

На правах рукописи

САНЧАА Айдиса Михайловна

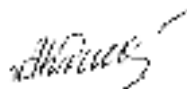
**ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ
ТУНКИНСКОЙ, БАРГУЗИНСКОЙ ВПАДИН
БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ
С УЧЕТОМ ИХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ
ОСОБЕННОСТЕЙ**

25.00.10 – геофизика, геофизические методы
поисков полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

НОВОСИБИРСК 2008



Работа выполнена в Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических наук
Неведрова Нина Николаевна

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор
Кожевников Николай Олегович

доктор геолого-минералогических наук
Дьяконова Аза Григорьевна

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное
предприятие «Сибирский научно-
исследовательский институт геологии,
геофизики и минерального сырья».
(ФГУП «СНИИГГиМС», г. Новосибирск)

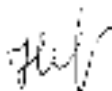
Защита состоится 31 июля 2008 г. в 10 часов
на заседании диссертационного совета Д 003.068.03 при Институте
нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, в
конференц-зале.

Адрес: просп. Ак. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090.
Факс: 8(383) 333-25-13

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИНГГ СО РАН.

Автореферат разослан 23 июня 2008 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
к.г.-м.н.



Неведрова Н.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Объектами исследования является геоэлектрическое строение Тункинской и Баргузинской межгорных впадин Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) на предмет определения связи геоэлектрических параметров с тектонической структурой.

Актуальность исследований. В 50-е годы прошлого столетия были проведены геофизические работы на территориях Баргузинской, Тункинской, Селенгинской, Гусиноозерской и Муйской впадин методами сейсморазведки, грави- и магниторазведки, а также электроразведки методом сопротивлений. Из-за сложности разрезов интерпретация материала была проведена вручную, по палеткам и не в полном объеме на полуколичественном уровне. Следует отметить, что на территории Баргузинской и Тункинской впадин с тех пор больше глубинных геофизических работ не проводилось.

С учетом достижений в области разработки программного обеспечения появилась возможность заново проинтерпретировать этот сложный материал, на качественно новом уровне. В настоящее время созданы различные программы моделирования и инверсии, в том числе и трехмерные. Но для таких сложных объектов, как тектонические впадины БРЗ, использование уже имеющихся программ недостаточно. Кроме того, использованные ранее подходы устарели и не удовлетворяют современным требованиям.

Таким образом, актуальность исследования определяется, во-первых, необходимостью разработки новых подходов к интерпретации полевых данных электроразведки, когда этот процесс проводится поэтапно. Во-вторых, необходимостью использования новой программы трехмерного моделирования электрических полей постоянного тока, при наличии сложнопостроенных геологических объектов, которая позволила бы значительно уточнить и детализировать глубинное строение впадин.

Цель исследования – с привлечением современных средств обработки и интерпретации (двумерного и трехмерного численного моделирования, геоинформационных систем) построить геоэлектрическую модель объектов, имеющих сложное геоэлектрическое строение, путем поэтапного применения соответствующих программ и с учетом тектонического фактора.

Задача исследования – определить геоэлектрическое строение Баргузинской и Тункинской впадин с учетом их тектонических особенностей.

Задача решалась поэтапно:

1. Представление архивного материала в цифровом виде для

- последующей обработки и интерпретации.
2. Создание схем и карт с элементами геологии и топографии изучаемых районов в рамках геоинформационных систем.
 3. Построение геоэлектрических моделей впадин в результате интерпретации с применением горизонтально-слоистой модели среды с учетом комплекса геологических данных (тектонических, скважинных).
 4. Построение геоэлектрических моделей впадин с учетом существенной неоднородности по простиранию на основе двумерного моделирования, а также двумерной, трехмерной инверсии.
 5. Уточнение геоэлектрических структур сложнопостроенных объектов с использованием трехмерного математического моделирования электрических полей постоянного тока.

Фактический материал и методы исследования.

Теоретической основой решения задачи является решение уравнения Лапласа для метода сопротивлений. Основной метод исследования - численное моделирование электрических полей в двумерно - и трехмерно-неоднородной среде. Решения обратной задачи электрических зондирований основаны на методах минимизации погрешности невязки между экспериментальными и синтетическими данными (алгоритмы стягивающихся многогранников Нелдера и Мида, многомерного градиентного спуска Маркварта, Ньютона). Все эти процедуры реализованы в использованных программах: поточечной интерпретации **SONET** (кафедра геофизики Новосибирского государственного университета, Дашевский Ю.А.) и профильной интерпретации **IPI2WIN** (Московский государственный университет, Бобачев А.А., Модин И.Н.), двумерного моделирования **IE2DP1** (Московский государственный университет, Бобачев А.А., Модин И.Н.) и двух-, трехмерной инверсии **RES2DINV**, **RES3DINV** (GEOTOMO Software), а также трехмерного моделирования **3DDC** (Spitzer K.), **EMF_DC3Dmod** (ИВМиМГ СО РАН, Суродина И.В.).

Фактическим материалом для исследования послужили архивные данные вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ), полученные на территории байкальских впадин в 50-е годы при проведении комплекса геофизических работ. Работы были выполнены Байкальской геофизической экспедицией (Булмасов А.П., Мандельбаум М.М., Пятчин Н.Ф., Кирикова Г.А. и др.). Из отчета также были взяты дополнительные сведения: для формирования начальной модели – скважинные данные (9 скважин); для сопоставления полученных результатов – данные сейсморазведки и гравиразведки. Автором лично по Баргузинской впадине было обработано 180 кривых зондирования,

по Тункинской – 150. В работе также были использованы карты разломно-блокового строения этих территорий, построенные Луниной О.В. и Гладковым А.С. (Институт земной коры СО РАН, г.Иркутск).

Для построения электронного варианта топографической и геологической карт, а также различных схем использовались топографическая карта масштаба 1:100 000, геологическая карта масштаба 1: 200 000, для геокодирования – программа ENVI. Данные цифрового рельефа (SRTM), соответствующие масштабу 1:200 000, были предоставлены сотрудниками Лаборатории геоинформационных технологий и дистанционного зондирования Института геологии и минералогии СО РАН (Зольников И.Д., Мартысевич У.В). Построения выполнялись в проектах ESRI (Arcview, Arcmap).

Протестирована и опробована на полевых данных программа трехмерного моделирования электрических полей постоянным током EMF_DC3Dmod (совместно с Суудиной И.В. и Неведровой Н.Н.). Получены сравнительные оценки результатов трехмерного (EMF_DC3Dmod, 3DDC) и двумерного (IE2DP1) моделирования.

Защищаемые научные результаты.

1. Разработан подход к выявлению геоэлектрической структуры сложных тектонических элементов, в основе которого лежит поэтапная интерпретация, начиная с использования одномерной инверсии для получения структуры в первом приближении, двумерного моделирования и двух-, трехмерной инверсии для сужения областей модельной эквивалентности и заканчивая трехмерным моделированием на локальных участках, требующих уточнения геоэлектрических параметров.

2. В изученных впадинах выделено четыре основных горизонта. В самом верхнем горизонте, состоящем из неоднородных отложений с присутствием многолетнемерзлых пород, значения удельного электрического сопротивления (УЭС) меняются в очень широком диапазоне: от нескольких десятков до нескольких тысяч Ом•м. Ниже по разрезу - второй горизонт, представленный терригенными осадками, в Тункинской впадине характеризуется значениями УЭС от 40 Ом•м до 200 Ом•м, (в районах распространения базальтовых покровов – до 700 Ом•м). В Баргузинской впадине этот же горизонт характеризуется величинами УЭС от одной до нескольких сотен Ом•м. Третий горизонт представлен мощной пачкой осадочных тонкослоистых пород с достаточно выдержанным УЭС (7–40 Ом•м). Четвертый, опорный высокоомный электрический горизонт характеризуется значениями УЭС в интервале от сотен до тысяч Ом•м.

3. Трехмерная модель песчаного поднятия, Верхнего куйтуна, в Баргузинской впадине характеризуется локальным погружением

опорного электрического горизонта и относительно однородным распределением удельного электрического сопротивления. Массив Бадар в Тункинской впадине имеет аналогичное строение. Обосновано и детализировано выделение разломных зон на основе сопоставления трехмерных геоэлектрических моделей с геолого-структурными данными.

Научная новизна работы. Личный вклад.

1. Разработан подход в виде поэтапной интерпретации с использованием программ многомерного моделирования и инверсии.

2. Сделаны количественные оценки пространственного распределения удельного электрического сопротивления (УЭС) по результатам интерпретации данных метода постоянного тока. Установлено, что характер этих распределений и значения УЭС хорошо согласуются для моделей Баргузинской и Тункинской впадин. Для Тункинской и Баргузинской впадин построены геоэлектрические разрезы по профилям, карты изолиний различных параметров, трехмерные модели фундамента.

- С использованием программы оцифровки, автором создан электронный банк полевых данных вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ).
- На основе одномерной инверсии в первом приближении созданы геоэлектрические горизонтально-слоистые модели (совместно с Н.Н. Неведровой).
- Путем двумерного моделирования, выбраны наиболее достоверные (с геологической точки зрения) модели из набора эквивалентных.
- С помощью программ двумерной и трехмерной инверсии получены тестовые разрезы, которые использовались в качестве средства верификации геоэлектрических разрезов, построенных на основе поточечной интерпретации данных.

3. По результатам двумерного моделирования во впадинах выявлены геоэлектрические параметры разреза основных разломных структур. Получены геоэлектрические характеристики областей развития многолетнемерзлых пород (значения УЭС более 3000 Ом•м) и установлено, что в Баргузинской впадине отдельные линзы имеют мощность до 600 м, в Тункинской впадине их мощности достигают 250 м.

4. С использованием программ 3DDC, EMF_DC3Dmod получены трехмерные модели отдельных геоэлектрических структур во впадинах, а также выполнен анализ характерных искажений кривых ВЭЗ.

- С использованием программы трехмерного моделирования 3DDC, проведен анализ искажения правой ветви кривых ВЭЗ и

- установлено, что искажения обусловлены ступенчатым строением фундамента (сбросы). Определены размеры этих сбросов и их удаление от пунктов измерений.
- С использованием программы EMF_DC3Dmod для Баргузинской впадины построены трехмерные геоэлектрические модели Верхнего куйтуна и разломной зоны в южной части впадины: для песчаного поднятия, Верхнего куйтуна, характерно локальное погружение опорного электрического горизонта и относительно однородное распределение удельного электрического сопротивления. По результатам трехмерного моделирования в южной части впадины выделяется разрывное нарушение, которое согласуется с геолого-структурными данными Луниной О.В. и Гладкова А.С. (2007 г.).
 - С использованием программы EMF_DC3Dmod для Тункинской впадины построены трехмерные геоэлектрические модели песчаного массива Бадар и разломных структур в ее северной части. Построенная трехмерная геоэлектрическая модель массива Бадар имеет строение, аналогичное Верхнему куйтуну. Трехмерная геоэлектрическая структура в северной части Тункинской впадины выражается системой отдельных блоков с различными геометрическими размерами. Сопоставление с результатами геолого-структурных исследований (Лунина О.В., Гладков А.С., ИЗК СО РАН, г.Иркутск) свидетельствует, что эти геоэлектрические структуры соответствуют меридиональному разрыву.

Теоретическая и практическая значимость.

Разработанный подход к интерпретации данных метода сопротивлений, включающий трехмерное моделирование, эффективен в районах со сложным геоэлектрическим строением, например, тектонических впадинах. Предложенная схема интерпретации данных дает возможность получения дополнительной более детальной информации о строении впадин. Кроме того, возможен количественный анализ искажений кривых ВЭЗ, а также верификация полученных результатов с помощью двумерной инверсии. Привлечение геоинформационных систем дает возможность наглядного представления результатов с точной географической привязкой.

Результаты интерпретации, в том числе трехмерного моделирования данных электроразведки позволяют наиболее точно определить параметры геоэлектрического разреза, построить трехмерные модели отдельных геологических элементов, оценить геоэлектрические характеристики и локализацию криогенных образований, геометрические характеристики основных разрывных

нарушений. Полученные результаты позволят продвинуться в понимании геодинамических процессов (например, формирование структур, подобных куйтунам в Баргузинской впадине, массива Бадар в Тункинской впадине) в Байкальской рифтовой зоне.

Апробация. Промежуточные результаты были доложены на научных конференциях и симпозиумах, представлены в материалах и тезисах: «Геофизика – 2001» (Новосибирск, 2001), «Геофизика – 2003, 2005» (Санкт-Петербург, 2003, 2005); Международная школа-семинар «Вопросы теории и практики комплексной геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей» (Москва, 2002, 2003); 3-я Байкальская молодежная школа-семинар "Геофизика на пороге третьего тысячелетия" (Иркутск, 2002); XX Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2003); Молодежная конференция «3-и Яншинские чтения, современные вопросы геологии» (Москва, 2003); конференция «Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы» (Иркутск, 2003); «30-ая сессия Международного семинара им. Д.Г.Успенского» (Москва, 2003); VI Уральская молодежная научная школа по геофизике (Пермь, 2005); II Международный симпозиум "Активный геофизический мониторинг литосферы Земли" (Новосибирск, 2005); XII международный симпозиум «Геодинамика и геоэкология высокогорных регионов в XXI веке» (Бишкек, 2005); Международный научный конгресс «ГЕО-СИБИРЬ-2006», «ГЕО-СИБИРЬ-2007» (Новосибирск, 2006, 2007). Всего по теме диссертации опубликовано 19 материалов конференций и 3 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных ВАК («Геофизика», «Геофизический вестник», «Геология и геофизика»).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения общим объемом 149 страниц, содержит 29 таблиц и 77 рисунков. Список литературы включает 116 наименования.

Автор выражает глубокую признательность за научное руководство, внимание, поддержку и помощь в работе Н.Н.Неведровой, Эпову М.И. Искреннюю признательность автор выражает исполнителям полевых работ, особенно Мандельбауму М.М., за предоставление качественного экспериментального материала, полученного в сложных условиях межгорных впадин Байкальской рифтовой зоны. Автор благодарит И.В. Суродину за разработку программы трехмерного моделирования, Ю.А. Дашевского за предоставленную программу 3DDC Klausе Spitzer, группу малоглубинных исследований Лаборатории электромагнитных полей, за предоставленные лицензионные программы компании Geotomo

Software, О.В. Лунину, А.С. Гладкова за плодотворное сотрудничество, Автор благодарит референта по защитах ИНГГ СО РАН В.И. Самойлову. За моральную поддержку автор выражает благодарность Санчаа Т.О., Санчаа М.Г., Бузлуковой Л.В., Егоровой В.В.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** показана актуальность, сформулированы цель и основная задача исследования, защищаемые результаты, научная новизна и практическая значимость работы.

Глава 1. **Геологическая и геофизическая изученность Тункинской, Баргузинской впадин Байкальской рифтовой зоны**

В главе приводятся основные геологические, геофизические данные по исследуемым районам.

Баргузинская впадина относится к кайнозойским структурам и является одной из крупнейших суходольных впадин Байкальской рифтовой зоны и наименее изученной. На дневной поверхности Баргузинской впадины отмечены отдельные плоские приподнятые участки – «куйтунь», которые сложены песчаными образованиями. Нет единого мнения относительно образования этих структур. Существует несколько гипотез их происхождения (Ламакин В.В., Логачев Н.А., Замараев С.М., Булмасов А.П.).

Во впадине повсеместно развита вечная мерзлота. Она имеет островной характер и подразделяется на приповерхностную и глубинную.

Дизъюнктивные нарушения во впадине имеют два основных направления.

Геофизические работы в Баргузинской впадине начаты в 1951 году. В комплекс методов входили: гравимагнитные, сейсморазведочные работы методом отраженных (МОВ) и преломленных (КМПВ) волн и электроразведочные работы методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ).

Интерпретация электроразведочных данных в 50-е годы была проведена в основном качественно. Достаточно достоверно лишь по некоторым кривым ВЭЗ была выделена одна геоэлектрическая граница: осадочный чехол – фундамент. Сопротивление фундамента определено как бесконечное, а сопротивление проводящего горизонта около 20 Ом•м.

Тункинская суходольная рифтовая впадина также является одной из кайнозойских структур Байкальской рифтовой зоны и расположена в юго-западной части.

Во впадине известны проявления вулканизма, развита вечная мерзлота «байкальского типа». В разрезе мерзлота имеет двухслойное строение.

Крупнейшей дизъюнктивной структурой в Тункинской впадине является одноименный разлом, ограничивающий впадину с севера. Разрывные нарушения внутри впадины изучены слабо.

Рельеф кристаллического фундамента в Тункинской впадине наиболее хорошо изучен детальными гравиразведочными и особенно электроразведочными работами, проведенными в 1951-1953 гг. независимо друг от друга В.К. Фоглером, А.П.Булмасовым и К.И.Давыдовым, а также позже в течение ряда лет Мегетской геофизической экспедицией.

Н.А.Флоренсов (1954, 1960) писал об асимметричном строении ложа Тункинской впадины по меридиональному сечению. Меридиональный разрез, составленный по данным А.П.Булмалова, показывает, что погружение впадины с юга на север происходит ступенчато. По данным вертикального электрического зондирования, по простиранию впадины отчетливо замечен выступ в фундаменте, проходящий западнее «аршанского» меридиана. Выступ имеет меридиональное простирание и делит Тункинскую котловину на две внутренние депрессии. Сам выступ не простирается вдоль всего ложа впадины, а довольно круто на широте русла Иркуты переходит в южный склон ложа впадины.

По интерпретации гравиразведочных данных (*Зориным Ю.А., 1971*) предложена схема строения фундамента Тункинской впадины. В центральной части впадины мощность кайнозойских отложений достигает 2700-2800 м.

Глава 2. Основные этапы интерпретации и программные средства

Методы исследований

В истории развития машинных методов истолкования данных ВЭЗ отчетливо прослеживаются два основных направления. Первое из них основано на сопоставлении экспериментальных кривых ВЭЗ с эталонными кривыми зондирования, рассчитанными для типичных моделей сред. Второе направление связано с развитием прямых численных методов интерпретации, позволяющих получить искомые параметры непосредственно по наблюдаемым значениям ВЭЗ. В настоящее время развивается второе направление.

В параграфе дано описание наиболее распространенных в настоящее время алгоритмов расчета прямой и обратной задач электрического зондирования в слоистых и неоднородных средах.

Программное обеспечение

В параграфе дано описание использованного в работе программного обеспечения (методы, ограничения, установки): *IPI2Win*, «*СОНЕТ*» - программные комплексы одномерной интерпретации, *IE2DPI* – программа двумерного моделирования, *RES2DINV* – программа двумерной инверсии, *3DDC*, *EMF_DC3Dmod* – программы трехмерного моделирования. Наиболее подробно описан алгоритм решения задачи, заложенного в программе *EMF_DC3Dmod*, как основной программы трехмерного моделирования.

Геоинформационные системы

Пространственная информация, ее представление и обработка всегда занимали важное место в самых разных сферах деятельности, а ее ассоциация с базой данных привела к созданию качественного нового вида организации информации – геоинформационных систем (ГИС).

Характерным примером таких систем могут служить продукты ArcView GIS компании ESRI (США), которые были использованы в данной работе.

Главная задача ГИС – предоставить возможность отображения и анализа данных, хранимых в БД, связывая их с картой. Как и любое графическое приложение, ArcView имеет все необходимое для вывода, просмотра и профессиональной работы с картами. Идеология представления карт в виде отдельных, но связанных между собой слоев, позволяет пользователю в любой момент отражать на карте лишь те объекты, что необходимы для разных исследований.

Глава 3. Двумерное, трехмерное математическое моделирование и инверсия при построении геоэлектрических моделей

Поскольку для исследования были привлечены архивные данные, представленные на бумажных билотографических бланках, сначала выполнено преобразование этого материала в электронный вид. Для этого созданы программные средства (программа на C++, которая в комплексе с программой Surfer, осуществляет оцифровку данных).

При создании основной геоэлектрической модели каждой из исследуемых впадин учитывался комплекс сведений, и в первую очередь это скважинные и геологические данные. Интерпретация в рамках горизонтально-слоистой модели среды проводилась с помощью программных комплексов СОНЕТ и IP1. Но, как известно, существует большая эквивалентность моделей. Для Баргузинской и Тункинской впадин она проявлялась как по продольной проводимости, так и по поперечному сопротивлению. Первый тип эквивалентности проявляется для проводящих слоев разреза в особенности для мощного нижнего слоя, залегающего на фундаменте. Т эквивалентность выражена для глубинных прослоев вечной мерзлоты, которые по данным электроразведки имеют мощность до нескольких сотен метров. Зачастую оказывалось так, что, даже располагая некоторыми дополнительными сведениями, было затруднительно отдать предпочтение какой-либо из моделей, поскольку приемлемы все варианты. Для решения этой проблемы проводилось двумерное моделирование с помощью программы IE2DP1. Но это не единственная область, где можно ее применить. Довольно высокая эффективность получена в случаях выделения разломов (особенно в Баргузинской впадине, для которой характерна сложная система разрывных нарушений). В Тункинской впадине двумерное моделирование было применено при выделении областей распространения базальтовых покровов, выступов фундамента.

Баргузинская впадина характеризуется довольно сложным строением с многочисленными разломными структурами, обширными и мощными областями вечной мерзлоты, поэтому использование программы двумерного моделирования здесь особенно актуально. Реализовать процедуру выявления разломных структур можно путем сравнения двух моделей: «складка», «разлом». Сопоставление результатов моделирования дает возможность выбрать одну из моделей. Двумерные модели рассчитывались для всех разломных структур Баргузинской впадины, на представленных в работе геоэлектрических разрезах. Был сделан вывод, что построения,

выполненные с помощью поточечной интерпретации вполне приемлемы и присутствие разломов на разрезах достаточно обосновано.

По результатам интерпретации выделены области развития вечномёрзлых пород и определены их геоэлектрические параметры. Все они выделены по очень высоким значениям УЭС, превышающего 3000 Ом•м. Здесь было проведено двумерное моделирование, поскольку нужно было решить проблему Т-эквивалентности. Именно метод сопротивлений наряду с электрохимическими методами позволяет исследовать криолитозоны.

Представленные результаты интерпретации данных электроразведки позволяют обосновать происхождение куйтунов. В частности, Верхнему куйтуну соответствует немного приподнятый блок фундамента, который отделен от остальной территории впадины сложной системой разломов.

Таким образом, учитывая все результаты, геологические сведения были построены геоэлектрические разрезы по профилям, карты изолиний глубин до фундамента. На рисунке 1 представлена трехмерная модель поверхности кристаллического фундамента Баргузинской впадины. Впадина имеет сложное строение, максимальные глубины смещены в сторону Баргузинского хребта, что подтверждает «байкальскую асимметрию».

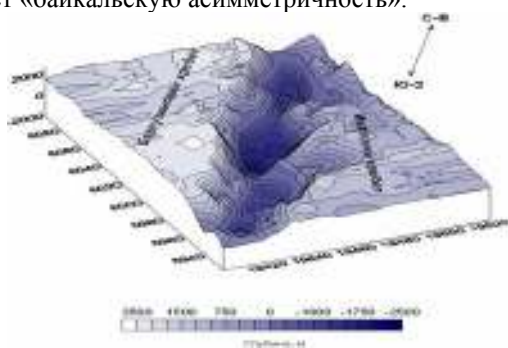


Рис. 1 Модель поверхности фундамента Баргузинской впадины.

Тункинская впадина расположена в зоне косога растяжения. Для нее менее характерны «байкальские особенности». На рисунке 2 представлен поперечный геоэлектрический разрез. Профиль EF пересекает Тункинскую впадину с юго-запада на северо-восток. Этот профиль отражает поперечную структуру впадины, он пересекает основную структуру – внутривпадинную перемычку. На рисунке

видно, что перемычка возвышается над ложем впадины на 1000 м. Мощность осадков на перемычке составляет 2 км, что значительно меньше, чем в локальных котловинах, где мощность осадков достигает 3 км.

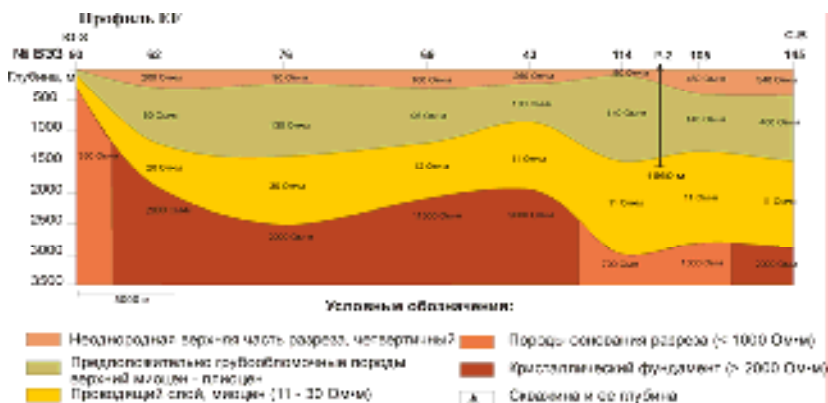


Рис. 2 Геоэлектрические разрезы по поперечным профилям в Тункинской впадине.

Для верификации полученных результатов, далее была выполнена двумерная и трехмерная инверсия. Она дает полуколичественные оценки, тем не менее, удастся проследить распределение некоторых особенностей разреза, например, проводящего слоя, а также локализацию линз вечномерзлых пород.

На завершающем этапе интерпретации данных ВЭЗ выполняется трехмерное моделирование кривых ВЭЗ для детализации геоэлектрического строения отдельных структур. В настоящее время нет универсальных программ трехмерного моделирования электрических полей постоянного тока. Обычно программы создаются под какую-либо конкретную задачу, поэтому их использование не всегда возможно. EMF_DC3Dmod была специально разработана для решения поставленных в работе задач, т.е. для моделирования электрических полей постоянного тока при наличии сложнопостроенных геологических объектов (на основе данных ВЭЗ по Тункинской и Баргузинской впадинам).

Апробация программы была начата с данных по массиву Бадар в Тункинской впадине. Этот объект был выбран по достаточно простой модели и спокойному рельефу фундамента. Сначала была проведена работа по выбору оптимальной сети разбиения на блоки геоэлектрической модели этого массива (рис. 3). Первый вариант

представляет модель с разбиением на блоки по неравномерной сети, чтобы каждый пункт зондирования находился примерно в центре блока одного сопротивления. Наиболее простой способ заключается в разбиении на блоки одного размера, но так как измерения проводились с неравномерным шагом, центр зондирования может оказаться близко к границе блока. Модель состоит из набора треугольных усеченных призм, из которых формируются блоки с однородными электрическими параметрами. Такая конфигурация позволяет легко уменьшать или увеличивать при необходимости размеры этих блоков. Треугольные призмы были выбраны из соображений простоты задания плоскости. Опорные блоки содержат пункты измерений, им приписываются известные характеристики геоэлектрического разреза, полученные на предыдущих этапах интерпретации. Параметры промежуточных блоков, а именно, глубина залегания слоев, определялись как средние значения между параметрами опорных блоков. Наилучший результат получается при таком разбиении модели, когда пункт ВЭЗ находится в центре области одного сопротивления (неравномерное разбиение), а не вблизи ее границы (равномерное разбиение).

Построение трехмерной модели геологической структуры является трудоемким процессом, и когда эта модель строится вручную, возможны ошибки в ее параметрах. В работе для создания входных 3D моделей использовались геоинформационные системы, которые позволяют не только построить виртуальную модель, но и проследить за правильностью выполняемых построений. Это важный этап при формировании трехмерной модели, поскольку она состоит из большого числа блоков (самая простая модель содержит от 700 блоков). Далее было выполнено моделирование с различными комбинациями геоэлектрических моделей. Массив Бадар, выраженный в рельефе в виде песчаного холма, в фундаменте проявляется плавным погружением.

Поскольку в формировании впадин большую роль играют тектонические процессы, процедура выделения разломов является наиболее важной. В Тункинской впадине трехмерное моделирование было выполнено для области меридионального разлома. Принцип решения данной задачи аналогичен тому, что проводится на этапе 2D моделирования. На рисунке 4 представлено разбиение рассматриваемой области на блоки, а также модель разлома, построенного по результатам моделирования. Полученные данные согласуются с результатами геолого-структурных исследований Луниной О.В. и Гладкова А.С. (ИЗК СО РАН). Моделирование позволило построить модель меридионального разрывного нарушения, представляющего собой сложную систему разломов.

В Баргузинской впадине трехмерное моделирование кривых ВЭЗ было выполнено для пунктов ВЭЗ в южной и центральной частях. Поскольку впадина характеризуется более сложным строением, это накладывает особые трудности в способы формирования виртуальной модели. Сложности заключаются в том, что, во-первых, на отдельных участках профилей слой может делиться по сопротивлению на два, более мелких, во-вторых, мощные линзы вечной мерзлоты могут занимать не один, а несколько слоев. Это приводит к усложнению модели за счет ввода фиктивных слоев, таким образом, увеличивая

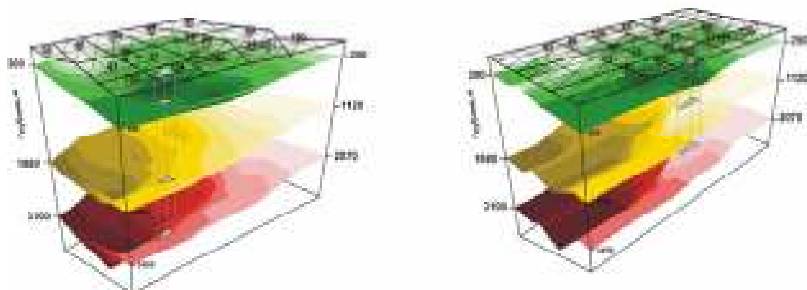


Рис. 3 Трехмерные модели массива Бадар (два варианта разбиения модели на блоки)

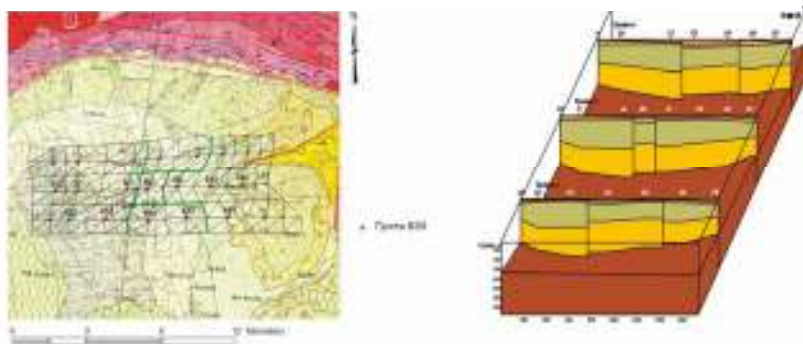


Рис. 4 Моделирование меридионального разлома в Тункинской впадине

количество блоков. В центральной части в качестве объекта моделирования была выбрана область Верхнего куйтуна. Также как и массив Бадар в Тункинской впадине, куйтун четко выражен в рельефе в виде поднятия, в то время как в фундаменте наблюдается погружение.

Для пунктов ВЭЗ южной части впадины трехмерное моделирование проводилось на предмет подтверждения присутствия разрывного нарушения, выделенного на предыдущих этапах интерпретации. Кроме того, был учтен угол наклона разлома, значение которого было взято с карты разломно-блокового строения по данным Луниной О.В. и Гладкова А.С.

Все расчеты по трехмерному моделированию выполнялись на МВС-1000 и НКС-160 Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН. Все результаты трехмерного моделирования сравнивались с полевыми данными. В среднем погрешность не превышает 10%. В отдельных случаях она составила 15-20%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной результат работы - разработка поэтапного подхода к интерпретации данных метода вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) с использованием программ многомерного моделирования электрических полей постоянного тока и инверсии при наличии сложнопостроенных геологических объектов с учетом тектонических особенностей.

В работе на основе предложенного подхода решена задача восстановления геоэлектрического строения Тункинской, Баргузинской впадин Байкальской рифтовой зоны. Разработанный подход дает более точную и достоверную информацию о геоэлектрическом строении районов исследования.

Предлагаемый подход по оптимизации геоэлектрических моделей имеет ряд преимуществ по сравнению с известными, когда используются программы только одномерной интерпретации либо только программы двумерной инверсии:

1. Подход основан на поэтапной интерпретации, заключающийся в последовательном использовании общедоступных программ, адаптированных для имеющихся полевых данных, а также программы трехмерного моделирования, разработанной специально для поставленной задачи.

– Использование программ одномерной инверсии позволяет получить **стартовые** геоэлектрические модели исследуемых объектов.

– Далее, использование программ двумерного математического моделирования позволяет в основном решить проблему **модельной эквивалентности**, а программы двумерной и трехмерной инверсий – **верифицировать** получаемые результаты.

– И, наконец, на заключительном этапе использование программ трехмерного математического моделирования на локальных участках позволяет получить **наиболее точные** геоэлектрические параметры, а также выполнить **анализ искажений** кривых ВЭЗ.

2. Привлечение материалов геолого-структурных исследований и тектонофизических характеристик исследуемых областей на всех этапах интерпретации подтверждает надежность геоэлектрических моделей, а значит, повышает их достоверность.

3. Использование геоинформационных систем позволяет произвести географическую привязку результатов и наглядно представить пространственное распределение геоэлектрических параметров.

4. Кроме того, предложенная схема интерпретации позволяет использовать не только современный, но и архивный материал, хранящийся на бумажном носителе, для которого предусмотрено представление его в электронном виде.

Предложенный подход дает возможность оптимизировать интерпретацию данных ВЭЗ для районов со сложным геоэлектрическим строением, поскольку сокращаются вычислительные затраты.

Несомненно, исследования геоэлектрического строения сложнопостроенных геологических объектов с учетом тектонического фактора должны быть продолжены по нескольким аспектам:

– усовершенствование процесса формирования трехмерной модели для программы EMF_DC3Dmod путем создания удобного интерфейса; дополнение программы EMF_DC3Dmod, функцией учета рельефа местности; дальнейшее усовершенствование подхода с помощью создания программы 3D инверсии;

– использование разработанного подхода при интерпретации данных ВЭЗ по другим тектоническим впадинам Байкальской рифтовой зоны, а также проведение сравнительного анализа результатов интерпретации по впадинам различных тектонических регионов.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Санчаа А.М.** Применение электроразведочных методов для структурных и глубинных исследований Тувы и Прибайкалья // Студент и научно-технический прогресс: Сб. тр. – Новосибирск, 2001. С.207–217.
2. Неведрова Н.Н., **Санчаа А.М.** Применение электроразведочных методов для глубинных исследований Баргузинской впадины // Геофизический вестник. – М.:ЕАГО. – 2001. – № 12. – С. 20–24.

3. Неведрова Н.Н., Эпов М.И., Пудова, Н.Г., **Санчаа А.М.** Геоэлектрическое строение суходольных впадин Байкальской рифтовой зоны // Вопросы теории и практики комплексной геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: тез. докл. – Москва, 2002. С.53–55.
4. **Санчаа А.М.**, Неведрова Н.Н. Особенности тектонического строения Баргузинской впадины Байкальского рифта по данным электроразведки // Третьи Яншинские чтения, современные вопросы геологии: Сб. науч. тр. – М., 2003. С. 184–187.
5. Nevedrova N., Epov M. and **Sanchaa A.** Tectonic Features of the Barguzin Depression of Baikal Rift Zone Using Computer Interpretation of Electrical Soundings Data // AGU 2003 Fall Meeting: abstr.– San Francisco, California, 2003. – F.1344. T12A-0448.
6. **Санчаа А.М.**, Неведрова Н.Н. Возможности двумерного моделирования при восстановлении геоэлектрического строения межгорных впадин // VI Уральская молодежная научная школа по геофизике: Сб. докл. – Пермь, 2005. С. 205–209.
7. Эпов М.И., Неведрова Н.Н., **Санчаа А.М.** Геоэлектрическое строение тектонических впадин Байкальской рифтовой зоны // Активный геофизический мониторинг литосферы Земли: Сб. науч. тр. – Новосибирск, 2005. С. 208–213.
8. Неведрова Н.Н., Суродина И.В., **Санчаа А.М.** Трехмерное моделирование при построении геоэлектрической модели Тункинской впадины Байкальской рифтовой зоны // Международный научный конгресс «ГЕО-Сибирь-2006»: Сб. науч. ст. – Новосибирск, 2006. С.19–25.
9. Эпов М.И., Неведрова Н.Н., **Санчаа А.М.** Геоэлектрическая модель Баргузинской впадины Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. – 2007. – Т.48, №7. – С. 811- 829.
10. Неведрова Н.Н., Суродина И.В., **Санчаа А.М.** Трехмерное моделирование сложных геоэлектрических структур // Геофизика. – 2007. – №1. – С.36–41.

Технический редактор О.М. Варакина

Подписано к печати 04.06.2008

Формат 60x84/16. Бумага офсет №1. Гарнитура Таймс.

Печ.л. 0,9. Тираж 110. Зак. № 11.

ИНГТ СО РАН, ОИТ, 630090, Новосибирск, пр-т Ак. Коптюга, 3.