

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ТЕКТОНИКИ И ГЕОФИЗИКИ им. Ю.А. Косыгина
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ

Российской академии наук
Лаборатория региональной геофизики и петрофизики

на правах рукописи

БРОННИКОВ АНАТОЛИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ

**ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО СИХОТЭ-АЛИНСКОГО И
КУРСКОГО РАЗЛОМОВ ПО ДАННЫМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ
ЗОНДИРОВАНИЙ**

научный доклад

05.06.01 Науки о земле

25.00.10 Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Научный руководитель:

к. г.-м. н. Каплун Виталий Борисович

Хабаровск 2019

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования.

Восточная окраина Азии характеризуется обширной деструкцией континентальной коры, вызванной латеральным смещением Азиатского континента и Тихоокеанской плиты и образованием в зоне их сочленения Восточноазиатской глобальной сдвиговой зоны. В состав данной зоны входят такие крупные разломы, как Центральный Сихотэ-Алинский и Курский. Они определяют тектоническое строение и сейсмичность территории. Однако, не смотря на значительный прогресс в геолого-геофизическом изучении Востока Азии и сопредельных территорий, глубинное строение вышеупомянутых разломов остается слабо изученным.

Магнитотеллурическое зондирование, основанное на регистрации колебаний естественного электромагнитного поля планеты, позволяет изучать внутреннее строение земной коры и верхней мантии и является неотъемлемой частью геофизических исследований глубинного строения Земли.

Цель исследования – определение геоэлектрических характеристик литосферы в зоне Центрального Сихотэ-Алинского и Курского разломов.

Задачи исследования:

1. Проведение полевых работ в районах Центрального Сихотэ-Алинского и Курского разломов, проведение магнитотеллурического зондирования.
2. Обработка полученных данных.
3. Построение геоэлектрических разрезов.
4. Проведение модельных расчётов.
5. Интерпретация полученных данных.

Научная новизна исследования и значимость:

Впервые были проведены работы методом магнитотеллурического зондирования на территории Сихотэ-Алинского орогенного пояса при помощи современного оборудования в диапазоне частот от 0.001 Гц до 10000 Гц и шагом профиля 5 км. Проведена интерпретация полученных данных с использованием современных методов обработки. Построены геоэлектрические разрезы с использованием трёхмерных данных. Полученные данные магнитотеллурического зондирования могут быть успешно использованы при проведении геологосъемочных и поисково-оценочных работ.

Методология исследования включает метод магнитотеллурического зондирования для сбора реальных данных при помощи станции MTU-5A, производства

«Phoenix Geophysics»(Канада), программу 3D инверсии ModEM для обработки и приложения в среде Matlab для визуализации результатов.

Защищаемые положения:

1. Центральный Сихотэ-Алинский разлом не отображается на амплитудных кривых магнитотеллурических зондирований ни на одном из трёх пересекающих его профилей. Курский разлом выражается на графиках в явной форме, как зона низких электрических сопротивлений. Это связано с тем, что Центральный Сихотэ-Алинский разлом, составленный высокими сопротивлениями, не создаёт достаточно большого контраста сопротивлений с окружающими его блоками. Выделение подобных разломов возможно путем дифференциации геоэлектрического разреза на различных уровнях сопротивления.

2. Центральный Сихотэ-Алинский и Курский разломы по результатам магнитотеллурических зондирований имеют различные геоэлектрические характеристики. Первый представлен высокими электрическими сопротивлениями от 3000 до 12000 Ом·м, а второй – низкими от 10 до 500 Ом·м. Курский разлом отображается на разрезах зоной от 14 до 21 км, а Центральный Сихотэ-Алинский – от 3 до 8 км. При этом оба разлома прослеживаются на глубину 50 км. В зоне Центрального Сихотэ-Алинского разлома происходит увеличение мощность верхнего слоя высокого сопротивления. В зоне Курского разлома трудно определить мощность этого слоя, из-за отсутствия контрастного перехода сопротивлений от высоких, соответствующих породам коры, к низким сопротивлениям верхней мантии.

3. Отличие сопротивлений Центрального Сихотэ-Алинского и Курского разломов связано с различной тектонической природой этих дизъюнктивов на исследованных участках. Центральный Сихотэ-Алинский разлом представлен областью высокого электрического сопротивления и связывается с низкой пористостью пород вызванной сжатием. Курский разлом представляется зоной с постепенным понижением сопротивлений на глубину, что свидетельствует об увеличении пористости и трещиноватости пород вызванных растяжением.

Структура выпускной квалификационной работы. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы из 45 наименований. В первой главе приводится обзор литературных данных о тектонической и геофизической изученности объектов исследований. Во второй описана краткая история и теория метода магнитотеллурического зондирования, методика проведения полевых работ и интерпретации данных. Также приводится обзор современных магнитотеллурических исследований. В третьей главе представлены полученные результаты.

Достоверность полученных в выпускной квалификационном исследовании результатов обеспечивается: корректным проведением полевых работ; использованием современного оборудования, программного обеспечения и методов обработки магнитотеллурических данных; использованием официальных и опубликованных в рецензируемых журналах данных о геологии, тектонике и геодинамике. Достоверность построенных геоэлектрических разрезов подтверждается сопоставлением и хорошим соответствием с разрезами глубинных сейсмических зондирований.

Апробация результатов работы.

Результаты работы были представлены на Всероссийской конференции IX Косыгинские чтения «Тектоника, глубинное строение и минералогия Востока Азии» (г. Хабаровск, 2016); на третьей Всероссийской конференции с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» (г. Владивосток, 2016); на XLIX Тектоническом совещании «Тектоника современных и древних океанов и их окраин» (г. Москва, 2017); на 44-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского (г. Москва, 2017); на десятом Всероссийском симпозиуме (г. Владивосток, 2017); на 45-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского (г. Казань, 2018); на L Тектоническом совещании «Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии» (г. Москва, 2018); на IX Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле (г. Новосибирск, 2018); на Всероссийской научной конференции с международным участием «Геодинамические процессы и природные катастрофы (г. Южно-Сахалинск, 2019); на Всероссийской конференции X Косыгинские чтения «Тектоника, глубинное строение и минералогия Востока Азии» (г. Хабаровск, 2019); на XI Всероссийском симпозиуме «Физика геосфер» (г. Владивосток, 2019).

Личный вклад.

Автор принимал непосредственное участие на всех этапах работы: проведение полевых исследований методом МТЗ, обработка полученных данных, построение геоэлектрических разрезов и интерпретация полученных данных. Также автор создал дополнительные программные приложения для визуального отображения результатов расчётов и автоматизации некоторых этапов подготовки данных.

Публикации.

По теме публикации опубликовано 14 работ, в том числе три статьи в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК.

Основное содержание выпускной квалификационной работы

Введение содержит актуальность темы выпускной квалификационной работы, цели и задачи исследования, описание полученных результатов, их научной новизны и практической значимости, а также информацию об апробации результатов выпускной квалификационной работы и о публикациях по теме выпускной квалификационной работы.

В первой главе «Геофизическая изученность района работ» приводятся основные сведения о тектоническом строении и геофизической изученности района исследований по литературным данным.

В разделе 1.1 первой главы приводятся сведения о тектоническом строении района исследований. Показана схема районирования с нанесёнными профилями магнитотеллурических зондирований, использованными в работе. Описаны основные структурные элементы, время и условия их формирования.

В разделе 1.2 первой главы приводятся сведения о геофизической изученности района исследований. Описаны результаты гравиметрической и магнитометрических съёмок. Приведены характеристики района по данным глубинных сейсмических зондирований и метода обменных волн землетрясений. Проанализированы результаты магнитотеллурических зондирований в районе исследований и магнитовариационных профилирований.

Во второй главе «Методика исследований» представлена методология работы. Даны краткие сведения о истории развития и теории магнитотеллурического зондирования. Описана методология проведения полевых работ и интерпретации полученных данных. Приведён краткий обзор современных магнитотеллурических исследований.

В разделе 2.1 второй главы кратко описана история развития метода. Метод магнитотеллурического зондирования появился в 50-х годах прошлого века. Он основан на измерении естественного электромагнитного поля Земли, создаваемого токами, текущими в земной коре (теллурическими). Тихонов и Каньяр ввели концепцию магнитотеллурического импеданса, определяемого отношением электрического и магнитного полей. Дальнейшее развитие принципы магнитотеллурической теории получили в работах М. Бердичевского, В. Дмитриева, У. Шмукера, Л. Ваньяна, К. Возоффа, Д. Вивера и П. Вайдельта, а также в трудах многих других исследователей, коллективные усилия которых преобразовали магнитотеллурический метод в практический инструмент геофизики. Марк Наумович Бердичевский первым осознал важность учёта влияния горизонтальных геоэлектрических неоднородностей на

магнитотеллурические данные. Он ввёл тензорные измерения в МТ-метод, которые скоро стали широко использоваться по всему миру. Тензорный подход резко увеличил объем получаемой информации. Многолетние наблюдения подтвердили реализм тензорного подхода. Развитие эффективных численных методов в 1980-х и 1990-х годах сделало возможным переход от упрощённых составных одномерных разрезов к более реалистичным двумерным или даже трёхмерным геоэлектрическим моделям при интерпретации МТ-данных.

В разделе 2.2 второй главы приводится теория метода магнитотеллурического зондирования. Обработка магнитотеллурических данных начинается со спектрального анализа. Электрическая и магнитная напряжённость поля изменяются по синусоидальному закону и представляются следующими выражениями:

$$E(t) = \text{Re}(E \cdot e^{-i\omega t}) \quad (2.1)$$

$$H(t) = \text{Re}(H \cdot e^{-i\omega t}) \quad (2.2)$$

где $E(t)$ и $H(t)$ – электрическая и магнитная напряжённости, ω – циклическая частота колебаний, t – время.

Электрическая и магнитная напряжённость связаны между собой при помощи передаточной функции – магнитотеллурического импеданса Z . Он является комплексным числом, так как электрические и магнитные составляющие магнитотеллурического поля сдвинуты относительно друг друга по фазе. Сама связь между E и H компонентами поля выражается следующей формой:

$$E_x = Z_{xx} \cdot H_x + Z_{xy} \cdot H_y \quad (2.3)$$

$$E_y = Z_{yx} \cdot H_x + Z_{yy} \cdot H_y, \quad (2.4)$$

где Z_{xx} , Z_{xy} , Z_{yx} , Z_{yy} – комплексные компоненты тензора импеданса, зависящие от периода, распределения удельного сопротивления в изучаемой среде и ориентации координатных осей.

Фаза импеданса φ представляет собой разность фаз сопряженных компонент электрического и магнитного полей:

$$\varphi_{xy} = \text{Arg}Z_{xy} = \varphi_{E_x} - \varphi_{H_y} \quad (2.5)$$

$$\varphi_{yx} = \text{Arg}Z_{yx} = \varphi_{E_y} - \varphi_{H_x} + 180 \quad (2.6)$$

От тензора импеданса переходят к расчёту кажущегося сопротивления ρ_k . Данная величина рассчитывается по следующей формуле:

$$\rho_k = 0.2 \cdot T \cdot [Z]^2 \quad (2.7)$$

Затем строятся графики зависимости кажущегося сопротивления от периода колебаний. Такие кривые называются амплитудными.

Также для анализа используют другую передаточную функцию типпер $[W]$. Данная функция связывает горизонтальные компоненты магнитного поля H_x и H_y с вертикальной H_z . Это записывается следующим выражением:

$$H_z = [W] \cdot H_{гор}, \quad (2.8)$$

где

$$[W] = [W_{zx} \ W_{zy}], \ H_{гор} = [H_x; \ H_y]$$

Матрица $[W]$ также называют матрицей Визе-Паркинсона. Её компоненты W_{zx} и W_{zy} отражают горизонтальную асимметрию избыточных токов гальванической и индукционной природы, возникающих в Земле в следствие горизонтальных изменений электропроводности.

Чаще всего матрицу Визе-Паркинсона графически представляют в виде вещественных (ReW) и мнимых (ImW) индукционных стрелок.

В разделе 2.3 второй главы описана методика проведения полевых работ методом магнитотеллурического зондирования. Во время работ использовались: измерительная станция MTU-5A и индукционные датчики магнитных компонент EM поля АМТС-30 (от 10000 Гц до 1 Гц) и МТС-50Н (от 400 Гц до 0,00002 Гц). На рисунке 1 показана схема расположения оборудования.

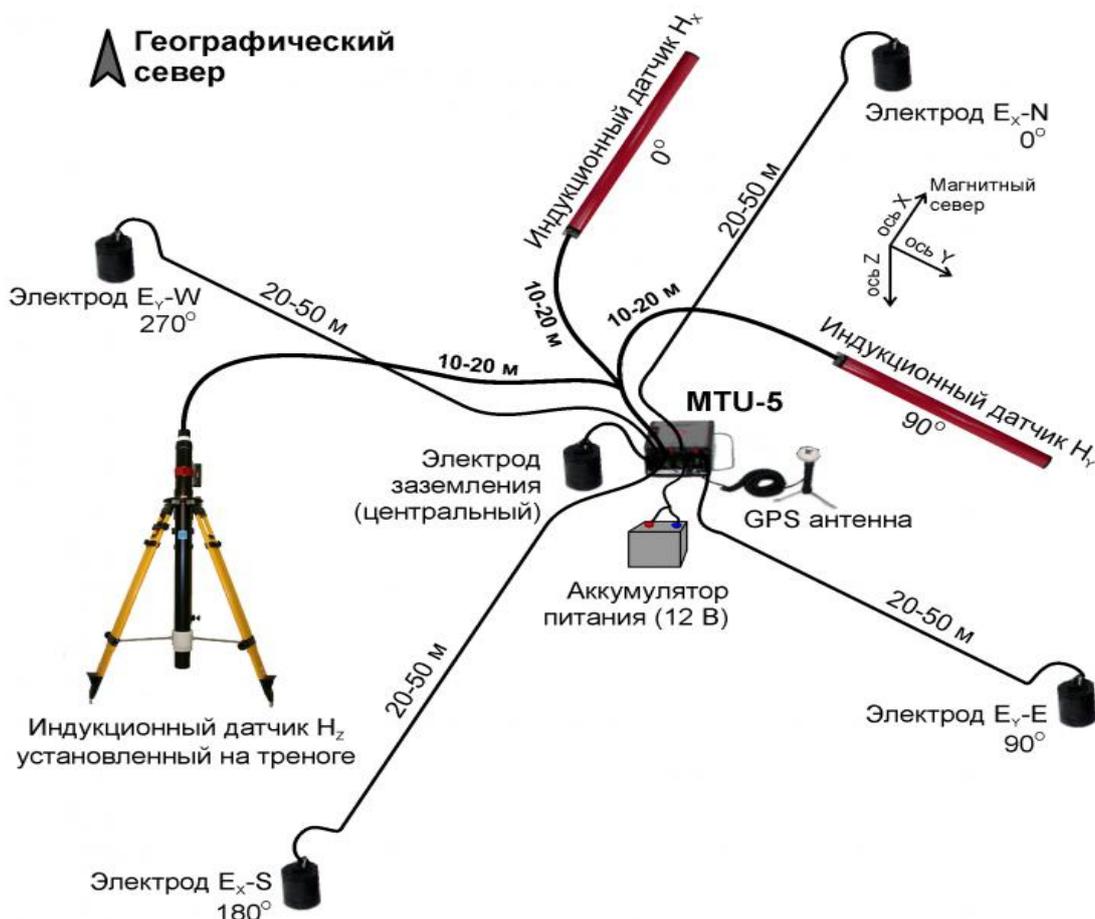


Рисунок 1 – Схема установки MT3

Измерение проводилось в два этапа: первый запуск с датчиками АМТС-30 (период измерения 30 минут), второй с датчиками МТС-50Н (период измерения 12-16 часов).

В разделе 2.4 второй главы приводится методика интерпретации полученных данных. Интерпретация магнитотеллурических данных происходила в рамках трёхмерной модели. Для моделирования использовалась программа ModEM. В качестве базовой модели для расчёта инверсии использовалась модель полупространства сопротивлением 500 Ом·м. Для расчёта использовались полевые данные импеданса и типпера в диапазоне от 0,0001 с до 1000 с. Расчёт производился в два этапа. На первом этапе базовая модель полупространства обсчитывалась по данным типпера. На втором результат предыдущего расчёта обсчитывался по данным импеданса.

В разделе 2.5 второй главы дан краткий обзор современных работ по магнитотеллурическим зондированиям. Анализ современных публикаций по методу МТЗ показал, что данный метод геофизических исследований в настоящее время является востребованным во всем мире и способен решать различные тектонические, геологические, геодинамические и др. задачи как в фундаментальном, так и в практическом аспектах.

В третьей главе «Результаты интерпретации магнитотеллурических данных» приводятся анализ амплитудных кривых магнитотеллурического зондирования и геоэлектрических разрезов, пересекающих Центральный Сихотэ-Алинский и Курский разломы.

В разделе 3.1 третьей главы приводится анализ амплитудных кривых в районах пересечения Центрального Сихотэ-Алинского и Курского разломов.

В разделе 3.2 третьей главы проанализированы геоэлектрические разрезы, построенные по результатам магнитотеллурических зондирования в районе исследований. На профиле «с. Лидога – п. Ванино» Центральный Сихотэ-Алинский разлом относительно окружающих его блоков является более низкоомным объектом, при этом составлен высокими сопротивлением от 3000 до 12000 Ом·м. Он протягивается с поверхности на глубину 50 км.

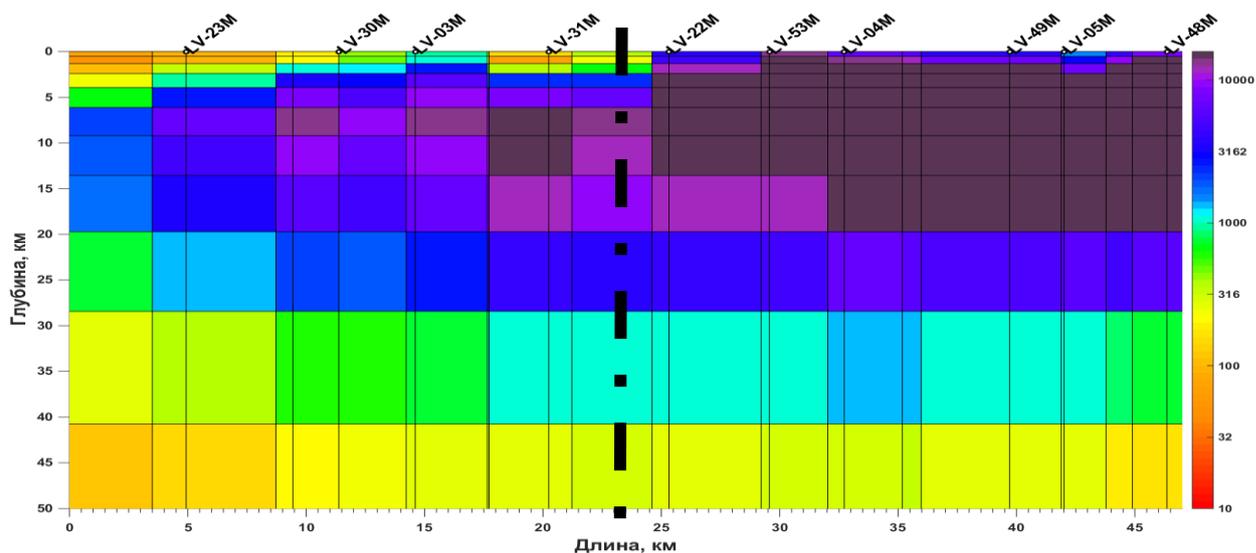


Рисунок 2 – Геоэлектрический разрез профиля «с. Лидога – п. Ванино» в районе Центрального Сихотэ-Алинского разлома. Пунктирной линией показано положение Центрального Сихотэ-Алинского разлома

На профиле «г. Спасск-Дальний - бух. Зеркальная» Центральный Сихотэ-Алинский разлом не выделяется в явном виде. Он уходит с поверхности до глубины 50 км. По геологическим данным в этом районе Центральный Сихотэ-Алинский разлом разделяется на несколько ветвей. Одна из них проходит между точками SZ-05 и SZ-06, вторая между SZ-06 и SZ-07. Из этого можно предположить, что данный контрастный участок соответствует первой из ветвей. В тоже время следов второй ветви на геоэлектрическом разрезе не обнаружено.

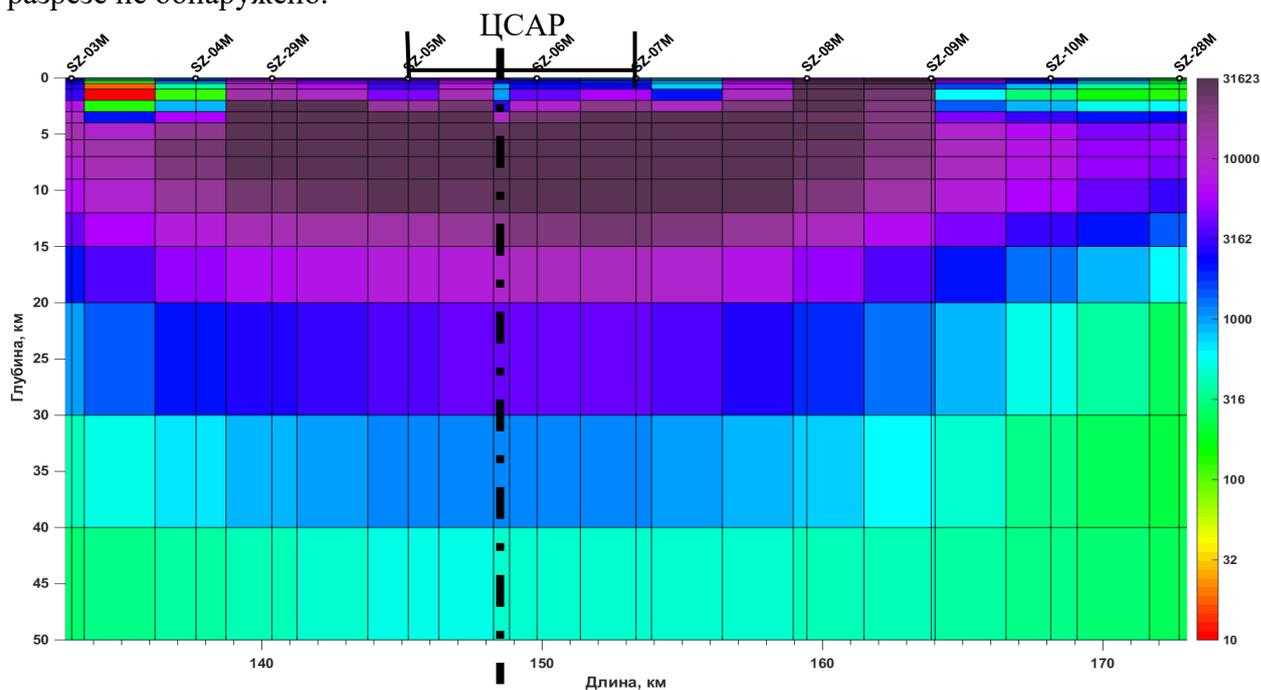


Рисунок 3 – Геоэлектрический разрез профиля «г. Спасск-Дальний – бух. Зеркальная» в районе Центрального Сихотэ-Алинского разлома (ЦСАР)

На профиле «г. Дальнереченск - п. Пластун» Центральный Сихотэ-Алинский разлом находится между точками DP15 и DP16, но при этом профиль от точки DP14 до точки DP17 проходит вдоль дизъюнктива. Поэтому можно рассматривать разлом как всю область, заключённую между точками DP14 и DP17. Он протягивается с поверхности до глубины 50 км, и составлен высокими сопротивлениями.

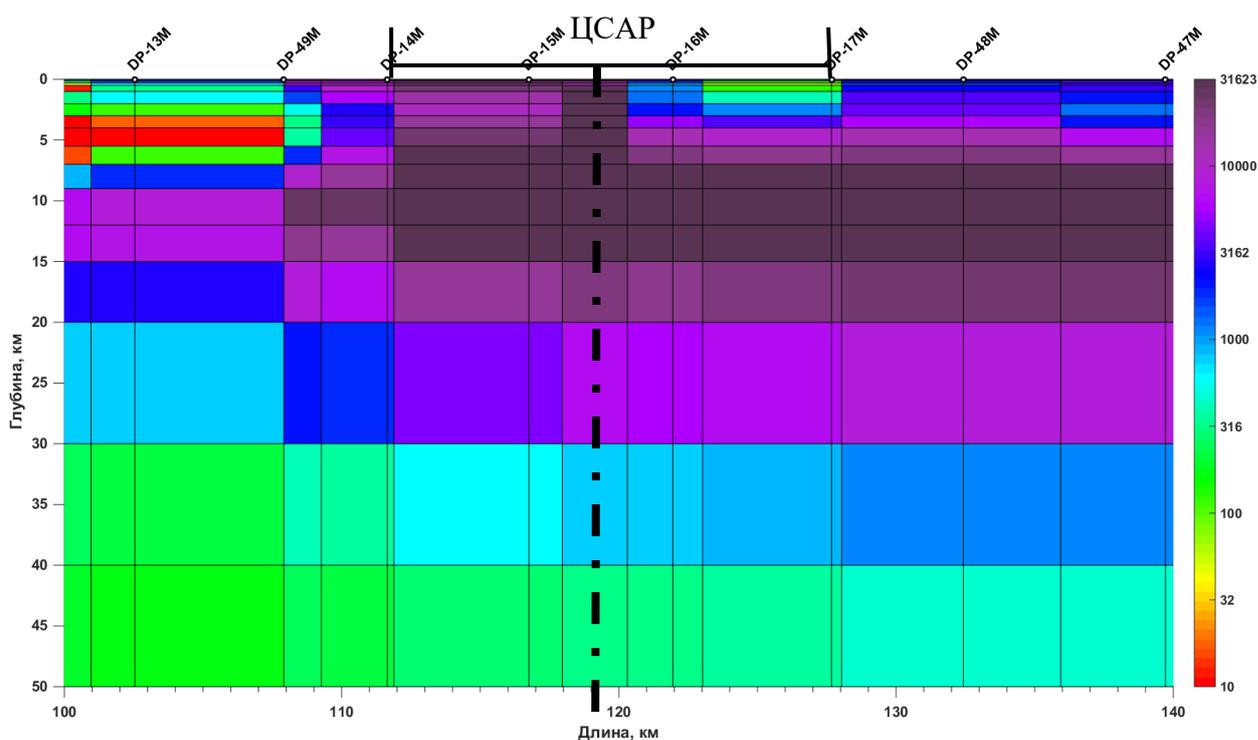


Рисунок 4 – Геоэлектрический разрез профиля «г. Дальнереченск – п. Пластун» в районе Центрального Сихотэ-Алинского разлома (ЦСАР)

По результатам интерпретации магнитотеллурических данных с трёх профилей Центральный Сихотэ-Алинский разлом характеризуется высокими сопротивлениями и протягивается до глубины 50 км. При этом относительно окружающих объектов он является менее высокоомным, но составлен из блоков с электрическим сопротивлением от 3000 до 12000 Ом·м.

На профиле «BG5-7» Курский разлом имеет протяжённость около 14 км и составлен низкими сопротивлениями, при этом наиболее низкие значения достигаются в верхней части разреза.

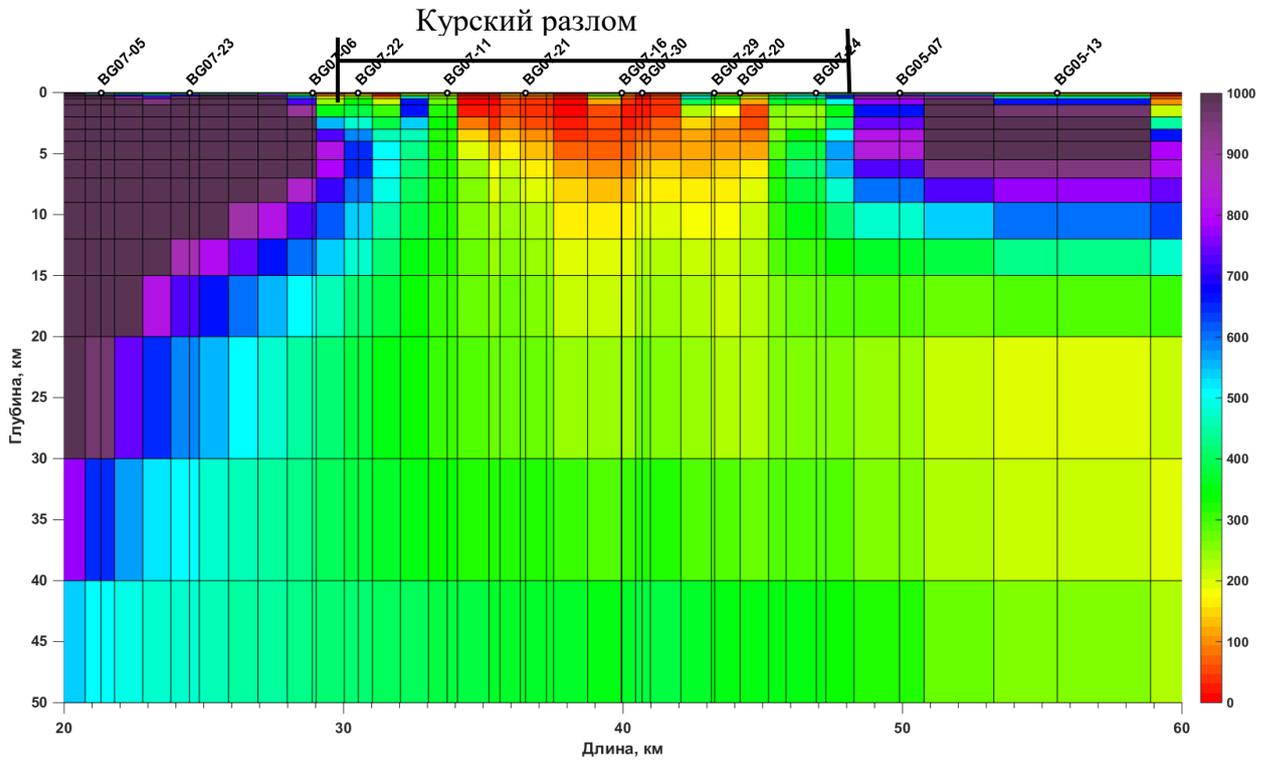


Рисунок 5 – Геоэлектрический разрез профиля «BG5-7» в районе Курского разлома

На геоэлектрическом разрезе по профилю «BG8» Курский разлом составлен блоком низкого сопротивления. При этом минимальные значения расположены в верхней части. Ширина области Курского разлома на этом профиле 21 км.

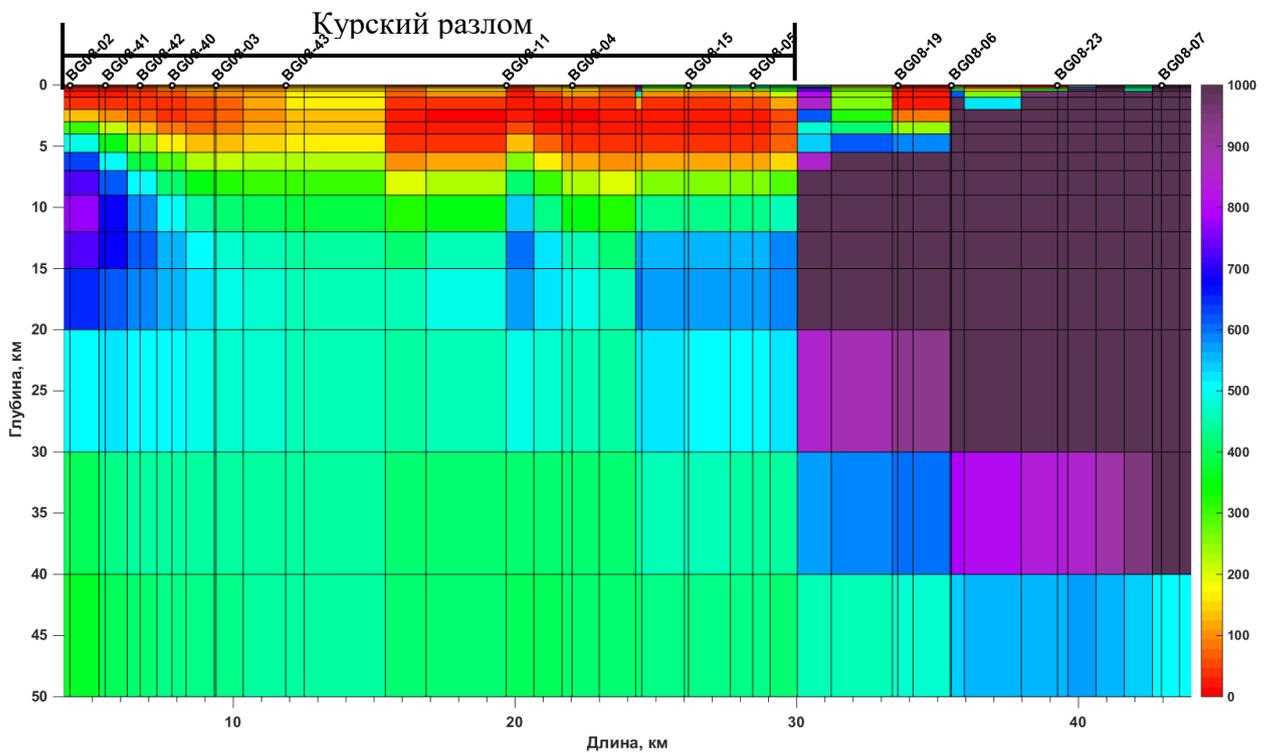


Рисунок 6 – Геоэлектрический разрез профиля «BG8» в районе Курского разлома

Заключение

По результатам проведенных магнитотеллурических зондирований можно заключить нижеследующее.

В амплитудных кривых магнитотеллурического зондирования Центральный Сихотэ-Алинский разлом не отображается ни на одном из трёх пересекающих его профилей. В это же время Курский разлом выражается на графиках в явной форме. Данную ситуацию можно объяснить тем, что Центральный Сихотэ-Алинский разлом, составленный высокими сопротивлениями, не создаёт достаточно большого контраста сопротивлений с окружающими его блоками. Обнаружить подобные разломы методом магнитотеллурического зондирования возможно лишь с помощью построения геоэлектрического разреза.

Центральный Сихотэ-Алинский и Курский разломы по результатам магнитотеллурических зондирований являются полными противоположностями. Первый представлен высокими электрическими сопротивлениями от 3000 до 12000 Ом·м, а второй – низкими от 10 до 500 Ом·м. Курский разлом отображается на разрезах зоной от 14 до 21 км, а Центральный Сихотэ-Алинский – от 3 до 8 км. При этом оба разлома можно проследить на глубину 50 км. В зоне Центрального Сихотэ-Алинского разлома происходит увеличение мощность верхнего слоя высокого сопротивления. В зоне Курского разлома трудно определить мощность этого слоя, из-за отсутствия контрастного перехода сопротивлений от высоких, соответствующих породам коры, к низким сопротивлениям верхней мантии.

Отличие сопротивлений Центрального Сихотэ-Алинского и Курского разломов можно объяснить различной тектонической природой этих дизъюнктивов на исследованных участках. Исходя из того, что Центральный Сихотэ-Алинский разлом представляется узкой областью с повышенной толщиной земной коры, можно предположить, что он является зоной сжатия. Тогда составляющие его высокие сопротивления объясняются тем, что породы внутри сильно сжаты и имеют низкую пористость. Курский разлом представляется широкой зоной с постепенным повышением сопротивлений в глубину, что может свидетельствовать о том, что он является зоной растяжения. А его низкие сопротивления объясняются переходом высокопористых осадочных пород в метаморфические под действием выше лежащих слоёв.

Публикации по теме выпускной квалификационной работы

1. Каплун В.Б., **Бронников А.К.** Геоэлектрический разрез земной коры и верхней мантии Северного Сихотэ-Алиня по данным магнитотеллурических зондирований // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36, №4. С.18-37
2. Каплун В.Б., **Бронников А.К.** Строение земной коры и верхней мантии Южного Сихотэ-Алиня по профилю г.Спасск-Дальний – бух.Зеркальная по данным магнитотеллурических зондирований // Тихоокеанская геология, 2018. Т. 37. №5. С. 31-47.
3. Каплун В.Б., **Бронников А.К.** Строение земной коры и верхней мантии Южного Сихотэ-Алиня по профилю г. Дальнереченск – с. Рощино – п. Пластун по данным магнитотеллурических зондирований // Тихоокеанская геология, 2019. Т. 38. №5. С. 3-13.
4. Каплун В.Б., **Бронников А.К.** Геоэлектрический разрез литосферы северного Сихотэ-Алиня по профилю с.Троицкое-с.Лидога-п.Ванино по результатам магнитотеллурических зондирований // Тектоника, глубинное строение и минералогия Востока Азии: IX Косыгинские чтения: материалы Всероссийской конференции, 13-15 сентября 2016, г. Хабаровск / отв. ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Манилов. – Хабаровск: ИТиГ им Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2016. С. 354-356
5. Каплун В.Б., **Бронников А.К.** Глубинное строение Самаргино-Совгаванской зоны Восточно-Сихотэ-Алинского вулcano-плутанического пояса по данным магнитотеллурических зондирований // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: материалы третьей всероссийской конференции с международным участием, 20-23 сентября 2016г. Владивосток: Дальнаука. 2016. 396 с. С. 42-45
6. Каплун В.Б., **Бронников А.К.** Глубинное строение области перехода от Азиатского континента к Тихому океану северной части Сихотэ-Алинского орогенного пояса и модель её развития // Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Материалы XLIX Тектонического совещания, посвящённого 100-летию академика Ю.М. Пушаровского. М.: ГЕОС, 2017. 280 с. С. 159-163
7. Каплун В.Б., **Бронников А.К.** Изучение влияния берегового эффекта на результаты магнитотеллурических зондирований в северной части Сихотэ-Алинского орогенного пояса // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. Материалы 44-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского 23-27 января 2017 г, М: ИФЗ РАН. - 2017. – С.146-149.
8. Каплун В.Б., **Бронников А.К.** Изучение влияния берегового эффекта на результаты магнитотеллурических зондирований в южной части Сихотэ-Алинского орогенного пояса / Вопросы теории и практики геологической интерпретации

геофизических полей: материалы 45-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Казань, 22-26 января 2018 года. Казань: Изд-во Казан. Ун-та, 2018. – 172 с. – С.118-119.

9. Диденко А.Н., Каплун В.Б., Носырев М.Ю., **Бронников А.К.** Глубинное строение Сихотэ-Алиня и прилегающих территорий по данным магнитотеллурического зондирования и спектрального анализа аномального магнитного поля / Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии. Том 1. Материалы I Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2018. 432 с. – С. 151-155.

10. Каплун В.Б., **Бронников А.К.** Строение литосферы Южного Сихотэ-Алиня по профилю г.Дальнереченск – п.Пластун по данным магнитотеллурических зондирований / Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: Материалы IV Всероссийской конференции с международным участием. Владивосток, 17-23 сентября 2018 г. 326 с. – С.44-47.

11. Пупатенко В.В., **Бронников А.К.**, Рябинкин К.С. Совместное применение методов микросейсмического и магнитотеллурического зондирования на примере Центрального Сихотэ-Алинского разлома / IX Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле: материалы конференции. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2018. – С. 477-479.

12. Пупатенко В.В., Рябинкин К.С., **Бронников А.К.** Феномен сейсмического затишья на территории Северного Сихотэ-Алиня (по данным микросейсмических и магнитотеллурических зондирований) / Геодинамические процессы и природные катастрофы: тезисы докладов III Всероссийской научной конференции с международным участием, г. Южно-Сахалинск, 27-31 мая 2019 г. / отв. ред. Л.М. Богомолов. – Южно-Сахалинск: Ин-т морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2019. – С. 41.

13. **Бронников А.К.** Использование трёхмерных геоэлектрических моделей для изучения глубинного строения разломов на примере Курского разлома / Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии: X Косыгинские чтения: материалы Всероссийской конференции с международным участием, 10–12 сентября 2019, г. Хабаровск / Отв. ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Манилов. – Хабаровск : ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2019. – С. 12-14.

14. **Бронников А.К.** Глубинное строение Курского разлома по результатам трёхмерной интерпретации магнитотеллурических данных / Физика геосфер: Одиннадцатый Всероссийский симпозиум, 9-14 сентября 2019 г., Владивосток, Россия: мат. докл. – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2019. – С. 233-234.