

На правах рукописи



НЕВЕДРОВА Нина Николаевна

**ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ
И ВАРИАЦИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ
ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ
С КОНТРОЛИРУЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ
(НА ПРИМЕРЕ РЕГИОНОВ СИБИРИ)**

25.00.10 – геофизика, геофизические методы
поисков полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

НОВОСИБИРСК – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН).

Официальные оппоненты:

Жамалетдинов Абдулхай Азымович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Санкт-Петербургский филиал, г. Санкт-Петербург;

Рыбин Анатолий Кузьмич, доктор физико-математических наук, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научной станции РАН, г. Бишкек;

Семинский Константин Жанович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земной коры СО РАН, г. Иркутск.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук (ГИ СО РАН), г. Улан-Удэ.

Защита состоится 27 февраля 2014 г. в 10 час. на заседании диссертационного совета Д 003.068.03 при Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, в конференц-зале.

Адрес: пр-т Ак. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090.

Факс: (383) 333 25 13,

E-mail: Yeltsov@ipgg.sbras.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИНГГ СО РАН

Автореферат разослан 14 января 2014 г.

И. о. ученого секретаря
диссертационного совета
д.т.н., доцент



И.Н. Ельцов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Объекты исследования - геоэлектрическое строение верхней части земной коры сейсмоактивных и платформенных областей Сибири и вариации геоэлектрических параметров в Байкальской рифтовой зоне, Горном Алтае.

В настоящее время методы электромагнитных зондирований с контролируемым источником широко используются при решении фундаментальных проблем и прикладных задач в районах Западной и Восточной Сибири. Эта обширная территория включает сейсмически опасные области: Байкальскую рифтовую зону (БРЗ), Алтай-Саянскую складчатую систему. Изучение напряженно-деформированного состояния геологической среды особенно **актуально** в связи с высокой сейсмичностью заселенных территорий, к которым относятся межгорные впадины БРЗ и Горного Алтая. В решении этой проблемы электромагнитные методы занимают важное место. Натурные и модельные исследования показали, что электромагнитные поля высокочувствительны к воздействию геодинамических процессов как природных, так и техногенных. Но для эффективной интерпретации данных электромагнитного мониторинга принципиально важными являются наиболее точные оценки вариаций геоэлектрических параметров (удельного электрического сопротивления, анизотропии). В настоящее время таких оценок получено недостаточно. Многолетний опыт полевых регулярных наблюдений электромагнитными методами также показал, что необходимо учитывать геологические особенности строения, выявляя участки геологического массива, геоэлектрические характеристики которых максимально чувствительны к сейсмическому воздействию. Построение современных геоэлектрических моделей верхней части земной коры межгорных впадин, их горного обрамления в сейсмоактивных районах Сибири по данным электромагнитных методов и выявление на этой основе вариаций геоэлектрических параметров горных пород как критерия сейсмических активизаций является важнейшими задачами в рамках указанной проблемы. Для оценок вариаций необходимо развивать новый подход с использованием решения обратных задач и комплексного анализа электромагнитных, геолого-структурных и сейсмологических данных.

Сибирский регион включает две главные нефтегазоносные провинции России: Западно-Сибирскую низменность и Сибирскую платформу. Современные направления поисков углеводородов напрямую связаны с изучением детального геологического строения уже известных месторождений в связи с доразведкой (например, обнаружения более мелких нефтеносных структур), а также нахождением новых

перспективных участков. Для повышения информативности геологоразведочных работ актуально привлечение электромагнитных методов для получения геоэлектрических характеристик в условиях, где сейсмические исследования недостаточно эффективны.

Поскольку данные геоэлектрики играют важную роль в решении различных задач геофизики, **актуальность** исследования определяется необходимостью развития методик обработки и интерпретации полевых данных с учетом достижений в аппаратном и программном обеспечении.

Цель исследования – повышение точности оценок геоэлектрических параметров и их вариаций, обусловленных геодинамическими процессами, посредством совершенствования методического обеспечения обработки и интерпретации данных электромагнитных зондирований с контролируемыми источниками с привлечением современных программных средств, развития модельной базы за счет многомерного моделирования и учета параметров электрической анизотропии.

Задачи исследования:

1. Усовершенствовать методику интерпретации полевых данных электромагнитных методов с контролируемыми источниками.

2. Построить геоэлектрические модели межгорных впадин Прибайкалья и Горного Алтая.

3. Определить разрешающую способность и чувствительность метода ВЭЗ с установкой Шлюмберже по данным многолетнего мониторинга на Байкальском прогностическом полигоне.

4. Получить оценки геоэлектрических параметров, обусловленных влиянием геодинамических процессов, на Алтайском полигоне в эпицентральной зоне разрушительного Чуйского землетрясения 2003 г., ($M=7.3$) и на этой основе проследить консолидацию нарушенного геологического массива.

5. Определить геоэлектрическое строение участков, перспективных на углеводороды, в Западной и Восточной Сибири и выявить критерии нефтеносности по электромагнитным данным.

Методы исследования и фактический материал. Теоретической основой работы являются классические уравнения электродинамики. Анизотропные характеристики геологического массива получены на основе решения задачи установления электромагнитного поля в слоистой анизотропной среде. Исследование опиралось на численное моделирование электромагнитных полей для одномерной модели слоисто-изотропной и анизотропной среды, а также для двумерных и трехмерных моделей; на способы решения обратных задач и программно-алгоритмические средства интерпретации данных геоэлектрики с контролируемым источником для горизонтально-однородных и неоднородных моделей. В полной мере адаптирован для решения поставленных задач математический аппарат,

созданный в Лаборатории электромагнитных полей и Лаборатории геоэлектрики ИНГГ СО РАН, программные комплексы моделирования и инверсии для данных наземной электроразведки (ЭРА, EMS).

Автор опирался на теоретические представления о процессе подготовки тектонических событий известных ученых-геофизиков В.И. Уломова, Ю.В. Ризниченко, Б.В. Кострова, Г.А. Соболева, И.П. Добровольского; концепции решения проблемы прогноза землетрясений, предложенные академиком С.В. Гольдиным, кинетическую теорию разрушения С.Н. Журкова, Т.Д. Челидзе, фундаментальные принципы электромагнитного мониторинга геодинамических процессов, сформулированные Б.С. Световым.

Для исследования привлечен значительный объем архивных полевых материалов электроразведки постоянным током, полученных в 50-80 годах XX столетия на территории межгорных впадин Байкальской рифтовой зоны сотрудниками Байкальской геофизической экспедиции А.П. Булмасовым, М.М. Мандельбаумом, Н.Ф. Пятчиным, Г.А. Кириковым, А.В. Поспеевым; архивных данных зондирований на постоянном и переменном токе, полученных в 60-80 годах в Чуйско-Курайской сейсмоактивной зоне Горного Алтая сотрудниками геофизического предприятия «Алтай-Гео» В.Г. Кунгуровым, Ю.А. Неминушим, А.В. Пастуховой, А.А. Патриным, В.Т. Логиновым, Н.В. Смирновым; данные полевых работ на Байкальском прогностическом полигоне, выполненных сотрудниками Лаборатории электромагнитных полей ИНГГ СО РАН: Г.М. Морозовой, И.Н. Ельцовым, А.К. Манштейном при непосредственном участии автора за период с 1982 по 1990 годы, а затем продолженные диссертантом в 2000 г совместно с Ю.А. Дашевским.

Результаты по геоэлектрическому строению и режимным электромагнитным наблюдениям в районах Горного Алтая получены с использованием материалов полевых сезонов 2004-2012 гг. Эти работы, также с участием автора, проведены совместно отрядами ИНГГ и Геофизической службы СО РАН. Геологическое обоснование выбора участков геоэлектрических параметрических измерений в Чуйской впадине методом ВЭЗ обсуждалось с И.Д. Зольниковым и Е.В. Деевым. Для нефтегазоносного района Восточной Сибири (Криволукский участок реки Лены) полевые данные электроразведки получены под руководством С.М. Бабушкина (Геофизическая служба СО РАН). Материалы электромагнитных зондирований в Томской области и Среднем Приобье получены Научно-производственным предприятием геофизической аппаратуры «Луч» под руководством К.Н. Каюрова. Сейсмические разрезы и карты, литолого-стратиграфические колонки, разбивки по имеющимся скважинам, заключения ГИС, данные каротажа по исследуемым нефтегазоносным участкам Сибири и другие геологические сведения взяты

из фондовых отчетов ИНГГ СО РАН (авторы В.А. Конторович, С.А. Моисеев, В.А. Казаненков).

В работе использованы тектонические схемы, карты разломно-блокового строения БРЗ и Горного Алтая (О.В. Лунина, А.С. Гладков, Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск; Е.В. Деев, ИНГГ СО РАН; И.Д. Зольников, И.С. Новиков ИГМ СО РАН). Для построения различных версий электронных вариантов карт и схем использованы топографические и геологические карты масштаба 1:100 000, 1:200 000. Данные цифрового рельефа, программы геокодирования ENVI предоставлены сотрудниками Лаборатории геоинформационных технологий и дистанционного зондирования ИГМ СО РАН И.Д. Зольниковым, У.В. Мартысевич.

Для математического моделирования электрических полей привлечены программы: IPI2WIN - для модели горизонтально-слоистой среды, IE2DL - для двумерных сред (Модин И.Н., Бобачев А.А, Московский университет); 3DDCXH (Klaus Spitzer, Кельнский университет), EMF_DC3Dmod (ИНГГ СО РАН, ИВМи МГ СО РАН) - для трехмерных моделей. Обратная задача электрических зондирований решалась с помощью комплексов SONET (Новосибирский университет), IPI2WIN и программ двух-, трехмерной инверсии Res2Dinv, Res3Dinv (Geotomo Software). Для анализа характерных искажений кривых ЗС использованы программы математического моделирования электромагнитных полей с учетом вызванной поляризации (М.И. Эпов, Е.Ю. Антонов), а также программы трехмерного моделирования для пологих структур Kipol3D (М.И. Эпов, Е.Ю. Антонов). Исследования анизотропных параметров выполнено с помощью программного комплекса математического моделирования и инверсии Rubai, в создании которого принимали участие О.Ю. Дашевский, Ю.А. Дашевский, В.С. Могилатов (математическое обоснование, алгоритм решения прямой задачи).

Защищаемые научные результаты и положения:

1. Геоэлектрическая модель Оймур-Энхалукской впадины Прибайкалья соотносится с системой разноглубинных блоков: в ее центральной части впервые выявлен блок с мощностью осадочной толщи более 1000 м, представленной тремя проводящими горизонтами со значениями удельного электрического сопротивления (УЭС) в интервале от 20 до 120 Ом·м; УЭС наиболее мощного в разрезе проводящего слоя, составляет 20-50 Ом·м, УЭС подстилающего опорного горизонта понижается в зонах разломов до 200-500 Ом·м.

2. По данным зондирований становлением поля (ЗС), область максимальных глубин до палеозойского основания Чуйской впадины, достигающих 1300 м, протягивается от зоны Курайского разлома с северо-запада на юго-восток в виде узкого грабена; параллельно расположенные западный и восточный прогибы характеризуются заметно меньшими

глубинами в 500-900 м; разломные ступенчатые нарушения с амплитудами до 300 м выделены по существенным изменениям мощности геоэлектрических горизонтов в соседних пунктах ЗС; в осадочном выполнении выделяются три основных геоэлектрических горизонта: верхней горизонт слагают неоднородные отложения с УЭС от 200 до 2000 Ом·м, второй горизонт характеризуется УЭС от 40 до 200 Ом·м, третий горизонт представлен мощной пачкой осадочных тонкослоистых отложений с выдержанными по простиранию значениями УЭС в среднем в 20 Ом·м.

3. Определено глубинное геоэлектрическое строение Курайской впадины и ее краевых участков: установлено, что наиболее погруженные зоны с глубинами до фундамента в 600 м и более располагаются у ее северного, южного бортов, а также в прогибе на юго-востоке, где мощность осадков, по данным ЗС, превышает 1000 м; осадочное выполнение депрессии разделяется на два крупных геоэлектрических комплекса с разными величинами УЭС: нижний низкоомный комплекс с УЭС от 30 до 120 Ом·м соответствует палеоген-неогеновым глинистым озерным отложениям, а перекрывающий их высокоомный комплекс соотносится с более грубозернистыми фациями позднеплиоцен-голоценовых отложений с УЭС 120-2000 Ом·м - эти комплексы, по геологическим данным, отвечают различным этапам формирования структуры Курайской впадины.

4. По данным электрического мониторинга 1990-1996 гг. на Байкальском полигоне выявлены относительные вариации интегральной электропроводности амплитудой от 20 до 180 %, предшествующие сейсмическим событиям: амплитуда вариаций возрастает с увеличением мощности осадочной толщи и зависит от азимутального направления на эпицентр сейсмического события; вариации с амплитудами более 100% по времени связаны с сейсмическими событиями, происходящими в основных тектонических структурах полигона, таких как залив Провал, Селенгинская депрессия, прибрежные разломные зоны.

5. По результатам интерпретации повторных индукционных измерений ЗС за 2004 - 2012 годы в западной части Чуйской впадины выявлены закономерные изменения геоэлектрических характеристик среды, нарушенной катастрофическим Чуйским землетрясением 2003 г.: вариации УЭС осадочных горизонтов разреза после события достигали 200 % и более; в течение первых трех лет после события в эпицентральной зоне наблюдалось интенсивное восстановление электрических параметров разреза в сторону значений, определенных по данным зондирований 1980 г., когда состояние среды было стабильно, что указывает на начавшийся процесс консолидации; начиная с 2007 г., вариации УЭС в пределах 20 % отражают продолжающийся афтершоковый процесс.

6. Зоны, перспективные на углеводороды, характеризуются аномальными значениями УЭС: для Криволукского, Средне-Приобского участков наблюдается понижение значений УЭС свит, содержащих продуктивные коллектора, достигающее 20-30 %, что является поисковым критерием.

Новизна работы. Личный вклад.

1. Предложена гибкая стратегия интерпретации полевых данных с поэтапным использованием двумерных и трехмерных программ. Определены преимущества новых программ по сравнению с аналогичными программными средствами:

- сравнительные расчеты по двум имеющимся трехмерным программам численного моделирования метода постоянного тока – EMF_DC3Dmod и 3DDCXH - показали, что результат по программе EMF_DC3Dmod точнее за счет принципов построения трехмерной модели: исходная модель среды для 3D моделирования строится из набора усеченных треугольных призм, формирующих блоки с однородными электрическими параметрами, такая конфигурация позволяет легко уменьшать или увеличивать при необходимости размеры этих блоков и соответственно их влияние на электрическое поле;

- важным достоинством программы одномерного моделирования и инверсии метода ЗС с установками АВ-MN Rubai является применение для оперативной обработки данных в полевых условиях, возможность определения анизотропных характеристик разреза, подтвержденная апробацией на большом объеме полевых данных ЗС, полученных в межгорных впадинах Горного Алтая;

- с использованием программ двумерного моделирования разработана методика выбора стартовой геоэлектрической модели по данным ВЭЗ на примере Баргузинской впадины;

- для электромагнитных зондирований в межгорных впадинах Горного Алтая путем сопоставления с теоретическими кривыми для модели горизонтально-слоистой среды выделен объем данных ВЭЗ и ЗС с характерными искажениями. Построена трехмерная модель, из расчетов по которой следует, что искажения ВЭЗ обусловлены ступенчатым (блоковым) строением фундамента, получены количественные оценки ступеней: их высота и расстояние до центра установки ВЭЗ. Установлена причина искажения кривых ЗС с использованием программ моделирования и инверсии с учетом наклонных границ и вызванной поляризации (ВП), численное моделирование показало, что наклонные границы влияют на восходящую ветвь в пределах первых десяти процентов, а наибольшие искажения обусловлены ВП, совпадение теоретических и полевых данных с погрешностью 1-2 % получено для модели, когда в кровле фундамента расположена поляризуемая зона мощностью в несколько метров с

параметрами поляризации, характерными для пород межгорных впадин, таких как порфириты и гипербазиты, многолетнемерзлые отложения.

- Численное трехмерное моделирование для характерных разломных структур межгорных впадин показало, что на измерения влияют наклон сместителя, ширина разломной зоны, геоэлектрические параметры вмещающей среды; определены размеры установок и интервалы разносов, на которых влияние этих факторов максимально; получено, что большая часть влияющих факторов идентифицируется либо на различных разносах, либо по изменению формы графика зондирования.

2. Уточнено и наглядно представлено геоэлектрическое строение Селенгинской и Оймур-Энхалукской депрессий БРЗ: - с использованием программных комплексов СОНЕТ, ЭРА выполнена обработка и интерпретация полевых данных ВЭЗ, ЗС (около 400 зондирований), полученных в 1984-2000 годах на территории Оймур-Энхалукской и Селенгинской депрессий; построены геоэлектрические разрезы, карты распределения геоэлектрических параметров, трехмерные модели рельефа фундамента, получены геоэлектрические характеристики разломных зон, проведена геологическая интерпретация результатов, выявлено блоковое строение депрессий.

3. Построена геоэлектрическая модель Чуйской впадины Горного Алтая: впервые выполнена компьютерная интерпретация 1500 архивных данных ЗС, полученных в 80-е годы XX столетия, соответствующая результатам интерпретации современных измерений 2004-2012 года,

4. На основании интерпретации данных ВЭЗ и ЗС построена базовая модель Курайской депрессии и определено ее геоэлектрическое строение на границе с горным обрамлением: проведена обработка и интерпретация архивных и современных данных ВЭЗ и ЗС, в результате которой построены геоэлектрические разрезы по профилям Курайской впадины (совместно с А.М. Санчаа); выполнен анализ результатов геоэлектрики и проведена их геологическая интерпретация (совместно с Е.В. Деевым); установлено, что осадочное выполнение впадины разделяется на два геоэлектрических комплекса: с УЭС 100-2000 Ом·м для верхнего и УЭС 30-120 Ом·м для нижнего, которые отвечают различным этапам формирования структуры Курайской впадины.

5. Для Байкальского полигона выявлена высокая чувствительность метода ВЭЗ к происходящим сейсмическим событиям. В результате обработки и интерпретации данных мониторинга ВЭЗ за 1990 по 1996 гг., построены временные ряды и выполнено сопоставление вариаций интегральной проводимости и сейсмического режима: установлено, что вариации электропроводности, предвещающие сейсмические события значительны (от 20 до 100 % и более). Построена диаграмма чувствительности на основе анализа амплитуд вариаций

электропроводности и выделены три структуры, расположенные в направлениях максимальной чувствительности метода: залив Провал и две зоны в системе разломов Черского. Выяснена разрешающая способность метода ВЭЗ с установкой Шлюмберже, по полевым данным показано, что система измерений реагирует на сейсмические события, параметры которых соответствуют неравенству $1.1 < 0.6K - 3lg R < 2.5$, где K - энергетический класс, R - эпицентральное расстояние.

6. По результатам инверсии данных индуктивных ЗС за 2004-2012 и 1980 годы рассчитаны относительные вариации УЭС осадочных горизонтов для каждого пункта наблюдений в западной части Чуйской впадины, показано, что они связаны с происходящими сейсмическими событиями и отражают афтершоковый процесс Чуйского землетрясения 2003 г. На основе анализа вариаций УЭС с учетом сейсмологических и геологических данных, выявлены закономерности изменений геоэлектрических параметров массива горных пород в эпицентральной зоне: максимальные изменения УЭС (до 200 %) наблюдались вскоре после события и в первые три года после него, а далее вариации УЭС в 10- 20 % отражают текущую сейсмичность. Определены геоэлектрические и геологические факторы, влияющие на вариации удельного электрического сопротивления: пониженные значения УЭС и мощность проводящих горизонтов в районе пунктов наблюдения, размеры блоков и расстояния от разломных нарушений до этих пунктов.

7. По данным режимных круговых и крестовых ВЭЗ за 2004-2012 годы на полигоне Бельтир в Чуйской впадине рассчитаны коэффициенты электрической анизотропии λ (совместно с П.В. Пономаревым): установлено, что наибольшие значения λ (более 2) для пунктов, расположенных в районе трещин, получены вскоре после Чуйского землетрясения, затем в районе ВЭЗ 13-16 наблюдается общее уменьшение λ , а с 2006 г. по 2012 г. он близок к единице, что указывает на консолидацию нарушенной среды. Для ВЭЗ 17-18 повышенные значения λ 1,4-1,6 отмечаются в течение всего срока измерений, так как этот пункт находится в зоне сейсмодислокаций афтершокового периода.

8. На основе интерпретации данных ЗС, полученных в нефтеносных районах Сибири, построены геоэлектрические разрезы и карты распределения геоэлектрических параметров. В результате сопоставления распределения низкоомных аномалий УЭС викуловской свиты на участке в Среднем Приобье с данными сейсморазведки и геохимии сделан вывод, что понижение значений УЭС до 20 % является показателем перспективности площади на углеводороды. Распределение УЭС Криволюкской площади Восточной Сибири показало, что нефтеносная скважина расположена в пределах низкоомной аномалии подсолевого горизонта (понижение УЭС до 30 %).

Теоретическая и практическая значимость результатов. Данные о геоэлектрическом строении необходимы для сопоставления с результатами других геофизических методов, для решения вопросов современной геодинамики и развития континентальных сейсмоактивных областей Байкальской рифтовой зоны и Горного Алтая, для инженерных, гидрогеологических задач, при поисках и разведке полезных ископаемых различного генезиса. Предложенная в работе методика обработки и интерпретации данных электромагнитных зондирований с контролируемым источником может быть применена для данных любых других регионов.

По данным комплекса электромагнитных методов переменного и постоянного тока, значительно уточнено строение межгорных впадин Чуйско-Курайской сейсмоактивной области. Глубинные и детальные геоэлектрические модели верхней части осадочных отложений различных участков Чуйской и Курайской впадин востребованы при выполнении геолого-поисковых работ на рудные полезные ископаемые, которые выполняются в настоящее время в Горном Алтае. Одним из значимых результатов, полученных по данным метода ВЭЗ, является оконтуривание областей развития многолетней мерзлоты на заселенных территориях Чуйской и Курайской впадин. Данные о многолетнемерзлых породах необходимы специалистам целого ряда дисциплин, в частности экологам, строителям, гидрогеологам, почвоведом для оценки качества почв. Геоэлектрическое строение Уймонской впадины (глубины до геоэлектрических горизонтов, значения УЭС) использованы для выбора участка бурения геолого-картировочной скважины в летний сезон 2013 г.

Результаты электромагнитного мониторинга в районах Байкальской рифтовой зоны и Горного Алтая полезны для сейсмрайонирования, позволяют продвинуться в решении проблемы прогнозирования опасных явлений и обеспечения сейсмобезопасности, актуальны для разработки новых технологий и способов обработки данных геофизического мониторинга природных и техногенных систем.

По данным ЗС получены критерии перспективности площади на углеводороды, что обосновывает применение электроразведочных методов при разведке и доразведке нефтяных месторождений Сибири.

Материалы диссертационного исследования используются в профильном курсе лекций дисциплины «Электроразведка» на геолого-геофизическом факультете Новосибирского государственного университета, который диссертант читает с 2006 г., и в специальном курсе «Геофизический мониторинг» для аспирантов ИНГГ СО РАН, составленном в 2012 г. Направление исследования, связанное с интерпретацией данных постоянного тока, развито в кандидатской

диссертации А.М. Санчаа, защищенной в 2008 г. под научным руководством соискателя

Апробация. Результаты работы докладывались, обсуждались и получили одобрение специалистов: на международных научных конференциях (более 50) - Positano, Italy, 1995; Athens, Greece, 1996; Санкт-Петербург, Россия, 1996; Thessaloniki, Greece, 1997; Nice, France, 1998; Санкт-Петербург, Россия, 2000; Бишкек, Кыргызстан, 2002, 2003; San Francisco, California, 2002, 2003; Mizunami, Gifu, Japan, 2004; Алматы, Казахстан, 2005; Beijing, China, 2009, Киев, Украина, 2008, 2012; Москва, 2009; Бишкек, Кыргызстан, 2011; Новосибирск, 2012, и др. На всероссийских семинарах, школах-семинарах и конференциях (более 25) - Новосибирск, 2000, Горно-Алтайск, 2004; Екатеринбург, 2006; Новосибирск, 2007, Москва, 2008; Иркутск, 2010; Санкт-Петербург, 2011; Черный Ануй, Алтайский край, 2012; Москва, 2012, и др.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 114 работ, из которых главы в двух монографиях, 22 статьи в журналах из Перечня ВАК, 6 в зарубежных журналах, 34 – в материалах конференций и тематических сборниках, а также 50 тезисов докладов.

Работа выполнена в Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. Исследования проводились в соответствии с планами НИР Института за 1996-2000 г.(№ 3.1.15.5), на 1998-2000 г. (гос. регистрация № 01980003021), на 2001-2003 г. (гос. регистрация № 01200101571). Поддерживались грантами РФФИ: № 05-05—64503, № 09-05-12047-офи_м, № 12-05-33048; интеграционными проектами: Президиума РАН № 16, Отделения наук о Земле № 7.5, комплексными проектами СО РАН № 6.13, № 128.

Благодарности. Автор глубоко признателен академику М.И. Эпову за всестороннюю поддержку работы; искренне благодарен своим коллегам Е.Ю. Антонову, Ю.А. Дашевскому, Е.В. Дееву, И.Н. Ельцову, Н.О. Кожевникову, В.С. Могилатову, Г.М. Морозовой, А.М. Санчаа за обсуждения и критические замечания по вопросам диссертации; К.Н. Даниловскому, П.В. Пономареву, М.Г. Рохиной, А.Е. Шалагинову за помощь в оформлении. Автор благодарит за консультации по геологической и сейсмогеологической интерпретации данных нефтяных районов Сибири В.А. Конторовича, Г.Г. Шемина, Ю.Н. Карогодина. Особую признательность автор выражает С.М. Бабушкину за выполнение полевых работ на Алтае и в Восточной Сибири, а также К.Н. Каюрову, А.Е. Плотникову (НПП «Луч») за предоставленные полевые данные, полученные на нефтеносных участках Западной Сибири. Автор считает важным поблагодарить В.И. Самойлову за методические рекомендации и консультации во время подготовки и оформления текста диссертации.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, 6 глав, заключения. Полный объем диссертации – 361 страница текста 162 рисунков, 17 таблиц, библиография содержит 301 наименование.

Во введении определены объекты исследования, обоснована актуальность, поставлены цели и задачи, изложены выносимые на защиту научные результаты, показана их теоретическая и практическая значимость, определены научная новизна и личный вклад диссертанта.

В главе 1 сделан анализ развития электромагнитных методов с контролируемым источником, их возможностей, дана характеристика использованному комплексу электромагнитных методов. Отмечается, что методика интерпретации определяется в первую очередь систематизацией имеющихся данных и их качеством. Качество данных определяет использование современной аппаратуры, позволяющей оперативно реализовать профильные и площадные системы измерений, выделить слабые полезные сигналы на фоне помех. Обсуждаются программные средства, разработанные с участием автора и адаптированные для решения поставленных в работе задач. Площадные системы наблюдений, более точные полевые данные требуют развития программных средств с использованием многомерных моделей. В первую очередь, достигнут значительный прогресс в создании программ моделирования. Для метода сопротивлений использованы 2-3D программы различных авторов (IE2DL, кафедра геофизики МГУ; Res2Dmod, Res3Dmod, Geotomo Software, Малайзия; 3DDCXH, Klaus Spitzer, Канада; и т.д.). Тем не менее, для интерпретации данных, полученных в сейсмоактивных районах Горного Алтая и Прибайкалья, где строение определяется геодинамическими процессами и модели среды наиболее сложны, имеющиеся программные средства уже не удовлетворяют возросшим потребностям теории и практики геоэлектрики. В ходе исследования с участием автора была разработаны две программы, необходимые для интерпретации имеющихся данных: программа трехмерного моделирования на постоянном токе EMF_DC3Dmod (Неведрова и др. 2007), а также программно-алгоритмические средства для интерпретации и моделирования модификации нестационарных зондирований с гальваническими установками АВ-MN Rubai (Алексеев,... Неведрова [и др.], 2010). Соискателю принадлежит постановка задачи, определение необходимых функциональных возможностей программ, тестирование программных средств вначале на базовых моделях, а затем апробирование на реальном полевом материале.

Имеющийся опыт интерпретации данных показал, что при использовании программных комплексов выбор наиболее подходящей интерпретационной модели лучше всего осуществлять в самом начале, причем с полным её обоснованием. Выбор начального приближения имеет

принципиальное значение, так как определяет класс моделей, в котором интерпретатор будет работать, Иначе при использовании нелинейных способов минимизации, особенно в автоматическом режиме, можно получить недостоверный результат. Формирование стартовой модели рассмотрено на конкретном примере по данным ВЭЗ, полученным в Баргузинской впадине БРЗ. Для обоснования впервые использовано двумерное моделирование. Для данных пункта ВЭЗ 136 были выбраны две вероятные геоэлектрические модели (таблица 1).

Таблица 1. Эквивалентные геоэлектрические модели по данным ВЭЗ 136

Модель 1		Модель 2	
ρ (Ом·м)	Н слоя (м)	ρ (Ом·м)	Н слоя (м)
1 226	40	226	40
2 1300	231	1800	428
3 3500	340	3100	246
4 16.5	800	14	674
5 4000		10000	

Результаты моделирования по двумерной программе показали, что, теоретическая кривая для модели 1 гораздо лучше соответствует полевым данным (рисунок 1), (Эпов, Неведрова, Санчаа, 2007).

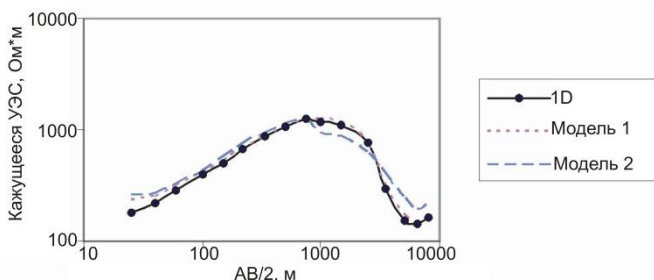


Рисунок 1 – Сопоставление полевой кривой по данным ВЭЗ 136 в Баргузинской впадине БРЗ с модельными кривыми, рассчитанными по двумерной программе(IE2DL, кафедра геофизики МГУ)

В главе обоснована важность параметрических измерений. На примере разрезов Чуйской впадины показано, что когда известны геологические характеристики пород и мощности слоев, УЭС отложений определяются однозначно, что повышает точность и достоверность интерпретации (Деев, Неведрова и др., 2011).

Интерпретатор всегда стремится максимально использовать наименее затратную интерпретацию с горизонтально-слоистой моделью, при этом важен анализ искажений. Полевой материал, особенно полученный в межгорных впадинах, содержит кривые с вполне определенными

искажениями (под искажением понимается их отклонение от теоретических кривых, рассчитанных над горизонтально-слоистым разрезом). Во время интерпретации данных ВЭЗ с использованием одномерной модели был выявлен целый ряд искаженных кривых. Большая часть искажений относится к полевым кривым ВЭЗ, когда восходящая правая ветвь составляет более 45° с осью абсцисс. На основе анализа геологических данных и результатов одномерной интерпретации была построена 3D модель, расчеты по которой объясняют выявленное искажение – это модель среды с присутствием уступа в высокоомном фундаменте, центр установки расположен над опущенным крылом (Неведрова и др., 2012). Расчеты выполнены с использованием программы 3DDCXH (K. Spitzer).

Способ учета характерных искажений полевых кривых ЗС показан на примере данных, полученных в Чуйской депрессии. У ряда кривых за разные годы измерений искажена правая ветвь, соответствующая поздней стадии переходного процесса. Известно, что в слоисто-однородных средах с непроводящим основанием кривые кажущегося сопротивления в билогарифмическом масштабе с течением времени приближаются к прямой, наклоненной под углом примерно 63° к оси абсцисс. На искаженных кривых этот угол, как правило, значительно больше. Было предложено использовать программы одномерного и трехмерного математического моделирования нестационарных электромагнитных полей в средах с наклонными границами (Kupol3D, UnvQQ, Эпов, Антонов). Расчеты по этим программам показали, что характерные искажения кривых для геоэлектрических условий Чуйской впадины зависят от угла наклона границ в пределах десяти процентов. Наибольшие искажения кривых ЗС обуславливает вызванная поляризация (ВП): с помощью программ, позволяющих учесть ВП горных пород, рассчитаны теоретические кривые, соответствующие полевым данным, с погрешностью 1-2 % (Неведрова и др., 2001; Эпов, Неведрова и др., 2006).

Численное моделирование разломных структур. Для определения влияния разломных зон на измерения ВЭЗ было выполнено численное трехмерное моделирование для теоретических моделей разломных зон различного типа. Все расчеты осуществлялись по программе EMF_DC3Dmod. Были рассмотрены модели разломных зон разной ширины, с различными параметрами вмещающей среды, с изменением наклона сместителя. На основе анализа расчетов сделан следующий методический вывод: наклон сместителя разломной зоны и ее ширина влияют на измерения в среднем диапазоне разносов в интервале от 100 до 2000 м. Но при изменении ширины существенно изменяется форма кривой зондирования, так что влияние этих двух факторов может быть разнесено.

Глава 2 посвящена геоэлектрическому строению Селенгинской и Оймур-Энхалульской впадин Байкальской рифтовой зоны. Кайнозойская **Селенгинская депрессия** расположена на юго-восточном берегу озера Байкал. Это впадина байкальского типа длиной в 100-120 км и шириной 40-45 км, для построения геоэлектрической модели которой были привлечены архивные данные ВЭЗ (200 зондирований) с установкой Шлюмберже и максимальными разносами АВ до 16 км. Современная интерпретация этих данных выполнена с использованием новых программ интерпретации и визуализации Zond (<http://Zond-geo.ru/software>), а также собранных за последние годы геологических материалов. К главным особенностям геоэлектрической модели Селенгинской депрессии можно отнести мощный осадочный чехол, его блоковое строение, протяженные разломные нарушения. На картах распределения геоэлектрических параметров, трехмерных моделях, геоэлектрических разрезах выделяется область наибольшего прогибания поверхности фундамента, вытянутая с юго-запада на северо-восток соответствующая Дельтовому разлому, включающая значительное количество блоков и ограничивающих их более мелких сейсморазрывов. Мощность осадочного чехла на отдельных участках прогиба достигает 5 км, а ширина разломной зоны - 10 км. Известный Фофановский разлом трассируется на картах вдоль линии, разделяющей блоки с разной глубиной залегания кровли фундамента. В северо-западной части дельты со стороны озера Байкал выделены два крупных поднятия, а на юго-востоке, вблизи Фофановской горной перемычки, наблюдается мозаичное строение – чередуются поднятые и погруженные относительно небольшие блоки. Профиль № 1 пересекает депрессию с северо-запада на юго-восток: от озера Байкал через Дельтовый прогиб до ближайшего горного обрамления - Фофановской кристаллической перемычки и отрогов Морского хребта. На двумерном геоэлектрическом разрезе по профилю № 1 (рисунок 2) отражено блоковое строение основания депрессии: на юго-восточном участке разреза наблюдается приподнятый блок фундамента с пониженными значениями УЭС относительно соседнего погруженного блока. Этот ослабленный блок опорного горизонта с УЭС 500-700 Ом·м соотносится с разломной границей депрессии и Фофановской кристаллической перемычки. Учитывая все выявленные структурные элементы Селенгинской депрессии, ее строение в целом можно охарактеризовать как блочно-иерархическое. С использованием современных программ интерпретации и визуализации по архивным данным ВЭЗ построена геоэлектрическая модель Селенгинской депрессии, которая позволила уточнить ее строение. Эти знания важны для анализа результатов электромагнитного мониторинга на Байкальском полигоне с целью определения влияния

современных геодинамических процессов на вариации электромагнитных параметров (Неведрова и др., 2004; 2012).

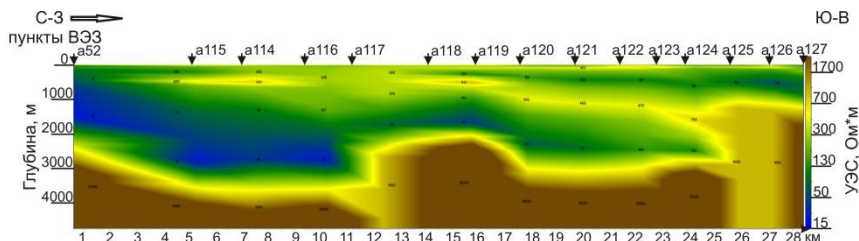


Рисунок 2 – Двумерный геоэлектрический разрез по профилю № 1 Селенгинской депрессии (построение выполнено с помощью комплекса Zond)

Оймур-Энхалукская впадина примыкает к Селенгинской депрессии на востоке и протягивается вдоль побережья озера с юго-запада на северо-восток от пос. Оймур до пос. Заречье. Она является частью Байкальского прогностического полигона, ограничена с юго-востока отрогами Морского хребта, а со стороны оз. Байкал в прибрежной зоне наблюдается серия разломов. В 1982-1990 гг. здесь были развернуты работы методами геоэлектрики, направленные на изучение геоэлектрического строения. Часть этих измерений выполнена вокруг залива Провал и на его акватории по ледовым профилям. Фактически территория в окрестности залива является переходной зоной от Селенгинской впадины к Оймур-Энхалукской. Пункты измерений размещались на участке исследования неравномерно, что обусловлено топографическими особенностями местности. Наиболее плотная сеть наблюдений в районе залива Провал объясняется наличием на этом участке современных и архивных пунктов ВЭЗ.

Карта глубин до кровли опорного электрического горизонта Оймур-Энхалукской впадины, включает область перехода к Селенгинской депрессии (рисунок 3). Глубины определены в результате интерпретации данных, полученных комплексом методов геоэлектрики: ЗС в различных модификациях, ВЭЗ в 1982-2000 гг., учитывались также глубины до фундамента по скважинам. Карта глубин до кровли опорного горизонта указывает на блоковое строение впадины. В центральной ее части, в районе пункта мониторинга методом ВЭЗ, наблюдается значительное увеличение мощности осадков до 1400 м. Следует заметить, что осадочная толща с относительно низким сопротивлением и значительной мощностью порядка 800–1000 м простирается вплоть до береговой линии озера и разломных структур залива Провал. В заливе мощность осадков быстро возрастает и, по данным ЗС, достигает 4500 м и более. Анализ карты

глубин до кровли опорного геоэлектрического горизонта меняет представление о геологическом строении прибрежной депрессии: все известные немногочисленные скважины расположены в пределах приподнятых блоков с мощностью осадочного чехла 500–600 м. Поэтому до проведения детальных работ электромагнитными методами считалось, что на этом участке не существует осадков значительной мощности. Полученный результат подтверждается данными палеогеографии Прибайкалья в миоцене (Саркисян, 1958), которые свидетельствует о существовании в это геологическое время водоема на юго-восточном побережье за дельтой Селенги.

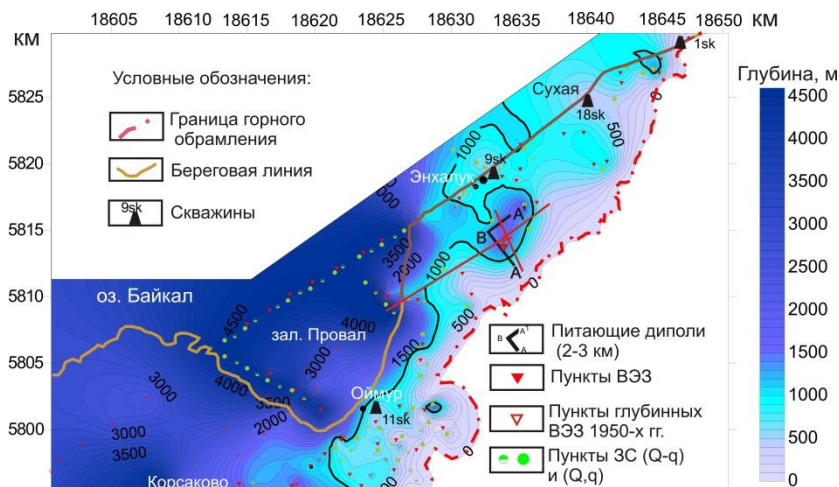


Рисунок 3 - Карта глубин до кровли опорного электрического горизонта Оймур-Энхалукской впадины

В главе 3 рассмотрено геоэлектрическое строение межгорных впадин Горного Алтая: Чуйской, Курайской и Уймонской, которые являются ключевыми объектами для понимания закономерностей формирования его неотектонической структуры и современного рельефа. Это наиболее крупные впадины региона, заполненные континентальными осадочными отложениями значительной мощности. Чуйская и Курайская котловины, разделенные лишь межгорной перемычкой Чаган-Узунского массива, образуют единую систему впадин на юго-востоке Горного Алтая с похожей историей неотектонического развития и кайнозойского осадконакопления. Для построения геоэлектрических моделей этих депрессий используются данные комплекса методов геоэлектрики. Для исследования верхней части разреза до глубин примерно в 200-300 м используются методы ВЭЗ и электротомография, по данным ЗС

изучается глубинное строение, включая верхнюю часть палеозойского основания.

В результате интерпретации полевых данных ЗС построена геоэлектрическая модель **Чуйской депрессии**, уточнен рельеф фундамента и впервые выделены геологические границы в осадочном выполнении. Геоэлектрические разрезы по протяженным профилям с севера-востока от зоны разломов Курайского хребта до южного горного обрамления, карты различных геоэлектрических характеристик отражают структурные элементы впадины и особенности залегания осадочных пород (Неведрова и др., 2001). Вдоль северного борта впадины получены наибольшие глубины до палеозойского основания, превышающие 1 км, и выявлены надвиги палеозойских пород на более поздние отложения третичного периода, подтвержденные геологическими данными (Буслов и др., 1999). Построенные разрезы пересекают два крупных грабена, один из которых (более северный) имеет наиболее сложное строение с локальными ступенчатыми опусканиями и надвигами. Юго-западный грабен характеризуется заметно меньшими глубинами до фундамента в 600-800 м и более простым складчатым строением. Фундамент пересечен многочисленными разломами, которые фиксируются резкими уступами.

Курайская депрессия является второй по размерам среди аналогичных структур Горного Алтая, характеризуется ромбовидными очертаниями с размерами по длинной диагонали ромба, ориентированной субширотно, 35 км, по короткой – около 20 км. Для выяснения геоэлектрического строения депрессии привлечены как архивные данные вертикальных электрических зондирований (1960-1970 гг.), так и данные, полученные методами ЗС и ВЭЗ в 2006-2012 гг. Ранее считалось, что наиболее сложная неотектоническая структура наблюдается в северной части впадины (Бондаренко и др., 1968). Но геоэлектрические исследования показали, что блоковое строение и значительные глубины до фундамента впадина имеет в южной (до 600 м) и юго-восточной частях (более 1000 м), (Неведрова и др., 2011).

На геоэлектрическом разрезе профиля 3 в южной части впадины четко выделяются два слоя, залегающие на фундаменте, с интервалами сопротивлений 80-180 Ом·м и 18-60 Ом·м (рисунок 4). По геологическим данным они отнесены к отложениям туерьской и кошагачской свит (Девяткин, 1981). На некоторых участках впадины по данным ВЭЗ не удастся проследить границу между этими слоями. Глубина до основания в районе пунктов 218, 120 превышает 600 м.

В северной части профиля 3 в районе пунктов ВЭЗ 105 - 111 на поверхности находятся высокоомные породы, соответствующие Салгандуйскому блоку коренных пород, который разделяет Центрально-

Курайскую впадину и Ештыкельский прогиб. Северная часть Салгандуйского блока перекрыта рыхлыми отложениями мощностью 100-150 м (пункты 97-104). Резкие изменения в гипсометрии поверхности фундамента и выклинивание осадков свидетельствуют о разломных ограничениях наложенной на Салгандуйский блок впадины.

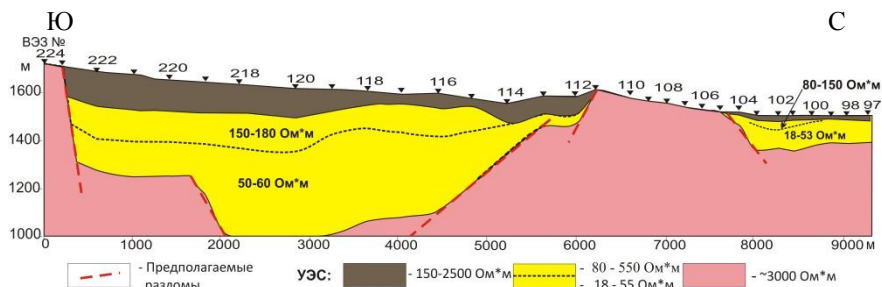


Рисунок 4 – Геоэлектрический разрез по данным ВЭЗ по профилю 3 через Ештыкельский прогиб и Салгандуйский блок в южной части Курайской впадины

Уймонская впадина расположена в центральной части Горного Алтая и наряду с Чуйской и Курайской является одним из наиболее крупных отрицательных элементов его неотектонической структуры. Геоэлектрические исследования начаты в 2011 г. Первые представления о ее глубинном геоэлектрическом строении составлены по данным ЗС. Геоэлектрический разрез построен по профилю, пересекающему впадину с запада на восток. На всем протяжении профиля получены значительные глубины до опорного горизонта от 550 до 850-870 м. УЭС опорного горизонта, вероятно, соответствующего докайнозойскому фундаменту впадины, находится в интервале от 1250 до 2000 Ом·м. Выше по разрезу выделен проводящий горизонт мощностью от 200 до 300 м со значения УЭС от 50 до 150 Ом·м. Большая часть осадочного выполнения впадины представлена мощным высокоомным слоем с УЭС 1600-2000 Ом·м, с максимальной мощностью более 630 м в районе пикета ЗС 2 в западной части впадины. Профили электротомографии пересекают тектонические уступы в зоне Южно-Теректинского разлома на разных участках северной границы Уймонской впадины с горным обрамлением. На разрезе электротомографии в районе пос. Баштала (северо-западная часть впадины) по распределению УЭС отдельных блоков выделена разломная зона, характеризующая надвигание высокоомных пород горного обрамления на осадочные отложения впадины (рисунок 5).

Глава 4 посвящена анализу результатов мониторинга методом ВЭЗ на Байкальском прогностическом полигоне, который расположен на северо-

восточном побережье озера Байкал и образован в 80-х годах прошлого столетия.

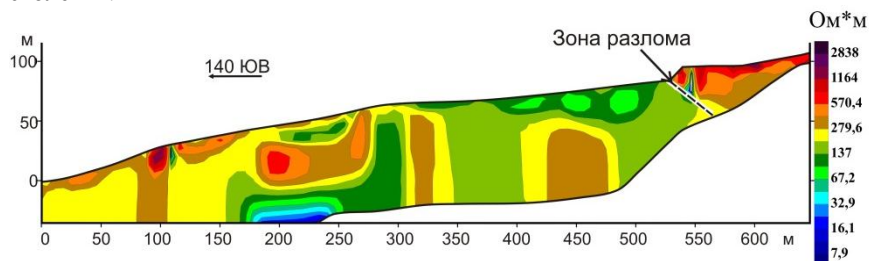


Рисунок 5 – Двумерный геоэлектрический разрез по профилю электротомографии в районе пос. Баштала в зоне сочленения Уймонской впадины с горным обрамлением

Исследовательская работа была ориентирована на широкое применение электромагнитных методов с контролируемыми источниками. По сейсмологическим данным, территория полигона относится к наиболее сейсмически активной центральной части Байкальской рифтовой зоны, что объясняется современным развитием крупных неотектонических структур - Южно-Байкальского прогиба, Селенгинской депрессии, Оймур-Энхалукской впадины - и проявляется в многочисленных землетрясениях.

Известны разные подходы к обработке и интерпретации данных мониторинга. Наиболее часто используемый способ заключается в сопоставлении измеряемых геофизических параметров с рядами сейсмических событий. Например, для нестационарного поля рассматривают вариации ЭДС в приемной петле, для метода постоянного тока - значения ρ_k . При наличии длительных временных рядов рассчитывают корреляционные либо спектральные характеристики (Мороз, 2000; 2007). В диссертации рассмотрен другой подход, особенностью которого является восстановление геоэлектрической модели в пунктах режимных наблюдений на основе решения обратной задачи. При обработке временных рядов электрического мониторинга обратная задача решалась для каждого ежедневного измерения, в результате чего получены ряды геоэлектрических параметров с 1990 по 1996 годы и рассчитана интегральная проводимость разреза ST для трех глубин: 90, 300, 750 м. Функция ST отражает относительное изменение значений истинных электрических параметров разреза по глубине и во времени (рисунок 6). Временные ряды функции ST для трех глубин сопоставлены с рядами значений ρ_k для трех размеров генераторной линии АВ/2 500, 1000, 1500 м и сейсмическим режимом области исследования. Сопоставление показало, что амплитуды вариаций интегральной проводимости, предвещающие сейсмические события, значительны и составляют от 20 до 100 % и более (Дашевский, Неведрова и др., 2000; Неведрова и др., 2004).

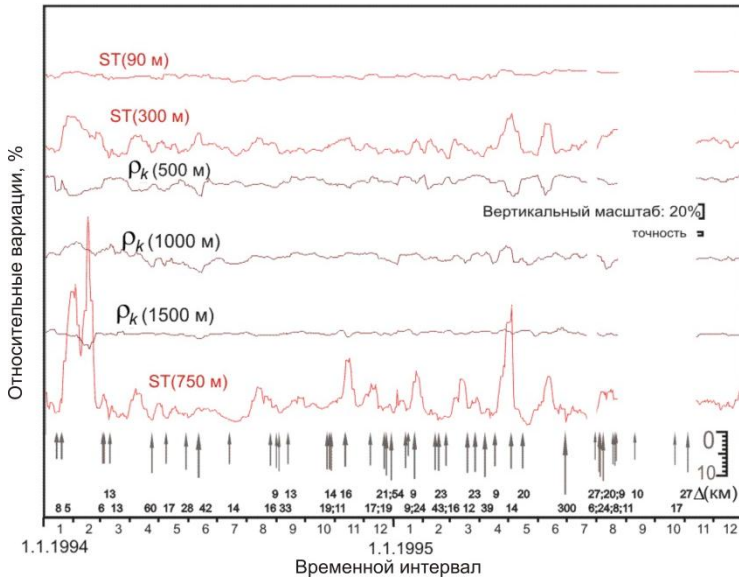


Рисунок 6 – Сопоставление относительных вариаций ρ_k , интегральной продольной проводимости с рядом сейсмических событий

Очевидно, что важно установить параметры тех сейсмических событий, которые могут быть зафиксированы установкой электрического мониторинга методом ВЭЗ. Из сейсмологических каталогов были выбраны землетрясения с энергетическим классом $K > 6$, в квадрате 300×300 км с центром в пункте мониторинга ВЭЗ, для каждого события рассчитаны расстояния R от пункта ВЭЗ до эпицентра. Среди множества событий были выделены землетрясения, которые предваряются аномалиями интегральной проводимости, рассчитанной до глубины 750 м. Было выяснено, что сейсмические события, зафиксированные системой мониторинга, попадают в полосу, которая описывается эмпирическим уравнением регрессии: $1.1 < 0.6K - 3lg R < 2.5$. В результате анализа временных графиков интегральной продольной проводимости установлена различная чувствительность метода ВЭЗ к сейсмическим событиям для использованной системы наблюдений за стационарным полем. Выявлена зависимость величины вариаций интегральных параметров разреза от азимутального направления на эпицентр землетрясения и построена полярная диаграмма направленности установки ВЭЗ для мониторинга, на которой прослеживаются три области максимальной чувствительности установки по отношению к сейсмическим событиям. Было рассмотрено, какие уже известные геоэлектрические и тектонические особенности строения полигона можно обнаружить в выделенных на диаграмме

направлениях. Первое направление повышенной чувствительности установки соответствует хорошо изученным структурным элементам полигона - Селегинской депрессии и тектоническому грабену залива Провал, который является зоной сеймотектонического опускания части территории дельты после катастрофического землетрясения в 1896 г. Второе, очень локальное, направление соответствует области пересечения двух прибрежных разломов, находящихся в акватории озера на относительно небольших глубинах. Третье направление связано с эпицентрами, расположенными в известных разломных структурах, относящихся к системе разломов Черского.

В главе 5 анализируются результаты электромагнитного мониторинга в Чуйско-Курайской сейсмоактивной зоне Горного Алтая методами ВЭЗ и ЗС в эпицентральной зоне катастрофического Чуйского землетрясения 2003 г. Основная задача - найти связь интенсивности временных вариаций УЭС, с характеристиками сейсмических активизаций с учетом структурных особенностей. Кроме параметра УЭС рассматривается электрическая анизотропия верхних слоев земной коры и ее вариации. С учетом вариаций двух электромагнитных параметров предполагается проследить процесс консолидации горных пород геологического массива, подвергнутого сильному сейсмическому воздействию. Определение коэффициента электрической анизотропии λ на полигоне «Бельтир» в долине р. Чаган (Чуйская впадина) проведено по данным кругового и крестовых ВЭЗ. Азимут простирания сейсморазрывов, выходящих на поверхность в районе этих пунктов, указывает на преимущественную ориентацию главных осей вторичной анизотропии в направлениях, параллельном и перпендикулярном вертикальной плоскости магистрального разрыва Чуйского землетрясения. Для каждого повторного ВЭЗ получена геоэлектрическая модель и рассчитаны λ как отношение суммарных продольных проводимостей вдоль и поперек выбранного направления за 2004-2012 гг. по данным как в зоне трещин, так и вне этой зоны, где сейсморазрывы отсутствуют. Анализ изменений λ показал, что наблюдаемая трещиноватость влияет на анизотропные свойства массива горных пород, максимальные значения λ получены вскоре после события в 2004 г. По данным кругового ВЭЗ 13-16 в зоне трещин, начиная с 2007 г., коэффициент анизотропии близок к единице, что свидетельствует о консолидации массива на этом участке. По данным крестового ВЭЗ 17-18 наблюдаются повышенные значения λ в течение всего интервала наблюдений, так как этот пункт находится на участке сейсмодислокаций афтершокового периода. Вне зоны трещин (ВЭЗ 19-20) λ имеет стабильное значение, близкое к единице, следовательно, анизотропия горных пород здесь отсутствуют. Можно сделать вывод, что процесс консолидации среды неоднозначен, по-разному протекает на различных участках, на него

влияет афтершоковый процесс Чуйского землетрясения и геолого-структурные особенности разреза.

Пункты повторных измерений методом ЗС с соосными установками после Чуйского сейсмического события были размещены на старых профилях 80-х годов XX столетия в западной части Чуйской впадины с сохранением момента установок предшествующих работ. Интерпретация полевых данных ЗС выполнена с использованием компьютерных комплексов ЭРА и EMS, и в результате решения обратной задачи получены геоэлектрические модели. Вариации для каждого осадочного горизонта рассчитаны относительно значений УЭС в период низкой сейсмической активности по данным ЗС 1980 г. Сопоставление относительных вариаций УЭС с характеристиками сейсмического режима по изменению УЭС дает возможность проследить опосредованно процесс восстановления массива горных пород после разрушительного сейсмического воздействия. Пункты мониторинга ЗС размещены по площади полигона на разных расстояниях от магистрального разрыва Чуйского землетрясения и в различных тектонических блоках. На основе анализа вариаций УЭС за 2004-2012 годы с учетом особенностей геоэлектрического строения было выяснено, что их интенсивность в каждом конкретном пункте зависит от геологических и тектонических характеристик участка, на котором они расположены. Для того чтобы сравнить количественные изменения УЭС для разных пунктов измерений, приведем относительные вариации УЭС в процентах по данным ЗС 106, 102, 158, 134 за 2004-2012 годы (рисунок 7).

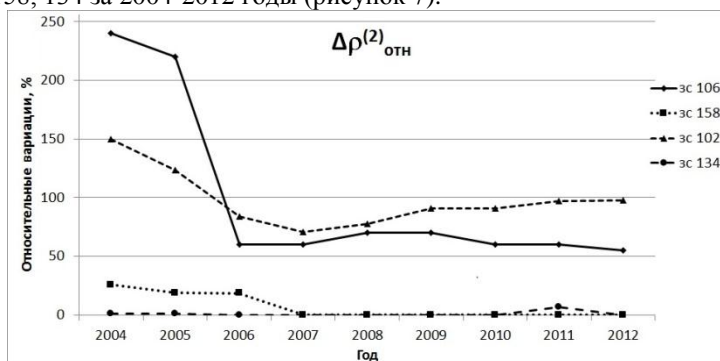


Рисунок 7 – Относительные вариации УЭС второго слоя геоэлектрических моделей ЗС 106, 102, 158, 134 за 2004-2012 гг.

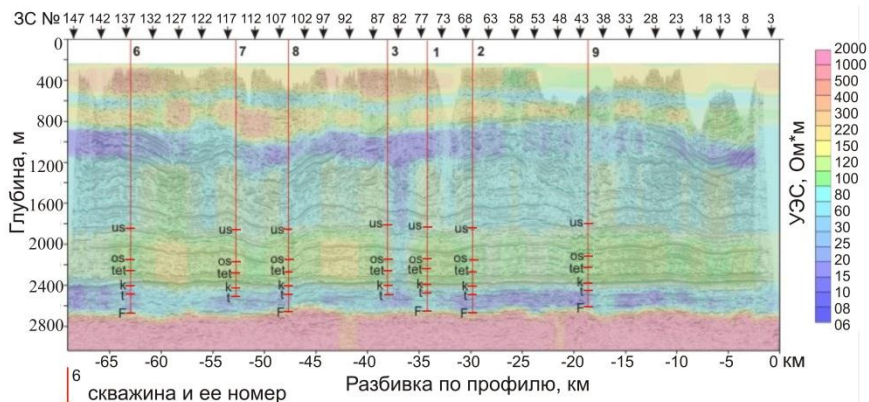
В результате инверсии полевых данных для каждого зондирования получена четырехслойная геоэлектрическая модель, которая содержит три осадочных слоя и высокоомный опорный горизонт. (Неведрова и др., 2010). Вариации УЭС рассчитаны для наиболее проводящих второго и

Несмотря на геологические различия в районах размещения пунктов мониторинга и разную интенсивность вариаций, наблюдается общая закономерность: для всех рассмотренных повторных ЗС, начиная с 2007 г. состояние среды относительно стабильно, уровень вариаций даже для пунктов с максимальной чувствительностью в среднем не превышает 20 %. Таким образом, при анализе результатов мониторинга необходимо учитывать блоковое строение осадочного чехла и верхней части фундамента. Принимая во внимание размеры блоков и их разломные ограничения, можно объяснить существенные изменения УЭС в районе одних пунктов и небольшие в других. На первый взгляд, эти изменения разнородны, но четко прослеживается, что амплитуда этих изменений существенно зависит от тектонической структуры, в которой пункт находится. Совместный анализ результатов электромагнитного мониторинга и геоэлектрического строения показал, что наблюдается взаимосвязь вариаций электропроводности со структурно-тектоническими особенностями района исследования. Реакция электрических параметров разреза на сейсмическое воздействие значительна: при сильном землетрясении с магнитудой 7.3 вариации параметров достигали 200 % и более. По результатам интерпретации повторных индукционных измерений ЗС за 2004-2012 годы в западной части Чуйской впадины выявлены особенности изменения геоэлектрических параметров массива горных пород, нарушенного катастрофическим землетрясением: первые три года после события в эпицентральной зоне наблюдается тенденция к восстановлению значений УЭС стабильного периода, а далее вариации отражают текущую сейсмичность. Результаты полевых измерений на различных участках эпицентральной зоны показали, что оба параметра - **удельное электрическое сопротивление и коэффициент анизотропии** - характеризуют состояние геологической среды, изменение этого состояния, и являются показателем сейсмоактивности.

В главе 6 рассмотрены возможности нестационарных электромагнитных зондирований для разведки месторождений углеводородов на примере полевых работ в районах Восточной и Западной Сибири. Измерения методом ЗС были выполнены по течению реки Лены на Криволукском участке Иркутской области (Лено-Тунгусская нефтегазоносная провинция). Наиболее перспективен на углеводороды венд-кембрийский осадочный комплекс. На участке исследования при бурении скв. 3 с глубины 2155 м (осинский горизонт) получен приток углеводородов. Электроразведочный профиль был совмещен с профилем сейсмических работ методом ОГТ. Общая длина профиля составила 70 км. Методом ЗС всего было выполнено 140 физических наблюдений. Генераторный контур закреплен по берегам реки в виде неправильного вытянутого четырехугольника. Продольная сторона контура (вдоль русла

реки) составляла в среднем 1500 м, а поперечная (поперёк русла), в зависимости от ширины реки, изменялась от 300 до 700 м. Из-за топографических особенностей (русло реки, наличие островов и кос) не было возможности разложить генераторный контур правильной геометрической формы. Расстояние между пунктами возбуждения составляло от 2 до 3,5 км, а между пунктами регистрации выдерживалось в пределах 0,5 км. Амплитуда тока в генераторном контуре достигала 30 А.

Обработка и интерпретация полевых данных выполнена с помощью комплекса ЭРА. Полученный геоэлектрический разрез был совмещен с сейсмическим временным разрезом. Распределение УЭС показано цветовой гаммой, сейсмические границы – однотонной штриховкой. Геоэлектрический разрез отражает распределение геоэлектрических параметров по простиранию и по глубине. Граница осадочной толщи с опорным электрическим горизонтом (фундаментом) выделена по всей длине профиля. Кровля фундамента залегает на глубинах 2550–2720 м, значения УЭС в основном составляют 2000 Ом·м, но имеются участки с пониженным сопротивлением (рисунок 9).



Границы кровли горизонтов по данным бурения: us- усольская свита, os - осинский горизонт, tet - тэтэрская свита, k - катанская свита, t - тирская свита, F- кристаллический фундамент

Рисунок 9 – Геоэлектрический и сейсмический разрезы на Криволукском участке

Наиболее проводящий слой (подсолевой), залегающий на опорном горизонте, имеет значения УЭС от 10 до 28 Ом·м и мощность 300-400 м. По характеру изменения УЭС по простиранию горизонта выделены участки с наиболее низкими (аномальными) значениями в 10-16 Ом·м, приуроченные к пикетам ЗС 28-33, 77-82, 43, 142-147. Эти участки представляют наибольший интерес для дальнейших нефтепоисковых работ. На геоэлектрическом разрезе выделяется аномалия низкого УЭС в центральной части профиля в районе скв. 3. Зона пониженных значений

УЭС прослеживается, начиная с глубины 600 м и до самой кровли фундамента. Этот аномальный низкоомный участок хорошо виден и в подсолевом пласте. Для более полного анализа геоэлектрических характеристик, так как выполненная съемка позволяет получить их площадное распределение, были построены карты распределения УЭС для подсолевого комплекса кембрийских отложений. Продуктивная скв. 3 расположена в районе наиболее детальных измерений ЗС в зоне пониженного УЭС. Итак, зона нефтеносности характеризуется аномальным распределением электрических параметров: по пониженным значениям УЭС выделен участок, перспективный на углеводороды. По данным ЗС хорошо определяются границы в верхней части разреза до глубин в 300-600 м, где сейсмические методы недостаточно эффективны. Таким образом, комплексная интерпретации данных методов ЗС и ОГТ обосновывает границы литологических комплексов приповерхностных отложений, повышая достоверность исследования. Опыт полевых работ показал, что речные электроразведочные работы менее трудоемки и более экономичны в труднодоступных районах со сложной топографией по сравнению с наземной съемкой (Бабушкин, Неvedрова, 2009).

Исследовался еще один нефтеносный участок, расположенный в Западной Сибири в среднем Приобье. Главной особенностью месторождения, делающей его уникальным, является нефтеносность нескольких осадочных горизонтов (викуловской, тюменской, баженовской свит) и вулканогенных пород доюрского основания (Гилязова, Сиднев, 2009). Измерения методом ЗС выполнены по сети сейсмических профилей прошлых лет с соосными и разнесенными установками. В качестве источника электромагнитного поля использовался незаземленный квадратный контур со стороной 1000 м. Приемные установки были выбраны размером 75×75 м. Расстояние между генераторными контурами составляло 3 км. Интерпретационная модель была построена с учетом данных различных методов каротажа скважин: ГК, ПС, PZ (потенциал-зонд), по которым оценивались интервалы значений УЭС выделенных слоев. По характеру соотношения кривых ЗС, полученных на соосных и разнесенных установках ЗС, разрез в целом можно аппроксимировать моделью горизонтально-слоистой среды. Исходя из этого, при обработке и интерпретации данных использовались программные комплексы EMS, ЭРА. Геоэлектрическая модель типична для разрезов Западной Сибири и для большинства слоев характеризуется низкими значениями УЭС (2-6 Ом·м). Значения УЭС опорного горизонта не превышают 100 Ом·м. По результатам интерпретации данных ЗС шестой геоэлектрический горизонт, кровля которого расположена на глубине 1500-1600 м, отнесен к викуловской нефтеносной свите. Анализ распределения удельного электрического сопротивления этой свиты показал, что прослеживается

довольно четкая закономерность: две имеющиеся скважины с притоком УВ расположены в пределах низкоомных аномалий (рисунок 10).

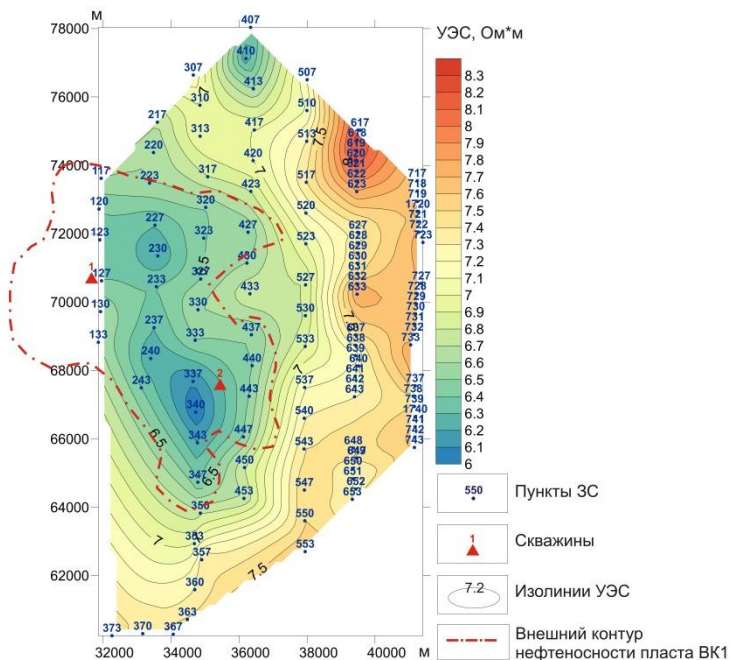


Рисунок 10 – Распределение УЭС на уровне викуловской свиты по комплексу данных ЗС участка в среднем Приобье

Все геоэлектрические разрезы были построены по профилям, пересекающим площадь исследования с севера на юг. По комплексу данных ЗС на геоэлектрических разрезах детально отображены изменения УЭС викуловской свиты по простиранию. Зоны повышенных значений УЭС свиты, которые наблюдаются в северной и южной части разреза, разделены интервалом более низких значений УЭС в районе скв. 1. На всех геоэлектрических разрезах в восточной части участка отсутствуют интервалы пониженных значений УЭС в викуловской свите. На схеме распределения УЭС горизонта на уровне викуловской свиты по комплексу данных ЗС четко выделяются низкоомные аномалии, границы которых оконтуривают перспективный на нефтеносность участок. Границу низкоомной аномалии можно выделить по изолинии 6.6 Ом·м: она практически соответствует контуру нефтеносности, полученному по геохимическим и сейсмическим данным. Аномалии удельного электрического сопротивления достигают 20 %, что в низкоомном и

малоконтрастном разрезе Среднего Приобья является весьма значимой величиной. Сопоставление распределения низкоомных аномалий УЭС викуловской свиты с данными сейсмических и геохимических исследований показало, что пониженные значения сопротивления подтверждают перспективность площади на углеводороды (Неведрова, Санчаа, 2010, 2012). Модель с зоной пониженных значений УЭС обоснована результатами 3D моделирования по программе Modem3D (И.А. Кремер, ЗАО «Центр РИТМ»).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе представлены результаты решения задач, являющихся классическими для электромагнитных методов с контролируемым источником, таких как определение геоэлектрического строения в различных регионах Сибири, а также задач на сегодня дискуссионных, относящихся к проблемам прогнозирования опасных геодинамических явлений.

Показаны возможности ЗС при нефтепоисковых работах в Западной Сибири, где разрез слабо дифференцирован по электрофизическим характеристикам, что важно для практического приложения метода. При получении полевых данных используются новые перспективные аппаратные разработки, обеспечивающие необходимую глубину нестационарных зондирований и высокую разрешающую способность методов постоянного тока: - для метода ЗС - регистраторы, позволяющие выделить слабые сигналы на фоне помех, и переносные многовитковые датчики (модульные рамки) с одновременной регистрацией данных от нескольких установок, увеличивающие оперативность съемки; - для метода постоянного тока - актуальные в настоящее время и высокопроизводительные установки 2-3D электротомографии, дающие возможность значительно повысить детальность исследования верхней части геологического массива по профилю либо площади. Привлечение комплекса электромагнитных методов с использованием современной аппаратуры и программного обеспечения расширяет информационные возможности и сферу их применения.

Решение поставленных в диссертации задач объединено методикой обработки и интерпретации электромагнитных данных комплекса методов (ЗС в разных модификациях, ВЭЗ, электротомография) с помощью современных программных средств моделирования и инверсии для одномерных и многомерных моделей среды. Предложенная в работе схема гибкого применения целого ряда программных средств на разных этапах обработки и интерпретации данных увеличивает эффективность этого процесса и позволяет в результате получить наиболее точные значения геоэлектрических параметров разреза и их вариаций. При этом используются программы как созданные при участии автора, так и

полученные от сторонних организаций, часть из которых имеется в свободном доступе, либо передана коллективу для научных исследований. Использование новых программных средств и современной аппаратуры приводит, в конечном счете, к успеху в решении сложных задач поисков и разведки углеводородных ресурсов и анализе данных электромагнитного мониторинга в сейсмоактивных регионах.

В работе отмечается важность исследований в межгорных впадинах Байкальской рифтовой зоны, Горного Алтая, наиболее заселенных, где развивается промышленное, гражданское, дорожное строительство, туризм. По результатам исследования уточнено геoeлектрическое строение нескольких депрессий БРЗ и необходимо продолжить работу для целого ряда впадин: Муйской, Гусиноозерской, Боргойской, для которых построение геoeлектрических моделей еще не завершено. Для крупных впадин Горного Алтая - Чуйской и Курайской - впервые получены базовые геoeлектрические модели осадочного чехла и верхней части фундамента в результате современной интерпретации архивных данных ЗС и ВЭЗ. В ходе работы были выявлены участки впадин, где строение было не конца понятно. На этих участках во время полевых сезонов 2004-2012 годов выполнены измерения методами ЗС и ВЭЗ, в результате обработки которых были построены геoeлектрические разрезы по профилям в краевых частях Курайской впадины. Эти разрезы существенно дополнили общую картину геoeлектрического строения Курайской впадины и позволили сделать выводы об этапах ее формирования. Вместе с тем, даже для наиболее исследованных впадин, таких как Чуйская и Курайская, нужны дополнительные измерения на сложно построенных участках с целью уточнения модели, которое возможно только с использованием двумерных и трехмерных программ. Необходимо продолжить полевые работы в Уймонской, Абайской, Усть-Канской алтайских впадинах, для которых получены только самые первые представления об их геoeлектрическом строении.

Большая часть гипоцентров землетрясений в БРЗ и в Горном Алтае локализованы в верхней части земной коры, распределение электропроводности и ее вариации являются важными характеристиками, несущими информацию о происходящих сейсмических процессах. Исследования показали, что в осадочном чехле межгорных впадин на относительно небольших глубинах находятся зоны, максимально чувствительные к изменению напряженного состояния, например в Чуйской впадине такие зоны соответствуют глубинам залегания низкоомных осадочных слоев и составляют от 200 до 1000 м. Перспективными являются полевые наблюдения по изучению электрической анизотропии, в работе показано, что этот параметр эффективен наряду с удельным электрическим сопротивлением.

Результаты мониторинга электромагнитными методами на Байкальском прогностическом полигоне, в Горном Алтае свидетельствуют, что измерений в течение нескольких лет недостаточно для полноценных выводов о влиянии геодинамических процессов на электромагнитные параметры. Для Горного Алтая, в частности, пока неясно, завершился ли афтершоковый процесс Чуйского события 2003 г. Тем не менее, работами в обоих сейсмоактивных регионах Сибири подтверждено, что электромагнитные методы высокочувствительны к происходящим сейсмическим событиям, а вариации электропроводности, УЭС, коэффициента анизотропии отражают особенности сейсмического режима. Для эпицентральной области Чуйского землетрясения установлены закономерности изменения геоэлектрических параметров нарушенного массива горных пород, которые в течение первых трех лет имеют тенденцию к восстановлению значений стабильного периода низкой сейсмической активности, а затем реагируют на афтершоковый процесс. Исходя из вышесказанного, электромагнитный мониторинг в районе Горного Алтая необходимо продолжить, выбрав оптимальные участки для дальнейших наблюдений с учетом геологических и тектонических особенностей, наиболее влияющих на вариации электромагнитных параметров.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии

1. Лунина О.В. Рифтовые впадины Прибайкалья: тектоническое строение и история развития / Лунина О.В., Гладков А.С., **Неведрова Н. Н.** // Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал ГЕО, 2009. - 316 с.
2. Методы решения прямых и обратных задач сейсмологии, электромагнетизма и экспериментальные исследования в проблемах изучения геодинамических процессов в коре верхней мантии Земли / А.С. Алексеев, ..., **Н.Н. Неведрова** [и др.]. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 310 с.

Статьи в российских журналах, рекомендуемых ВАК

3. Мандельбаум М.М. Технология геоинформационных систем при решении обратной задачи глубинных электрических зондирований / М.М. Мандельбаум, Ю.А. Дашевский, Г.М. Морозова, **Н.Н. Неведрова** [и др.] // Геофизика. – 1996. – №1. – С. 29-37.
4. Мандельбаум М.М. Сейсмическая активность и динамика электропроводности земной коры на Байкальском полигоне / М.М. Мандельбаум, ..., **Н.Н. Неведрова** [и др.] // Геология и геофизика. - 1996. - Т. 37. - № 6. - С. 88-94.
5. Дашевский Ю.А. Изучение динамики геоэлектрического состояния среды на различных глубинах в связи с процессами подготовки

землетрясений / Ю.А. Дашевский, **Н.Н. Неведрова**, И.О. Грехов // Докл. РАН. – 1998. - Т. 359. - № 4. - С. 545-547.

6. Дашевский Ю.А. Тензочувствительные объекты в геоэлектрическом разрезе Южно-Байкальского прогностического полигона как индикатор подготовки сейсмических событий / Ю.А. Дашевский, **Н.Н. Неведрова** [и др.] // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40. - № 3. - С. 409-422.

7. Морозова Г.М. Глубинное распределение электропроводности и поля напряжений Байкальского прогностического полигона / Г.М. Морозова, Ю.А. Дашевский, **Н.Н. Неведрова**, И.О. Грехов // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40. - № 3. – С. 322-346.

8. Дашевский Ю.А. Интегральная проводимость разреза как индикатор напряженного состояния среды при активном электромагнитном мониторинге на Южно - Байкальском прогностическом полигоне / Ю.А. Дашевский, **Н.Н. Неведрова**, Н.В. Жирова // Докл. РАН. -2000. - Т. 370. - № 6. - С. 807-809.

9. **Неведрова Н.Н.** Реконструкция глубинного строения Чуйской впадины Горного Алтая по данным электромагнитных зондирований / Н.Н. Неведрова [и др.] // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42. - № 9. – С. 1399-1416.

10. Санчаа А.М. Применение электроразведочных методов для глубинных исследований Баргузинской впадины / А.М. Санчаа, **Н.Н. Неведрова** // Геофизический вестник. – 2001. - № 12. – С. 20 – 24.

11. **Неведрова Н.Н.** Определение структуры массива горных пород и анализ результатов электромагнитного мониторинга на Байкальском прогностическом полигоне / Н.Н. Неведрова, М.И. Эпов, Ю.А. Дашевский // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2004. - № 3. - С. 29-45.

12. Дашевский Ю.А. Сейсмическая и электрическая анизотропия как индикатор напряженного состояния трещиноватого массива горных пород / Ю.А. Дашевский, ..., **Н.Н. Неведрова** [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2006. - № 4. - С. 31-46.

13. Эпов М.И. Способ учета характерных искажений полевых кривых становлением электромагнитного поля, полученных в сейсмоактивных районах / М.И. Эпов, **Н.Н. Неведрова**, Е.Ю. Антонов // Геофизический вестник. - 2006. - № 6. - С. 8-14.

14. **Неведрова Н.Н.** Трехмерное моделирование сложных геоэлектрических структур / Н.Н. Неведрова, И.В. Суродина, А.М. Санчаа // Геофизика. – 2007. - №1. – С. 36-41.

15. Эпов М.И. Геоэлектрическая модель Баргузинской впадины Байкальской рифтовой зоны / М.И. Эпов, **Н.Н. Неведрова**, А.М. Санчаа // Геология и геофизика. – 2007. – Т.48, №7. – С. 811- 829.

16. **Неведрова Н.Н.** Геоэлектрические исследования перспективных участков нефтегазоносности юга Сибирской платформы / Н.Н. Неведрова, А.М. Санчаа, С.М. Бабушкин // Записки Горного института. - 2009. - Т.183. - С. 260-263.
17. Лунина О.В. Тектонофизические и геоэлектрические исследования рифтовых впадин Прибайкалья / О.В. Лунина, **Н.Н. Неведрова** // Геофизические исследования. – 2010. – Т. 11. - №1. - С. 5 – 15.
18. Лунина О.В. Тектоническое строение, напряженное состояние и геодинамика рифтовых впадин Прибайкалья / О.В. Лунина, **Н.Н. Неведрова**, А.В. Гладков // Геотектоника. - 2010. - № 3. - С. 525 – 539.
19. **Неведрова Н.Н.** Интерпретация данных комплекса электромагнитных методов в сейсмоактивных районах (на примере Чуйской впадины Горного Алтая) / Н.Н. Неведрова, Е.В. Поспеева, А.М. Санчаа // Физика Земли. - 2011. - № 1. - С. 63-71.
20. Деев Е.В. Параметрические геоэлектрические исследования отложений Чуйской котловины (Горный Алтай) / Е.В. Деев, **Н.Н. Неведрова**, [и др.] // Геофизика. - 2011. - № 1. - С. 40–49.
21. **Неведрова Н.Н.** Строение Курайской впадины по данным электрических зондирований / Н.Н. Неведрова, А.М. Санчаа, Е.В. Деев // Геофизика. - 2011. - № 6. - С. 56-65.
22. **Неведрова Н.Н.** Результаты повторных электромагнитных зондирований становлением поля в западной части Чуйской впадины Горного Алтая / Н.Н. Неведрова, А.М. Санчаа, С.М. Бабушкин // Записки Горного института. – 2011. – Т. 194. - С. 191-196.
23. Деев Е.В. Геоэлектрические исследования отложений Чуйской котловины (Горный Алтай) / Е.В. Деев, **Н.Н. Неведрова** [и др.] // Геология и геофизика. - 2012. - № 1. – С. 120-139.
24. Деев Е.В. Новые данные о строении Уймонской впадины (Горный Алтай) / Е.В. Деев, **Н.Н. Неведрова** [и др.] // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. - № 1(9). - С. 15-23.
- Статьи в зарубежных журналах*
25. **Неведрова Н.Н.** Анализ результатов электромагнитного мониторинга на Байкальском прогностическом полигоне / **Н.Н. Неведрова**, М.И. Эпов // Вестник Национального Ядерного Центра Республики Казахстан. - 2004. – Вып. 2(18). - С. 141-147.
26. **Неведрова Н.Н.** Строение зоны тектонических деформаций Чуйского землетрясения в Горном Алтае по данным геоэлектрики с активным источником / **Н.Н. Неведрова** [и др.] // Вестник Национального Ядерного Центра Республики Казахстан. - 2009. - Вып.3 (39). – С. 98-104.
27. Lunina Oxana V. Tectonic and geoelectric structures of rift basins in the Baikal region. Structures tectoniques et ge´o-e´lectriques des bassins de rift de la

re'gion du Bai'kal / Oxana V. Lunina, **Nina N. Nevedrova**, Andrei S. Gladkov // Comptes Rendus Geoscience. - No 344 (2012), - P. 149-158.

28. **Неведрова Н.Н.** Электромагнитный мониторинг в сейсмоактивных районах Сибири / **Н.Н. Неведрова**, М.И. Эпов // Геофизический журнал НАН Украины. - 2012. - Т. 34. - № 4. - С. 209-223.

Материалы конференций

29. Eпов M.I. Electromagnetic field as information carrier of the structure of a geological medium and oil-and-gas deposits / M.I. Eпов, E.P. Shurina, **N.N. Nevedrova** // The 19-th International Workshop of Electromagnetic Induction in the Earth. (Beijing, China, 23-29 October, 2008). - Beijing, 2008. - Abstracts. - Vol. 2. - P. 852.

30. Бабушкин **С.М.** Возможности методов электроразведки с контролируемым источником в нефтеносных районах Сибирской платформы / С.М. Бабушкин, **Н.Н. Неведрова** // Первая международная конференция «Актуальные проблемы электромагнитных зондирующих систем» (Киев, 27-30 сентября 2009 г.). - Киев, 2009. - С. 30-31.

31. **Неведрова Н.Н.** Особенности интерпретации данных электромагнитных зондирований становлением поля для решения нефтепоисковых задач в Западной Сибири / **Н.Н. Неведрова**, А.М. Санчаа // Гео-Сибирь-2012: VIII Международная конференция "Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых" (Новосибирск, 10-20 апреля 2012 г.). - Новосибирск: СГГА, 2012. - Т. 1. - С. 3-8.

32. **Неведрова Н.Н.** Характеристики разломных структур по данным электромагнитных зондирований. Моделирование разломов / **Н.Н. Неведрова**, А.М. Санчаа, И.В. Суродина // Материалы докладов Третьей тектонофизической конференции (Москва, 8-12 октября 2012 г.) - М.: ИФЗ РАН. - Т. 2. - С. 453-456.

Технический редактор Т.С. Курганова

Подписано к печати 06.11.2013

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

Печ.л. 2,0. Тираж 140. Зак № 103

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