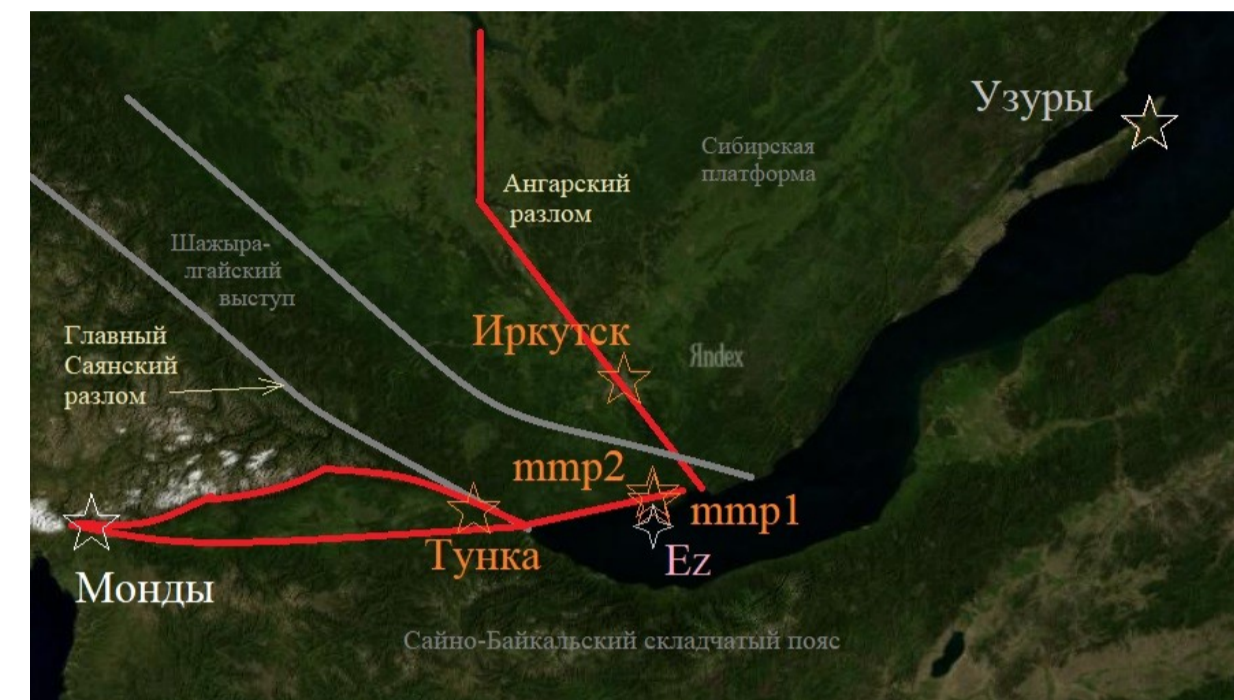


Рис.1. Расположение точек наблюдения магнитных полей и Ez

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).

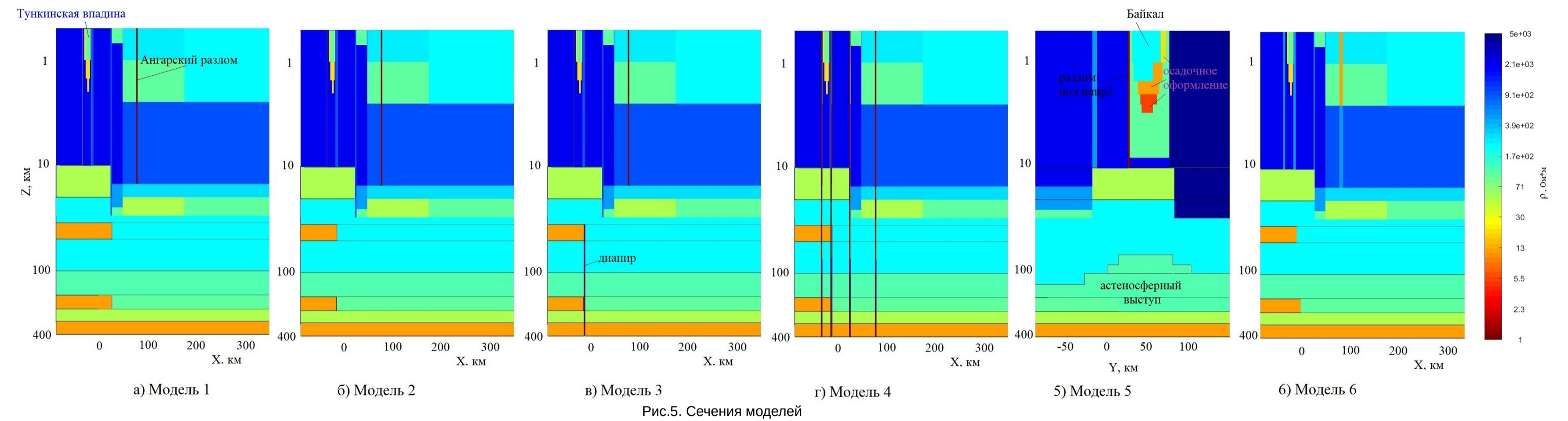


Рис.5. Сечения моделей

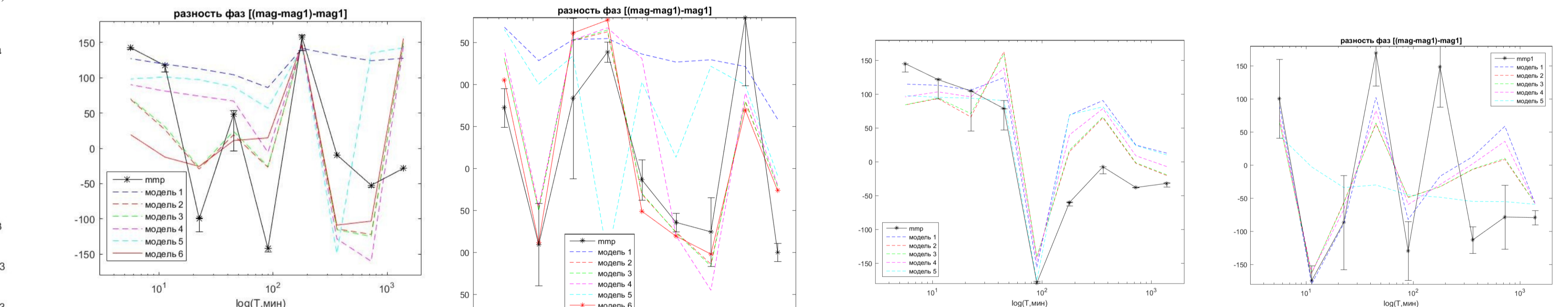


Рис.6 Тунка, разность фаз

Рис.7 Тунка, разность фаз

Рис.8 Побережье, mmp1, разность фаз

Рис.9 Побережье, mmp1

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.

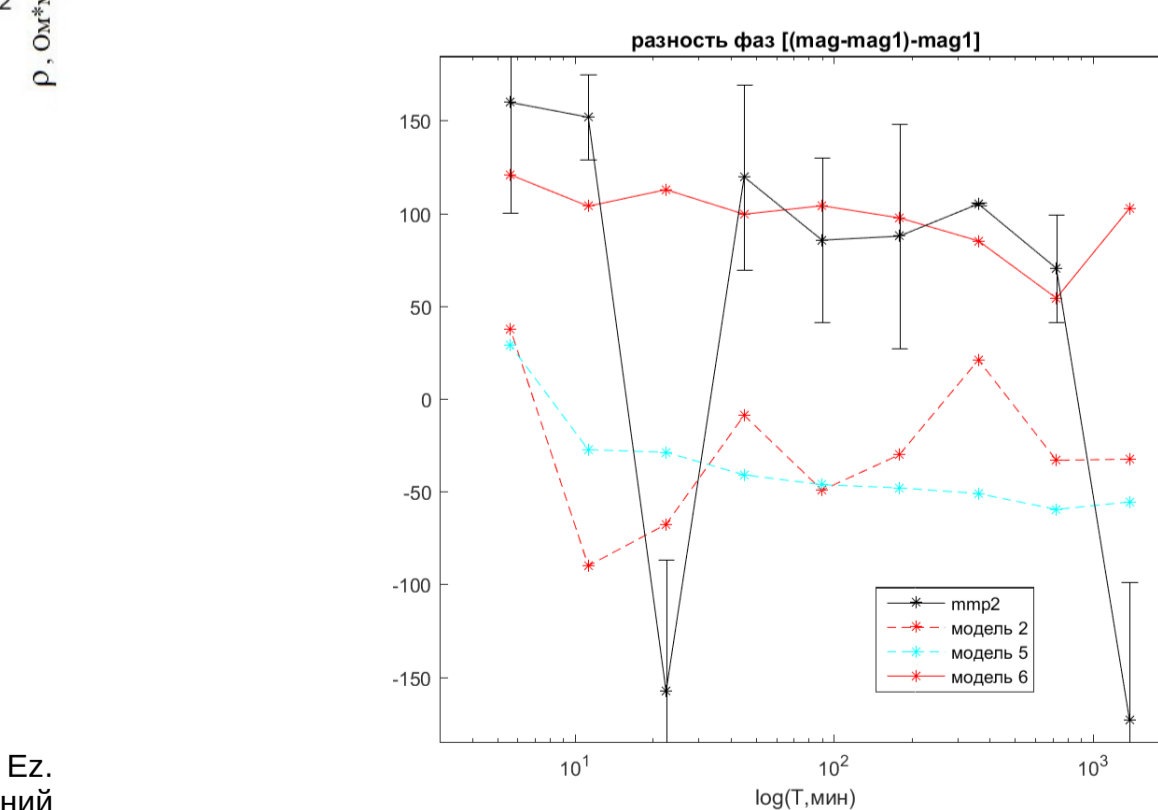


Рис.10 Побережье, mmp2

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



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.

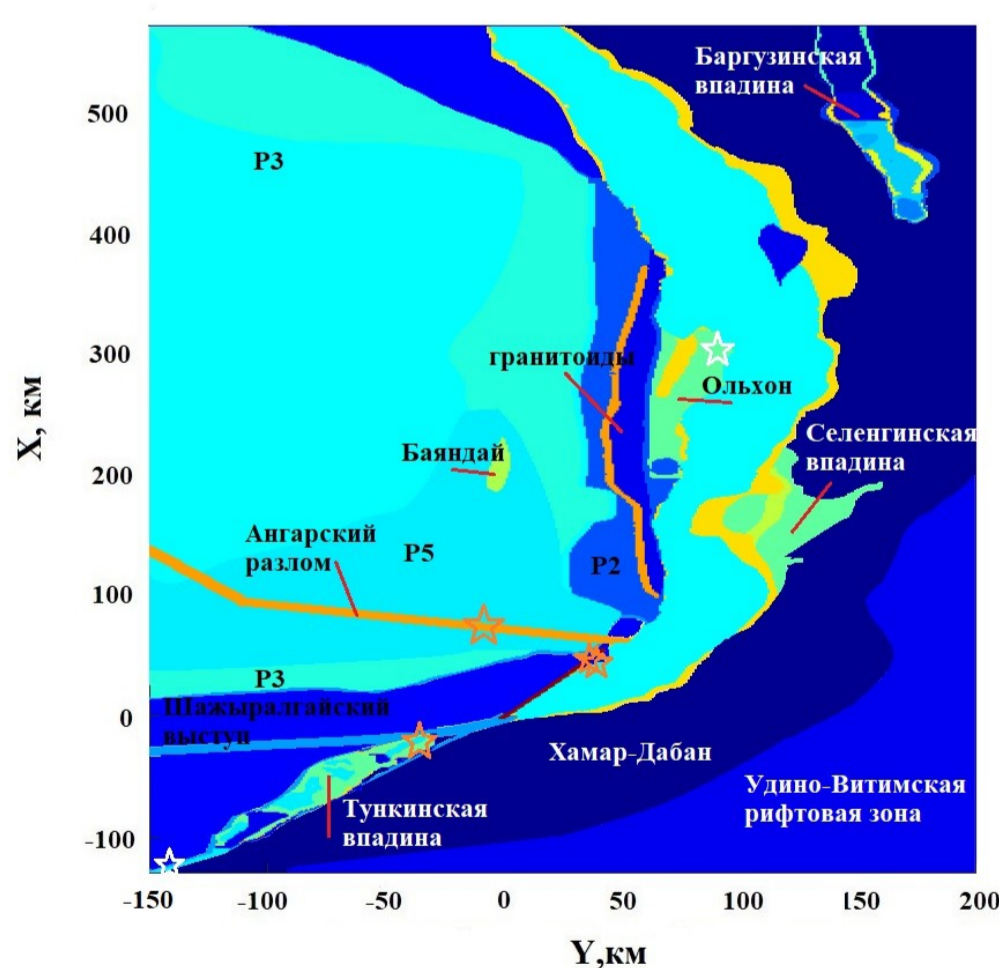


Рис. 3. Базовая модель в плане

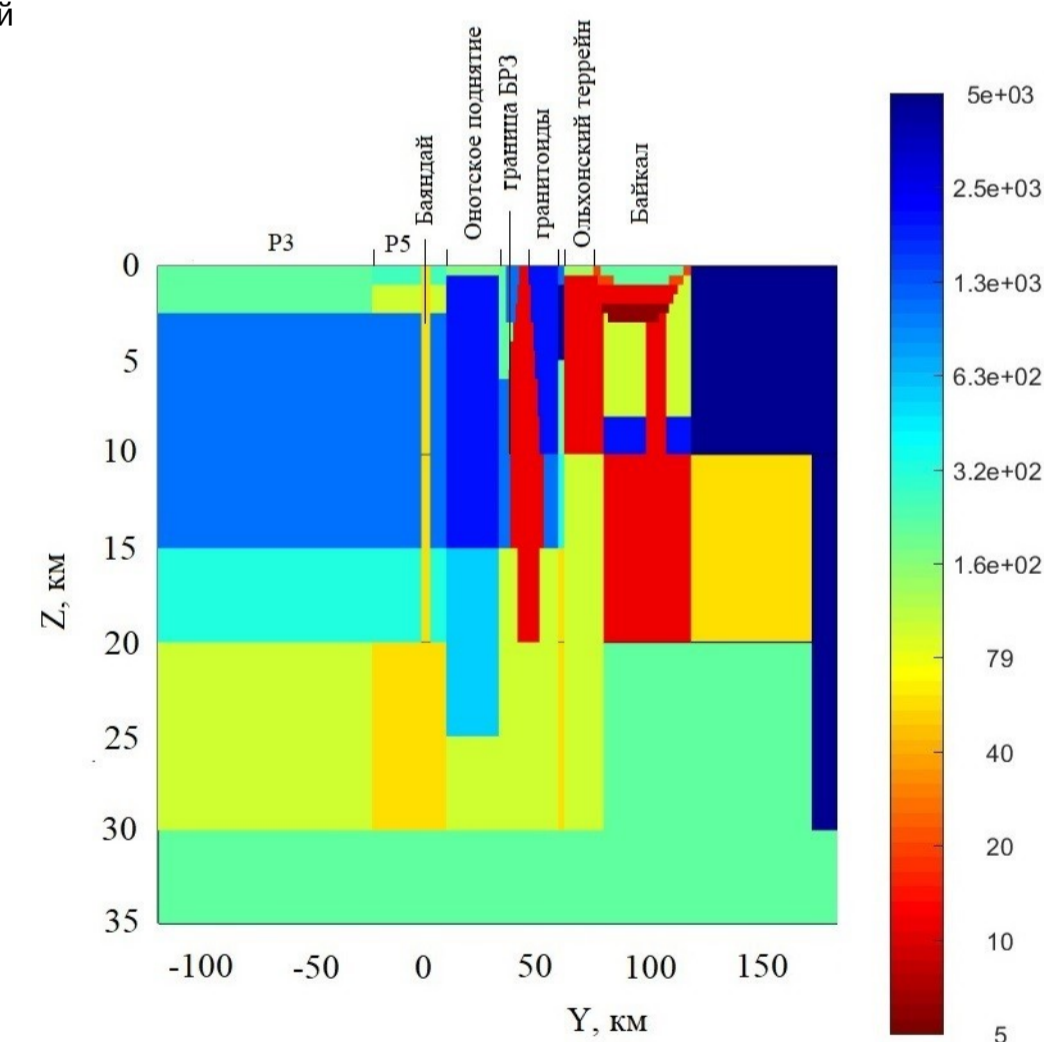


Рис.4. Сечение базовой модели X=222 км

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.