На правах рукописи

СУРИНА Олеся Викторовна

СТРОЕНИЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЛИТОСФЕРЫ СРЕДНЕГО ЗАУРАЛЬЯ ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ И ГРАВИТАЦИОННЫМ ДАННЫМ

Специальность – 25.00.10
Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

Екатеринбург
2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геофизики им. Ю.П. Булашевича Уральского отделения Российской академии наук (ИГФ УрО РАН)

Научный руководитель - *Дьяконова Аза Григорьевна*, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, ФГБУН Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН

Официальные оппоненты: *Писецкий Владимир Борисович*, доктор геолого-минералогических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», заведующий кафедрой геоинформатики

Иголкина Галина Валентиновна, доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО, заведующий лабораторией промысловой геофизики

Ведущая организация - Центр геоэлектромагнитных исследований - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ЦГЭМИ ИФЗ РАН), г. Троицк, Московская область

Защита состоится 28 июня 2012 г. в 12 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 004.009.01, созданного при ФГБУН Институте геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН по адресу: 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 100

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУН Института геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН

Автореферат разослан 25 мая 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук, профессор Ю.В. Хачай

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований определяется необходимостью повышения информативности геофизических методов, направленных на получение знаний о глубинном строении земных недр.

Выбор полигона для проведения исследований – Среднее Зауралье не случаен. К Зауралью относится территория, где герцинские породы Уральской складчатой системы перекрыты чехлом осадочных отложений молодой Западно-Сибирской платформы (ЗСП).

На протяжении почти 35 лет при исследовании глубинных особенностей строения Уральского региона время от времени проводились региональные магнитотеллурические (МТЗ, ГМТЗ) и магнитовариационные (МВП) исследования в ограниченном частотном диапазоне. Впервые на восточной границе с "открытым" Уралом была обнаружена зона аномально высокой проводимости, которая наиболее выражена в среднем сечении Зауралья и трассируется по данным МТЗ вдоль уральских структур на расстояние свыше 1300 км (Краснобаева А.Г., 1969; Дьяконова А.Г., Иванов К.С., 2003). Также получены сведения об электропроводности верхней мантии и астеносферной части разреза с использованием аналоговых кривых ρ_k (методы МТЗ-ГМТЗ). Интерпретация магнитотеллурических данных была выполнена на основе численного (пленочное, двумерное) и физического моделирования (Дьяконова А.Г. и др., 1987, 1999; Результаты глубинного…, 1990). С появлением современной широкополосной цифровой измерительно-вычислительной аппаратуры появилась возможность получения более полной информации об электрических параметрах разреза в диапазоне глубин от первых метров до сотен километров. В 2005÷2006 гг. были проведены экспериментальные исследования вдоль геотраверса протяженностью порядка 1000 км от пос. Аскино (Башкортостан) на западе до г. Тюкалинска (Омская обл.) на востоке с апостериорной проверкой ранее полученных результатов (Строение тектоносферы Урала…, 2008). Геотраверс в среднем сечении совпадал со Свердловским профилем ГСЗ и пересекал все зоны уральской складчатой области с выходом на структуры восточной части Восточно-Европейской платформы и ЗСП. В 2006-2010 гг. для получения более представительных материалов по Среднему Зауралью, подобные исследования были выполнены по северной и южной рассечкам относительно Свердловского геотраверса. В построенных автором геоэлектрических разрезах по трем исследуемым профилям получены новые сведения о структурно-тектоническом строении и расслоенности пород осадочного чехла и фундамента по электрическим параметрам в сравнении с ранее сложившимися геолого-геофизическими представлениями о строении верхних частей коры в условиях, когда роль геоэлектрики при региональных исследованиях была ничтожно мала.

За многолетний период изучения Урала и ЗСП накоплен обширный геолого-геофизический материал, однако более детально исследованы и разносторонне проанализированы лишь сведения о мезокайнозойском чехле, в отличие от фундамента платформы. Это связано с тем, что глубокие скважины,

вскрывавшие комплекс палеозойских пород на незначительную глубину, имеются в недостаточном количестве. Между тем, именно строение фундамента в данном регионе несет основную смысловую нагрузку, обусловленную процессами, связанными с развитием и формированием Уральской складчатой области и Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна. Низкий уровень изученности физических свойств горных пород палеозойского основания приводит к противоречивым толкованиям получаемых результатов и к необходимости привлечения дополнительной информации по данным других геофизических методов.

В процессе проведения региональных электромагнитных исследований в Уральском регионе обнаружена пространственная связь аномалий гравитационного поля с особенностями расслоенности коры по электрическим параметрам. Это послужило основанием для разработки метода моделирования распределения плотности в верхних частях земной коры, основанного на результатах электромагнитных исследований и гравитационных данных при построении согласованных электрогравитационных моделей.

Цель и задачи исследований. Цель исследований заключалась в изучении строения верхней части литосферы по трем субширотным геотраверсам Среднего Зауралья на основе электромагнитных и гравитационных данных.

Для реализации поставленной цели решались следующие **задачи**:

– построение геоэлектрических разрезов на основе фактического материала, полученного сотрудниками Института геофизики УрО РАН в результате комплексных электромагнитных исследований с искусственным источником поля (ИЭМЗ) и магнитотеллурического зондирования (АМТЗ-МТЗ-ГМТЗ) по трем субширотным геотраверсам Среднего Зауралья;

– выделение участков аномально высокой проводимости литосферы с привязкой к структурно-тектоническим зонам, установленным на геологических картах с поверхности Земли;

– выявление возможных связей между петрофизическими параметрами пород (удельным электрическим сопротивлением, плотностью и пористостью) на основе анализа результатов лабораторных измерений на образцах горных пород по литературным источникам и фондовым материалам;

– разработка методики моделирования распределения плотности земной коры в блоках, выделенных по электромагнитным данным и построение согласованных электрогравитационных моделей по трем исследуемым профилям до глубин 30-40 км;

– увязка полученных результатов с особенностями структурно-тектонического строения рассматриваемой территории с привлечением данных других независимых методов: электроразведки на постоянном токе (ВЭЗ, ДЭЗ, БКЗ), сведений о составе фундамента по данным глубоких скважин и результатов измерений удельного электрического сопротивления, плотности, пористости в лабораторных условиях на образцах горных пород.

Фактический материал и методы исследования. В основу диссертации положены результаты комплексных электромагнитных зондирований (ИЭМЗ-АМТЗ-МТЗ-ГМТЗ), проведенных в 2005-2010 гг. на исследуемой территории сотрудниками Института геофизики УрО РАН.

Численное моделирование электромагнитных полей выполнялось по программам, разработанным ведущими российскими учеными (Э.Б. Файнберг, И.А. Варенцов, И.Л. Варданянц, Л.Н. Порохова и др.). При построении плотностных моделей использовалась программа Н.П. Кострова, расчетный блок которой интегрирован в GIS Arcview.

Для изучения петрофизических параметров горных пород использовались фактические материалы, полученные И.И. Бредневым и А.А. Редозубовым по результатам измерений на образцах керна скважин по ряду месторождений Урала, а также литературные и фондовые материалы. В работе использовался следующий картографический материал: гравиметрическая карта масштаба 1:1000000 (ПГО "Уралгеология"), карты магнитных аномалий масштабов 1:500000 и 1:2500000 (Е.М. Ананьева, С.В. Шебухова и др., 1986), геологическая карта досреднеюрского фундамента Среднего и Южного Зауралья масштаба 1:500000 (Н.Б. Малютин, 1964) и тектоническая карта Урала масштаба 1:1000000 (под ред. И.Д. Соболева, 1986).

Защищаемые положения:

1. Построены геоэлектрические разрезы литосферы Среднего Зауралья по профилям (Асбест-Тюмень, Свердловскому, Шадринскому) в диапазоне глубин от первых метров до сотен километров по данным комплексных электромагнитных исследований. Получена новая информация об электропроводности земной коры и верхней мантии Среднего Зауралья.
2. Выявлены корреляционные зависимости между удельным электрическим сопротивлением и плотностью горных пород Урала по данным петрофизических исследований керна скважин. Рост пористости изверженных водонасыщенных пород до 4 % вызывает уменьшение величины удельного электрического сопротивления на несколько порядков и практически не сказывается на плотности пород.
3. Разработан метод моделирования распределения плотности в верхних частях земной коры, основанный на результатах электромагнитных исследований и гравитационных данных. Построены согласованные электрогравитационные модели по трем профилям Среднего Зауралья до глубин 30-40 км.

Научная новизна.

1) Построены геоэлектрические разрезы (модели) по трем субширотным геотраверсам (Асбест-Тюмень, Свердловский и Шадринский) на основе экспериментальных материалов индуктивных электромагнитных исследований методами ИЭМЗ-АМТЗ-МТЗ-ГМТЗ, выполненных на территории Среднего Зауралья.
2) Получена новая информация об электропроводности коры и верхней

мантии Среднего Зауралья.

– Установлена расслоенность осадочных отложений платформенного чехла и фундамента по удельному электрическому сопротивлению.

– В геоэлектрических разрезах отчетливо прослежены на глубину границы тектонических структур первого порядка, разделяющих Восточно-Уральский прогиб, Зауральское поднятие и Тюменско-Кустанайский прогиб.

– Исследована зона аномально высокой проводимости коры в пределах Камышловского мегантиклинория и Талицкого мегасинклинория, в которой располагаются триасовые грабены восточного склона Урала.

– Установлены отличительные особенности глубинного строения литосферы приуральской части Западной Сибири и "открытого" Урала. В пределах Среднего Зауралья на глубинах от 60 км и более выделены астеносферные проводники, носящие очаговый локальный характер отдельных астенолинз, которые отсутствуют под "открытым" Уралом.

3) Выполнен анализ петрофизических свойств горных пород (удельное электрическое сопротивление, плотность и пористость) Урала и Западной Сибири, полученных по данным измерений на образцах керна скважин и наземных методов электрометрии. Выявлены корреляционные зависимости между удельным электрическим сопротивлением плотностью и пористостью пород.

4) Предложен метод моделирования распределения плотности верхней части земной коры в блоках, выделенных по электромагнитным данным. Построены согласованные электрогравитационные модели по трем исследуемым профилям Среднего Зауралья.

Личный вклад. Автор принимал участие на этапе обработки первичного материала электромагнитных исследований, при построении геоэлектрических разрезов с помощью численного моделирования электромагнитных полей, при оформлении и написании совместных научных работ.

Исследованы зависимости между плотностью, удельным электрическим сопротивлением и пористостью образцов горных пород на основе фактических материалов, полученных И.И. Бредневым и А.А. Редозубовым в результате измерений петрофизических параметров на образцах (более 5000) керна скважин по ряду месторождений Урала.

Автором разработан и реализован на практических примерах подход к построению согласованных электрогравитационных моделей верхней части земной коры до глубин 30-40 км по трем субширотным геотраверсам. Для сравнения полученных в моделях оценок удельного электрического сопротивления и плотности были привлечены результаты независимых электроразведочных методов на постоянном токе (ВЭЗ, ДЭЗ, каротажа), БКЗ глубоких скважин на Лучинкинской, Тюменской, Луговской, Кузнецовской, Покровско-Ивлевской, Заводоуковской площадях, а также обобщенные данные измерений плотности на образцах для различных типов горных пород. Анализ сравнения показал их сопоставимость.

Теоретическая и практическая значимость. В работе получена новая информация об электропроводности коры и верхней мантии приуральской части Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна.

Построенные модели распределения плотности в верхних частях земной коры позволяют в дальнейшем использовать эти данные для изучения вещественного состава пород осадочного чехла и фундамента Среднего Зауралья. Предложенный метод построения электрогравитационных моделей может быть использован при изучении глубинного строения различных регионов.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 22 работы, в том числе 5 без соавторов, глава в монографии в соавторстве и 2 статьи в рецензируемых научных изданиях из списка, определенного Высшей аттестационной комиссией.

Апробация результатов. Работа над диссертацией была связана с выполнением исследований по плановым темам НИР Института геофизики им. Булашевича УрО РАН: “Развитие методов электрометрии с естественными и контролируемыми источниками электромагнитного поля” 2009-2011 гг., номер государственной регистрации 01.2. 00 901716.

Тематика была поддержана программами фундаментальных исследований № 7 (“Физические поля Земли и динамика межгеосферных взаимодействий”) Отделения наук о Земле РАН №№ 09-Т-5-1024, 12-Т-5-1020, грантом РФФИ № 04-05-64101, а также грантами научных проектов молодых ученых и аспирантов УрО РАН (2008, 2010 гг.).

Основные результаты работы были представлены на всероссийских и международных научных конференциях и симпозиумах: Геофизические чтения им. В.В.Федынского (Москва, 2003, 2007, 2008), Уральская молодежная научная школа по геофизике (Екатеринбург, Пермь, 2003, 2009, 2010, 2011, 2012), IX чтения А.Н. Заварицкого (Екатеринбург, 2003), “Нефть и газ Западной Сибири” (Тюмень, 2003), XXXVII Тектоническое совещание (Новосибирск, 2004), IUGG General Assembly, Session JAS004 on “Methodology in EM studies: Theory, modeling and inversion” (Perugia, Italy, 2007), Всероссийская молодежная научная конференция с участием иностранных ученых “Трофимуковские чтения–2008” (Новосибирск, 2008), IAGA, 11th Scientific Assembly (Sopron, Hungary, 2009), Всероссийская школа-семинар по электромагнитным зондированиям Земли (Москва, 2009; Санкт-Петербург, 2011), International Workshop on EM Sounding in memory of Professors Mark N. Berdichevsky and Peter Weidelt (Москва, 2010).

Благодарности. Автор выражает особую признательность инициатору настоящей работы – главному научному сотруднику Института геофизики УрО РАН, д.г.-м.н. Азе Григорьевне Дьяконовой за постановку задачи, ценные советы, замечания, настойчивость и поддержку в написании диссертации, многократные обсуждения основных положений которой, существенно усовершенствовали ее форму и содержание.

Автор благодарен коллегам лаборатории электрометрии Института геофизики УрО РАН: П.Ф. Астафьеву, С.В. Байдикову, В.С. Вишневу, А.Д. Коноплину, А.И. Сарвартинову, А.И. Человечкову за сотрудничество и творческое участие при проведении экспериментальных работ, без которых успешное завершение данной работы было бы невозможным. Благодарю директора Института геофизики УрО РАН, чл.-корр. РАН П.С. Мартышко и зав. лаборатории электрометрии, к.т.н. А.Н. Ратушняка за благожелательное отношение к работе.

Также благодарю д.г.-м.н. К.С. Иванова за плодотворное сотрудничество и полезные обсуждения при геологическом истолковании полученных результатов.

Автор не может не вспомнить о поддержке и первых научных наставлениях со стороны ушедшего из жизни д.г.-м.н., профессора В. В. Кормильцева.

Искренне благодарю д.г.-м.н., профессора А.А. Редозубова (УГГУ) за предоставление уникального материала, по измерению физических параметров (плотности, удельного электрического сопротивления и пористости) на одних и тех же образцах изверженных горных пород по ряду месторождений Урала.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Содержание, изложенное на 121 страницах машинописного текста, включает 28 рисунков и 9 таблиц. Список литературы содержит 125 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность выбранной темы, определены цель и задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость диссертации, сформулированы выносимые на защиту положения, приведены апробации результатов исследования.

Глава 1. Геолого-геофизическая изученность Среднего Зауралья включает в себя характеристику геологического строения исследуемого региона и краткий обзор региональных исследований, проводившихся на территории Урала и прилегающей к нему части Западно-Сибирской платформы (ЗСП). В пределах исследуемой территории различными организациями выполнен значительный объем поискового и разведочного бурения, который был приурочен, в основном, к перспективным нефтегазоносным районам. Однако количество скважин, вскрывавших комплекс палеозойских пород, не велико. Представления о глубинном строении Среднего Зауралья получены по данным геофизических исследований методами: сейсмометрии, гравиметрии, магнитометрии, электрометрии, геотермии и др.

Западно-Сибирская платформа является прототипом молодой платформы. Она захватывает огромную территорию (около 3,4 млн. км^2), на которой

палеозойский складчатый фундамент различного возраста перекрыт мощным чехлом мезозойских отложений.

На обзорной схеме (рис. 1) ЗСП представляется, как чашеобразная геосинеклиза, окруженная со всех сторон складчатыми системами Урала, Центрального Казахстана, Горного Алтая, Кузнецкого Алатау, Восточного Саяна, Вдоль р. Енисей под мезокайнозойский чехол погружается древний фундамент Сибирской платформы. Структура ЗСП в плане резко ассиметрична. Она характеризуется крутыми северным и восточным и пологими западным и южным бортами. Максимальные глубины до фундамента в центральной и южной частях ЗСП составляют порядка 2,5-3 км, в Среднем Приобъе – 3-4 км.

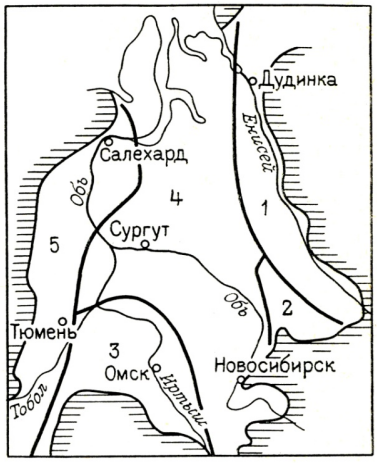

Рис. 1. Схематическое тектоническое районирование территории Западно-Сибирской платформы (Сурков В.С., Жеро О.Г., 1981)
Регионы: 1 – Приенисейский; 2 – Приалатауский; 3 – Приказахстанский; 4 – Центрально-Западносибирский; 5 – Приуральский

Всестороннее изучение ЗСП началось с 1932-1934 гг. и интенсивно продолжается в настоящее время, поскольку эта провинция является основным поставщиком нефти и газа России. По мере накопления новых данных уточняются представления об особенностях строения отдельных участков платформы и их связи с глубинным строением по геофизическим данным. Опубликовано большое количество монографий и обобщений.

Круг вопросов, рассматриваемый в данной работе охватывает территорию приуральской части ЗСП в среднем ее сечении, именуемой геологами Средним Зауральем.

Палеозойские породы фундамента, принадлежащие Уральскому геосинклинальному комплексу, в Зауралье образуют сложно построенную складчатую систему, сформировавшуюся в период проявления герцинского орогенеза. В западных районах складчатые и разрывные нарушения начались раньше и проявлялись интенсивнее, чем в восточных. Направление складчатости меридиональное и северо-восточное, т.е. совпадающее с направленностью структур “открытого” Урала. К фундаменту относят структурный комплекс, начинающийся нижне-среднеюрскими (J_1-J_2) отложениями в районах, где фундамент консолидировался в герцинский цикл тектогенеза, и нижнеюрскими (J_1) – с более древней его стабилизацией (Сурков В.С., Жеро О.Г., 1981). В составе фундамента выделяются два структурных этажа:

– нижний структурный этаж (складчатый фундамент) сложен геосинклинальными формациями. Это глубоко метаморфизированные, сильно дислоцированные породы докембрия (?) и палеозоя, прорванные интрузивными образованиями различного состава и возраста;

– верхний этаж фундамента, занимающий промежуточное положение между складчатым основанием и типично платформенными образованиями (чехлом). Он включает комплексы пород, соответствующие двум этапам развития – орогенному и переходному (P-T). Этот структурный этаж представлен: 1) верхнепалеозойскими и нижнемезозойскими орогенными отложениями герцинид; 2) образованиями нижнего, среднего и верхнего палеозоя, залегающими на каледонском основании. Они состоят из полуплатформенных и платформенных образований, заполняющих впадины наложенного типа.

В истории развития рельефа фундамента можно выделить три главных этапа:

1) T-J_1, характеризующийся резко выраженным тектоническим перестроением поверхности ранее существовавших на востоке низкогорных каледонских и герцинских складчатых сооружений и образованием на их месте Западно-Сибирской низменности. Главная роль принадлежала дизъюнктивным дислокационным и нисходящим блоковым движениям.Одновременно с образованием глыбового рельефа началось выполаживание резко выраженных тектонических уступов, заполнение впадин терригенным материалом и лавами, изменение которых происходило в зонах наиболее крупных разломов (T_1-T_2).

2) J_2-раннемеловой, характеризующийся более устойчивым тектоническим режимом и погружением всей территории Среднего Зауралья. Вначале этапа происходило омоложение рельефа (J_2).

3) Олигоценовый этап ознаменовался воздыманием всей территории и кратковременными сбросово-сбвиговыми деформациями в фундаменте, в результате чего происходит обновление ранее существовавших форм (выступов, горстов, впадин) и местами возникновение новых тектонических структур, незначительных по размерам.

Мезокайнозойские отложения образуют сплошной платформенный чехол в восточном обрамлении палеозойского Урала (Зауралье). В его строении участвуют осадочные породы всех систем мезозойской и кайнозойской эпох. Достигая значительных мощностей по периферии (до 3 км), мезокайнозойский чехол выполаживается к “открытому” Уралу, где его строение наиболее изменчиво и разнообразно.

Начало формирования платформы уральские геологи относят к раннему триасу (Сигов А.П., 1969; Соболев И.Д., 1969 и др.), хотя существуют другие взгляды на этот вопрос, к примеру, В.Е. Хаин выделяет особую тафрогенную заключительную стадию в развитии геосинклиналей, соответствующую в нашем представлении начальной стадии развития платформы (Хаин В.Е., 1964).

Мезокайнозойский платформенный чехол по вертикали расчленяется на крупные структурные ярусы, отвечающие основным тектоническим этапам развития платформы, отражающие основные структурные и следующие за ними климатические перестройки. Внутреннее строение каждого яруса определяется размещением в нем геологических формаций, при выделении основных типов которых главным фактором был литолого-палеогеографический, отражающий совместное влияние тектоники и климата.

Главнейшие черты строения Уральской складчатой системы в ее современном состоянии определяются отчетливо выраженными линейно протягивающимися вдоль всего Урала и сменяющими друг друга вкрест простирания его структурными зонами. Разные по знаку, а также по внутреннему строению, по характеру и составу слагающих пород, эти зоны рассматриваются как крупнейшие структуры первого порядка. На рассматриваемой территории Уральская складчатая система представлена следующими тектоническими структурами: восточная часть Восточно-Уральского прогиба (X), огромное тектоническое сооружение – Зауральское поднятие (XI) и частично Тюменско-Кустанайский прогиб (XII). Каждая из них делится на ряд более мелких геологических структур (рис. 2). Геологическое строение перечисленных структур базируется на материалах бурения немногочисленных скважин крайне неравномерно распределенных на рассматриваемой территории и результатов геофизических исследований.

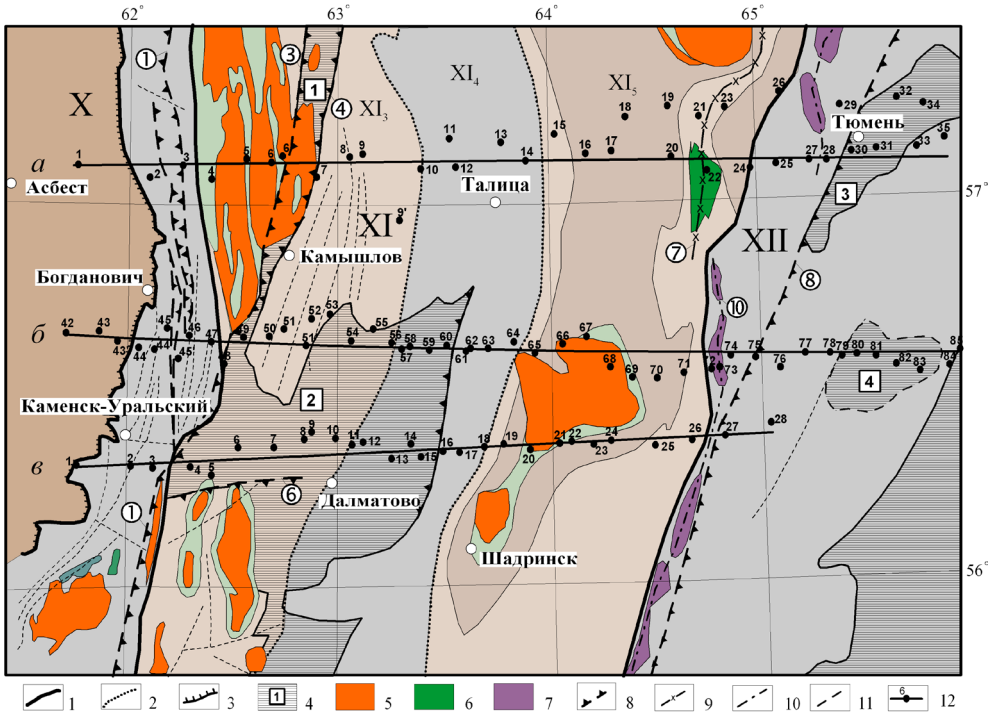

Рис. 2. Схема структурно-тектонического районирования Среднего Зауралья (Малютин Н.Б., 1964)

1 – границы структур I порядка: X - Восточно-Уральский прогиб, XI - Зауральское поднятие, XII - Тюменско-Кустанайский прогиб; 2 – границы структур II порядка: XI_3 - Камышловский мегантиклинорий, XI_4 - Талицкий мегасинклинорий, XI_5 - Ницинско-Шадринский мегантиклинорий; 3 – граница “открытого” Урала; 4 – тектонические и эрозионно-тектонические впадины в палеозойском фундаменте: [1] - Анохинская, [2] - Ильинско-Борисовская и Далматовская, [3] - Тюменская, [4] - Архангельская; 5 – гранитовые субформации: граниты нормальные; 6 – габбро; 7 – сильно серпентинизированные ультрабазиты; 8 – глубинные разломы, обусловленные появлением траппового магматизма: ① - Бичурско-Копейский, ③ - Анохинский, ④ - Ирбитский, ⑥ - Далматовский, ⑧ - Тюменско-Ливановский; 9 – глубинный разлом с интрузией базитов: ⑦ - Лучинский; 10 – глубинный разлом с интрузиями гипербазитов: ⑩ - Владимирско-Каргапольский; 11 – тектонические нарушения; 12 – пункты зондирований и профили наблюдений: *а* - Асбест-Тюмень, *б* - Свердловский, *в* - Шадринский

Глава 2. Геоэлектрические разрезы литосферы Среднего Зауралья по данным геоэлектрики. В данной главе описаны методические основы построения геоэлектрических разрезов включая комплексирование методов геоэлектрики, обработку экспериментального материала и интерпретацию данных на современном уровне с использованием численного моделирования электромагнитных полей.

Впервые в практике электроразведки на базе измерительно-вычислительных систем “Феникс” (Канада) и “Метроникс” (Германия) с привлечением высокочастотной аппаратуры МЧЗ-8, АМТЦ (институт геофизики УрО РАН) удалось объединить в единый комплекс индукционное зондирование с искусственным источником (ИЭМЗ) и магнитотеллурические (АМТЗ-МТЗ-ГМТЗ) методы с естественным источником поля. Это позволило получать сведения о геоэлектрическом разрезе в диапазоне глубин от первых метров до 100 и более километров без привлечения априорной информации о разрезе по данным других геофизических методов.

Возможности геоэлектрики на современном уровне развития показаны на примере геотраверса, пересекающего все структурно-тектонические зоны среднего сектора Урала, протяженностью порядка 1000 км от пос. Аскино (Башкортостан) на западе до г. Тюкалинска (Омская обл.) на востоке со сгущением сети, ранее проведенных наблюдений (Дьяконова А.Г. и др., 2008; Surina O.V., Dyakonova A.G., 2009). В настоящей работе рассматривается отрезок этого геотраверса протяженностью ~ 250, совпадающий со Свердловским профилем ГСЗ. Для получения более представительных материалов по Среднему Зауралью, в 2006-2010 гг. подобные исследования были выполнены по северной и южной рассечкам относительно Свердловского геотраверса (рис. 2, *а*, *в*).

В общей сложности обработка полевых материалов была выполнена в 106 пунктах электромагнитных зондирований. При построении геоэлектрических разрезов использовались наименее искаженные амплитудно-фазовые кривые $\rho_к$, как правило, это субмеридиональные квазипродольные кривые что в двумерных моделях соответствует Е-поляризованному полю. Дополнительным критерием степени достоверности полученных данных служило согласование левых ветвей Х-кривых с рассчитанными значениями $\rho_к$ по данным индукционного зондирования, а также совпадение нисходящих ветвей кривых ГМТЗ в низкочастотном диапазоне с глобальной континентальной магнитовариационной кривой $\rho_Т$.

Многочисленные расчеты параметров разреза верхних частей литосферы выполнялись с использованием численного моделирования в одномерной среде (программы А.А. Бобачева, Э.Б. Файнберга). На заключительном этапе разработки моделей использовалась инверсионная автоматизированная программа Л.Н. Пороховой (Кафедра физики Земли СПбГУ), позволяющая исследовать тонкую структуру геоэлектрического разреза, исходя из предположения о градиентном изменении сопротивления с глубиной и без привлечения априорной информации о среде.

В результате обработки и интерпретации электромагнитных данных по исследуемым пересечениям были построены геоэлектрические модели земной коры и верхней мантии (рис. 3-5).

В геоэлектрических разрезах осадочный чехол представлен несколькими слоями переменной мощности и сопротивления (1÷10 Ом·м). Глубже выделяются осадки, включающие терригенные породы с повышенным удельным сопротивлением (10÷30 и более Ом·м). Иногда они изогнуты в складки, повторяющие изогипсы палеозойского фундамента.

Четко отмечается блоковое строение фундамента, разделенное глубинными разломами. Высокоомные породы, которые на Урале выходят на поверхность (X, на рис. 3-5), с сопротивлением более 1000 Ом·м, в Зауралье погружаются на глубины порядка 5-10 км. На Шадринском профиле наблюдается сокращение мощности этих пород в восточном направлении.

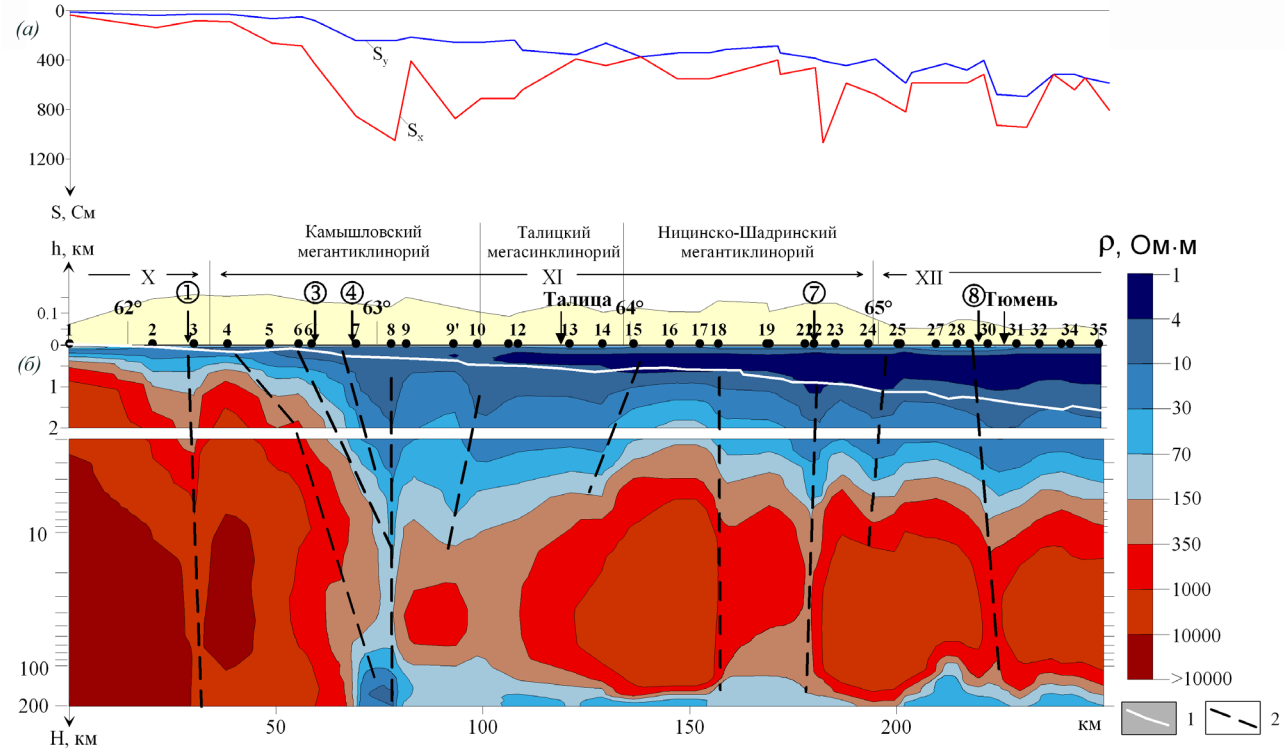

Рис. 3. Геоэлектрический разрез земной коры и верхней мантии по профилю Асбест-Тюмень (Сурина О.В., 2011, 2012)

(а) - суммарная продольная проводимость литосферы для меридионального (S_x) и широтного (S_y) направлений; (б) - геоэлектрический разрез. 1 – граница доюрского фундамента по геологическим данным; 2 – предполагаемые разломы, выделенные по данным электромагнитных исследований

На всех трех профилях выделяется ослабленная зона аномально высокой проводимости литосферы в пределах Камышловского мегантиклинория и Талицкого мегасинклинория, которая трассируется по данным МТЗ вдоль уральских структур на расстояние свыше 1300 км. На графиках суммарной продольной проводимости, определенной по восходящим ветвям кривых ρ_k в среднепериодном диапазоне, она выделяется локальными участками резких горизонтальных градиентов электропроводности (рис. 3-5, *а*). Значения

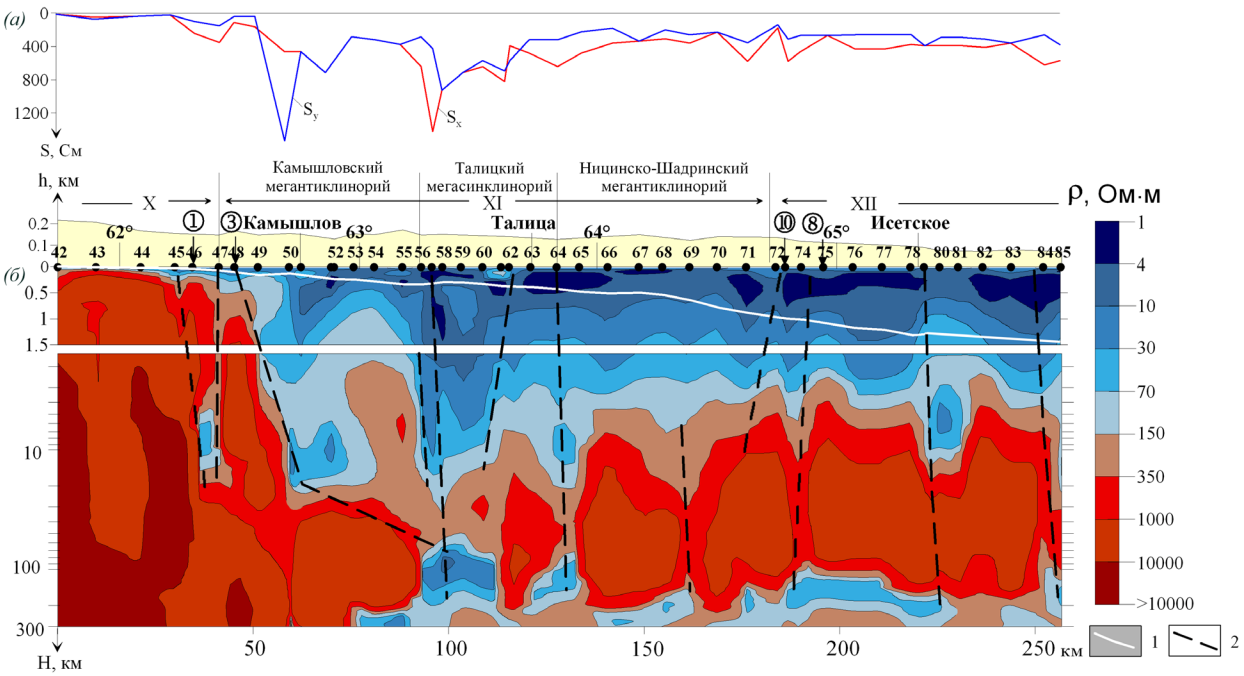

Рис. 4. Геоэлектрический разрез земной коры и верхней мантии по Свердловскому профилю (Surina O.V., Dyakonova A.G., 2010; Сурина О.В., 2010, 2012). Условные обозначения на рис. 5.

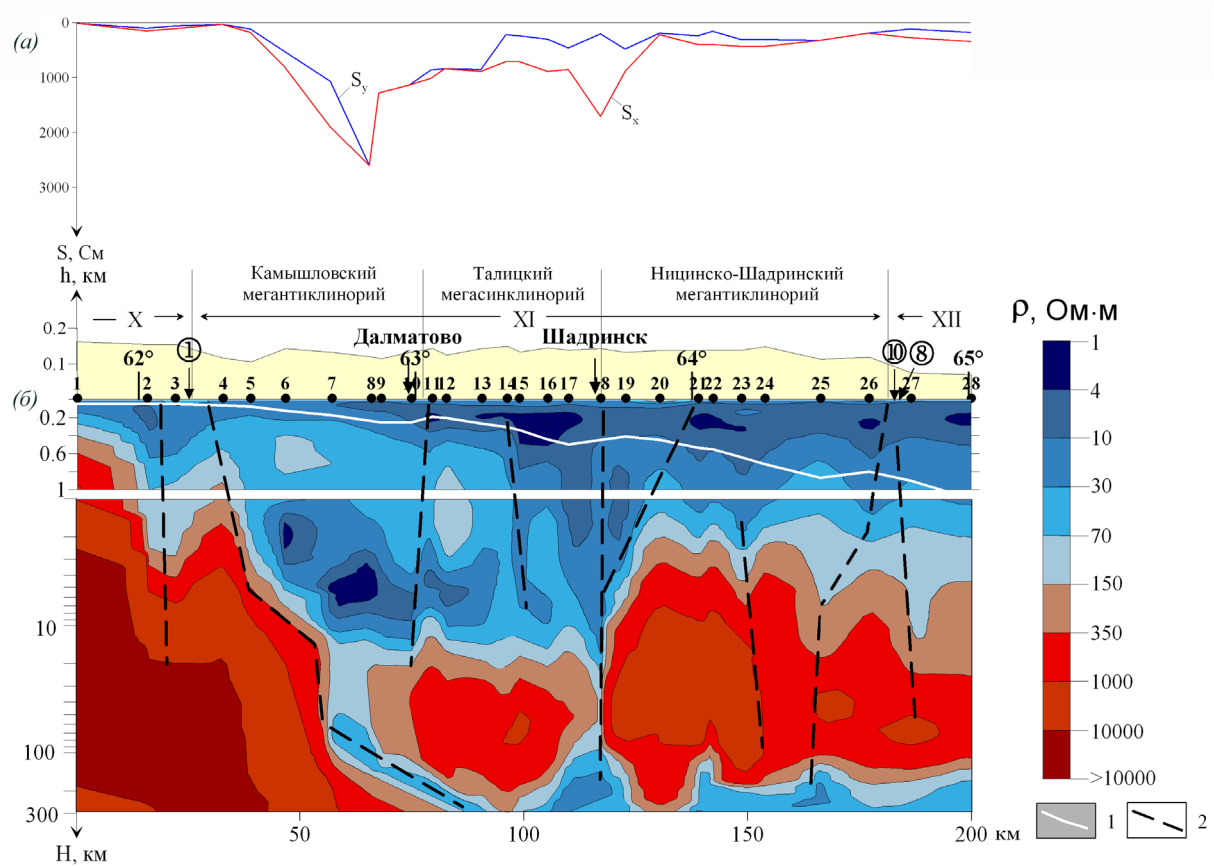

Рис. 5. Геоэлектрический разрез земной коры и верхней мантии по Шадринскому профилю (Сурина О.В., 2011, 2012)

(а) - суммарная продольная проводимость литосферы для меридионального (S_x) и широтного (S_y) направлений; (б) - геоэлектрический разрез. 1 – граница доюрского фундамента по геологическим данным; 2 – предполагаемые разломы, выделенные по данным электромагнитных исследований

суммарной продольной проводимости литосферы здесь достигает сотен и даже нескольких тысяч См на фоне единиц и десятков См, характерных для “нормальных” разрезов открытой части Урала. Складчатый фундамент в аномальной зоне значительно переработан. Выделенная зона, горизонтальный размер которой составляет 60-80 километров, прослеживается на большие глубины вплоть до астеносферного проводника. Границы зоны тектонические. К западному ее крылу приурочены глубинные разломы листрического характера, обусловившие появление траппового магматизма, а восточная граница выделяется крутыми глубинными разломами. Пространственно к этой зоне приурочено большинство выделенных на рис. 2 грабен-рифтов, заполненных эффузивно-осадочными породами с сопротивлением 30-150 Ом·м.

В процессе исследований выполнено сопоставление результатов индуктивной электроразведки с материалами, полученными для верхних частей разреза Зауралья по данным каротажа скважин и электроразведки методом ВЭЗ с АВ=2000 м (Е.М. Ананьева, Б.В. Дорофеев, 1960). Несмотря на то, что глубинность метода с данным разносом не превышала 300 м, были получены оценки удельного сопротивления осадочных мезокайнозойских отложений в зависимости от глубины залегания палеозойского фундамента (h). В западной зоне (h_1<100 м) сопротивление (ρ_1) изменяется от 10 до 50 Ом·м. При погружении фундамента на глубины свыше 100 м наблюдается устойчивое уменьшение ρ_1 по направлению с запада на восток. Так, к примеру, при h_1<100 м (ρ_1=10 Ом·м), для h_1=200 м (ρ_1=5 Ом·м), а при h_1>300 м (ρ_1=3,2 Ом·м). Также выполнено сопоставление результатов детальных исследований методами ВЭЗ и ДЭЗ с разносами линий от 650 м до 4500 м с данными бурения скважин (Р-2 и Р-3) на Заводоуковской площади. В скв. 2 фундамент вскрыт на глубине 1172 ÷ 1570 м, где встречены туфы и порфириты, которые переслаиваются между собой. В скв. 3 интервал 1221 ÷ 1319 м представлен отложениями глин, наблюдаются прослои песчаников и алевролитов. Результаты интерпретации ВЭЗ представлены на рис. 6 (А.Н. Тихонов, Н.П. Владимиров, 1952 г.), здесь же для сравнения приводятся кривые комплексных электромагнитных зондирований (ИЭМЗ-АМТЗ-МТЗ-ГМТЗ), проведенных на Заводоуковской площади вблизи пробуренных скважин.

Анализ результатов электроразведки на постоянном токе (ВЭЗ, ДЭЗ), результатов БКЗ глубоких скважин на Лучинкинской, Тюменской, Покровско-Ивлевской, Луговской, Кузнецовской, Заводоуковской площадях показал следующее: N-Q отложения, включающие глины с песком (озерные), характеризуются удельным сопротивлением 20÷70 Ом·м, $\bar{\rho}$ для недислоцированных осадочных пород (глин, песчаников, алевролитов, опок) Pg_3-J_3 по всей площади ≈ 3,4 Ом·м, для углисто-глинистых-кремнистых сланцев $\bar{\rho}$ ≈ 10 Ом·м.Основным маркирующим горизонтом для ВЭЗ являлись образования осадочного чехла с удельным электрическим сопротивлением 3÷10 Ом·м. Доюрский фундамент (?) для ВЭЗ не всегда являлся горизонтом высокого сопротивления, поскольку скважины подсекали различные по составу и возрасту породы, $\bar{\rho}$ изменялось в широких пределах от 6 до 50 Ом·м (Pz ?) и от 50 до 500 и более Ом·м для отложений Р-Т.

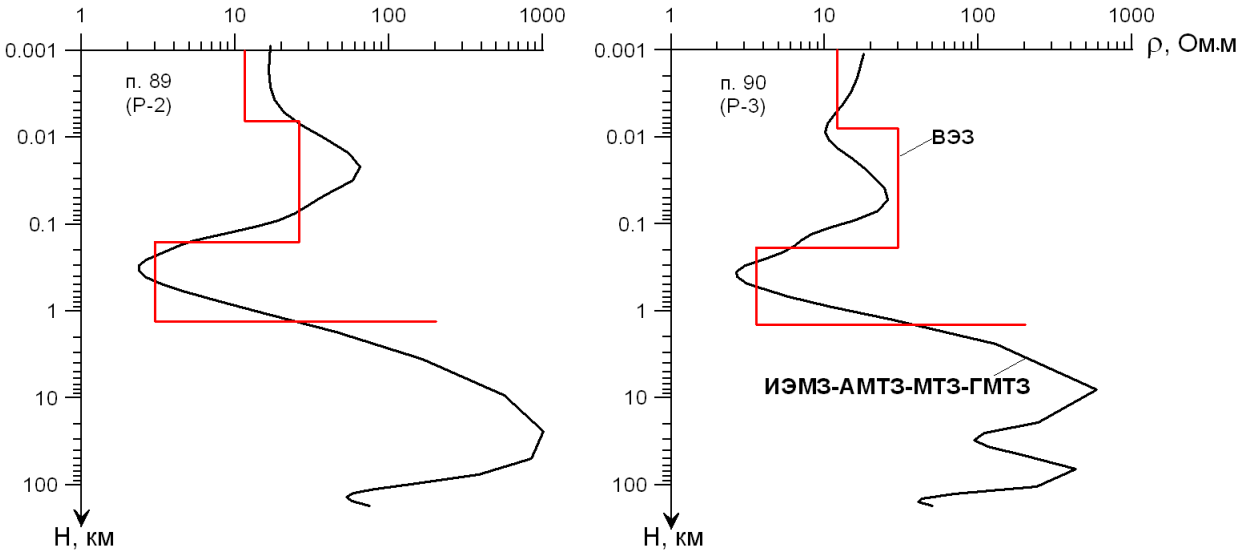

Рис. 6. Сопоставление результатов интерпретации методов постоянного тока (ВЭЗ) и комплексного электромагнитного зондирования (ИЭМЗ-АМТЗ-МТЗ-ГМТЗ) на Заводоуковской площади (Сурина О.В., Дьяконова А.Г., 2008)

Выводы

- Установлена расслоенность осадочных отложений платформенного чехла.
- Выявлено двухъярусное строение фундамента, что является важным моментом и требует привлечение дополнительной информации о его составе для объяснения этой особенности по данным гравиметрии, включая анализ плотностных и электрических свойств среды.
- Изучена ослабленная зона аномально высокой проводимости в пределах Камышловского мегантиклинория и Талицкого мегасинклинория. Ее западная граница представляет собой комбинацию сбросов и вертикальных разломов, на продолжении которой на юг и на север располагаются триасовые грабены восточного борта Урала.
- Важная особенность геоэлектрических разрезов приуральской части Западной Сибири заключается в различии глубинного строения ее литосферы по сравнению с “открытым” Уралом. Высокоомная земная кора сиалического типа не только погружается под более проводящий чехол вышележащих толщ, но и становится менее мощной и значительно дифференцированной по удельному электрическому сопротивлению в восточной части исследуемой территории.
- Прослеживается связь между крупными структурно-тектоническими элементами, приведенными на геологических картах с особенностями глубинного геоэлектрического разреза. В пределах Среднего Зауралья на глубинах от 60 км и более выделены астеносферные проводники, носящие очаговый локальный характер отдельных астенолинз, которые отсутствуют под “открытым” Уралом.
- Полученные результаты подтверждаются данными абсолютного возраста пород, показывающих, что в истории Западной Сибири в течение триаса неоднократно осуществлялись вспышки тектонической активности мантийного

происхождения, которые привели к образованию системы грабенов, дифференцированным движениям блоков фундамента, к вторичным преобразованиям пород, что определило геодинамический режим седиментации толщ, слагающих осадочный чехол.

Таким образом, по данным геоэлектрики получен уникальный экспериментальный материал, который существенно дополняет представление о глубинном структурно-тектоническом строении приуральской части Западно-Сибирской платформы.

Глава 3. Разработка и построение электрогравитационных моделей Зауралья. Низкий уровень изученности физических свойств горных пород палеозойского основания приводит к неоднозначным и противоречивым толкованиям получаемых результатов по данным различных геофизических методов. Между тем, физические свойства горных пород являются основным связующим параметром, необходимым для наиболее обоснованной интерпретации геофизических полей. От этого зависят наши представления о геологическом строении объекта исследований, как при поисково-разведочных, так и региональных работах.

Учитывая направленность диссертационной работы, в данной главе рассматриваются преимущественно плотностные и электрические характеристики интрузивных, эффузивно-осадочных и эффузивных, метаморфических и осадочных образований. Оценки магнитной восприимчивости пород приводятся для уточнения наиболее значимых элементов согласованных электрогравитационных моделей.

Автором выполнен анализ петрофизических свойств различных классов и групп пород, при выделении которых горные породы подразделяются на крупные генетические типы: магматические (интрузивные и эффузивные), метаморфические и осадочные. По текстурным особенностям выделяются породы с уплотненными и пористыми текстурами, для которых закономерные изменения некоторых физических параметров (плотность, удельное электрическое сопротивление, скорость упругих волн и др.) существенно различны, что необходимо учитывать при разработке комплексных геофизических моделей.

Физические свойства горных пород осадочного чехла, как уже было отмечено, изучены достаточно детально. Плотность осадочных пород определяется в первую очередь, их пористостью, обусловленной структурой, диагенезом пород и в меньшей степени зависит от минерального состава. На изменение удельного электрического сопротивления горных пород в основном оказывают влияние: степень пористости, трещиноватости, проницаемости среды, а также величина минерализации подземных вод. Таким образом, для осадочных образований характерна тесная связь плотности, удельного электрического сопротивления с пористостью.

Для недислоцированных образований осадочного чехла (глин, мергелей, песков, аргиллитов, алевролитов) удельное сопротивление составляет единицы Ом·м (таб. 1). Наиболее высокие значения сопротивлений — первые сотни

Ом·м и более характерны для конгломератов, углистых сланцев, туффитов, песчаников и известняков, которые могут присутствовать, как в осадочном чехле, так и в фундаменте. Это обстоятельство объясняет неоднозначность определения положения границы фундамента по геоэлектрическим данным, что отмечалось ранее и другими исследователями. Однако присутствие в кристаллическом основании магматических и метаморфических пород с удельным сопротивлением в сотни – тысячи Ом·м дает возможность эффективного использования методов геоэлектрики при изучении расслоенности осадочного чехла и складчатого фундамента по электрическим параметрам.

Таблица 1

Удельное электрическое сопротивление пород приуральской части ЗСП по данным каротажных исследований
(В.В. Бояринков, Н.С. Ровинский, П.П. Киселев-Федоров, 1964)

Название пород	**$\rho_к$, Ом·м**
Мезокайнозойские отложения	
глины	2-10
аргиллиты, алевролиты	5-10
пески	5-30
песчаники, конгломераты	20-200
галечники, углистые сланцы, туфы порфиритов, туффиты	100-200
Палеозойские отложения	
глинистые, углистые, кремнистые сланцы	5-10
SiO_2-Cl сланцы, SiO_2серицитовые сланцы, Cl-серицитовые сланцы	90-160
песчаники, конгломераты	20-700
известняки	150-600
массивные граниты	600-1800
разрушенные граниты	180-300
гранодиориты	500-700
массивное габбро	800-2000
разрушенное габбро	250-350
альбитофиры	500-700
туфы порфиритов	100-200
туфы песчаников	80-350

Для отложений фундамента, вне зависимости от петрографических разностей, характерен широкий диапазон изменения плотности, обусловленный различными процессами, протекающими в земной коре (метаморфизм, условия образования и залегания горных пород, температура, давление и т.д.). Перекрытие средних значений этого параметра для различных петрофизических групп горных пород, существенно затрудняет идентификацию пород по плотности и требует привлечения дополнительной информации по данным других геофизических методов.

В процессе исследований автором проанализирован большой объем фактических материалов, полученных И.И. Бредневым и А.А. Редозубовым в результате измерений физических свойств образцов керна скважин по ряду месторождений Урала. Исследована зависимость между плотностью, удельным электрическим сопротивлением и пористостью образцов горных пород.

Поскольку исследования проводились на определенных видах горных пород (некоторых типах интрузивных и эффузивных пород), то полученные результаты не претендуют на универсальность, однако, они показывают, что в естественных условиях для исследуемых горных пород имеют место прямые и обратные зависимости между ρ и σ, обусловленные смешанным типом электропроводности с преобладанием ионной (рис. 7, *а*) и проводимости минерального скелета пород (рис. 7, *б*). В виду того, что невозможно учесть всех факторов (минеральный состав, текстурно-структурные особенности, тип порового заполнителя и т.д.), влияющих на исследуемые свойства, на практике, как правило, корреляционные связи между параметрами в горных породах наблюдаются при их зависимости от одного из факторов и при меньшем влиянии других.

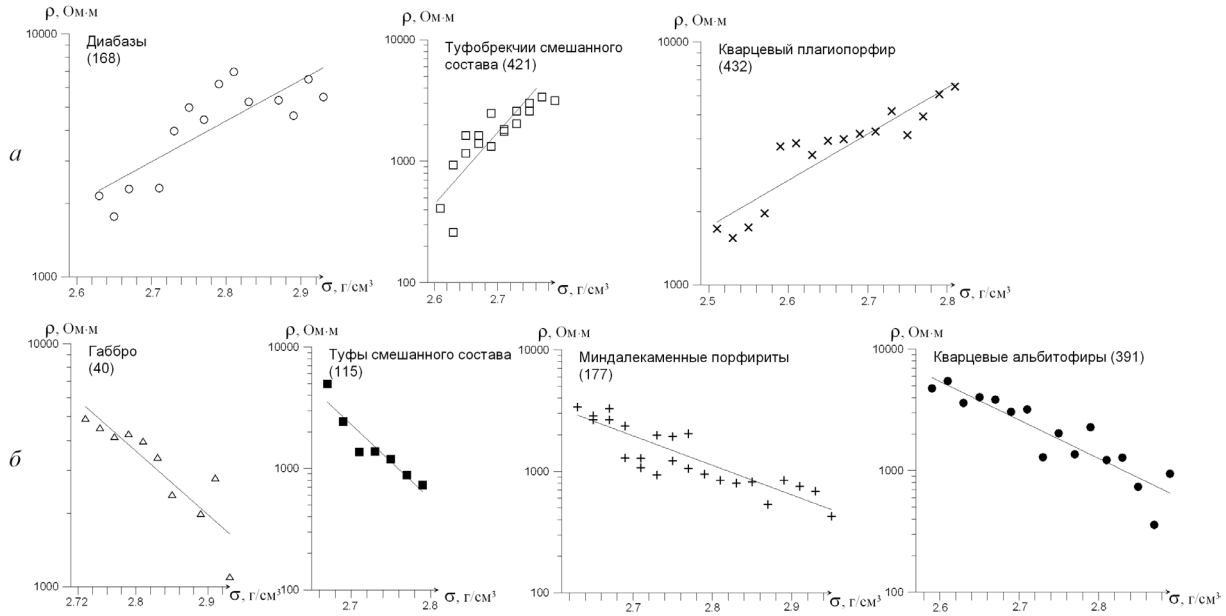

Рис. 7. Зависимость удельного электрического сопротивления от плотности горных пород (по материалам И.И. Бреднева)

Сопоставление значений удельного электрического сопротивления и пористости эффузивных пород (кайнотипных и палеотипных) указывает на наличие корреляционной зависимости между этими параметрами (рис. 8, *а*), а для плотности и пористости, измеренных на тех же образцах горных пород, такой зависимости не наблюдается (рис. 8, *б*). Зависимость построена для значений пористости от 0,1 до 2,6 %, поскольку более высокой пористостью обладали лишь единичные образцы. Коэффициенты корреляции между удельным сопротивлением и пористостью варьировали от 0,77 до 0,93 (577 определений).

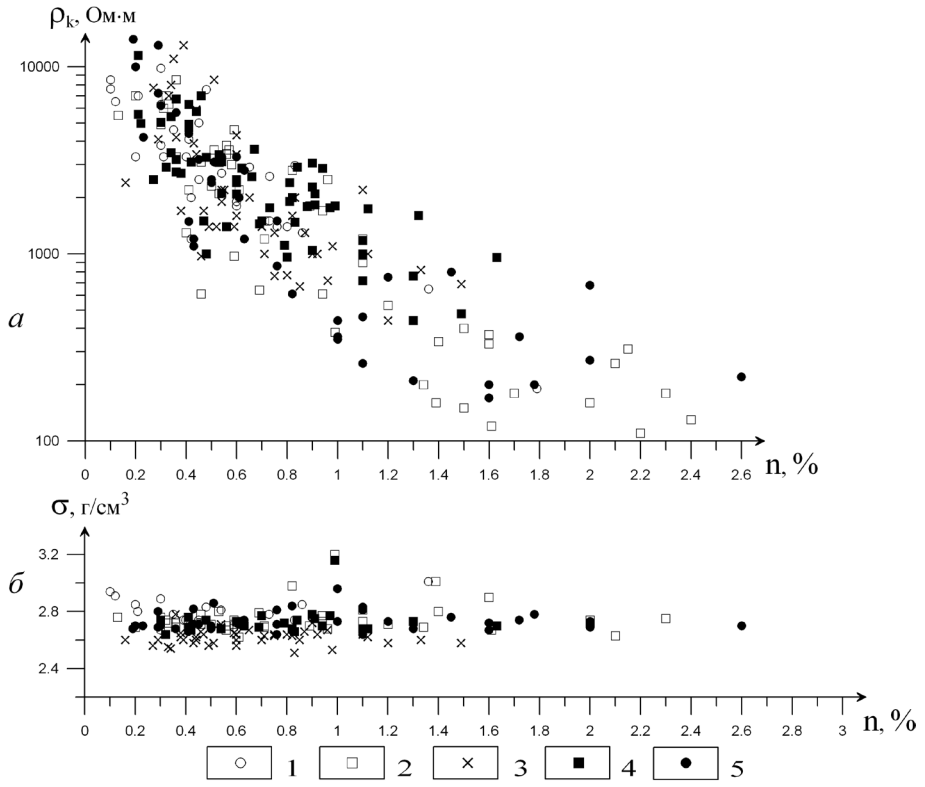

Рис. 8. Зависимость удельного электрического сопротивления (*а*) и плотности (*б*) от пористости (по материалам И.И. Бреднева)
1 – туфы и туфобрекчии смешанного состава; 2 – кварцевые альбитофиры; 3 – кварцевые плагиопорфиры; 4 – диабазы

В данных условиях наиболее информативным параметром является удельное электрическое сопротивление, которое изменяется в зависимости от пористости на несколько порядков.

Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований проанализированы сведения об удельном электрическом сопротивлении, плотности и пористости магматических, метаморфических и осадочных пород Урала и прилегающей к нему части ЗСП, а также исследованы зависимости между этими физическими параметрами. Приведенные данные наглядно демонстрируют, что пористость водонасыщенных горных пород однозначно отражается на величине удельного сопротивления, даже у пород с уплотненными текстурами и на плотности для пород с пористыми текстурами (осадочные образования, кайнотипные эффузивы). Пористость менее 4 % практически не отражается на величине плотности изверженных пород, из чего следует, что изучение такого параметра горных пород, как удельное электрическое сопротивление, позволяет получать обоснованное представление о нарушенности и проницаемости среды, особенностях структурно-тектонического и геологического строения земных недр.

В диссертационной работе автором разработан методический подход к построению согласованных электрогравитационных моделей, сущность которого заключается в следующем:

- выполнение масштабных полевых исследований с применением методов индукционной электроразведки;
- интерпретация наблюденных данных и построение геоэлектрических разрезов строения верхней части литосферы;
- анализ физических свойств пород (удельного электрического сопротивления, плотности и пористости) и установление возможных связей между ними;
- построение согласованных электрогравитационных моделей земной коры;
- увязка полученных результатов с особенностями структурно-тектонического строения рассматриваемой территории.

На основе геоэлектрических разрезов верхней части литосферы, с помощью разработанных Н. Костровым модулей программных средств выполнена интерпретация поля силы тяжести в двумерном варианте. В качестве экспериментального поля использована аномалия Буге масштаба 1:1000000. Геологические образования в модели рассматриваются, как совокупность полигональных объектов произвольного сечения с неограниченным числом вершин, каждый из которых наделен постоянной плотностью и намагниченностью. Это дает возможность получать в цифровом виде координаты всех вершин и с помощью математического блока рассчитывать модельные кривые. Расчетный блок программы органично интегрирован в ГИС ArcView и основан на формулах для комплексного логарифмического потенциала притяжения и формулах Пуассона-Этвеша для составляющих магнитной индукции. Используя функции ввода и редактирования данных системы ArcView, отклонения модельной кривой от экспериментальной минимизируются за счет положения и угла наклона изменяемых контактов, коррекции значений избыточной плотности и магнитной восприимчивости и введения предполагаемых глубинных объектов по геолого-геофизическим данным.

В результате моделирования наглядно показано, что влияние глубинных структур составляет лишь незначительную часть аномального поля и не сказывается на конфигурации гравитационных аномалий, а только изменяет их интенсивность и градиент.

В результате интерпретации были построены электрогравитационные модели верхней части земной коры по трем исследуемым геотраверсам (рис. 9-11), в которых прослеживаются следующие особенности:

- верхняя часть разрезов сложена осадочными и терригенно-осадочными образованиями с плотностью 2,28 – 2,64 г/см^3 (см. таб. 2), их мощность увеличивается в восточном направлении;
- породы фундамента на всех трех разрезах имеют различное внутреннее строение, наиболее сложным из которых отличается Свердловское пересечение.

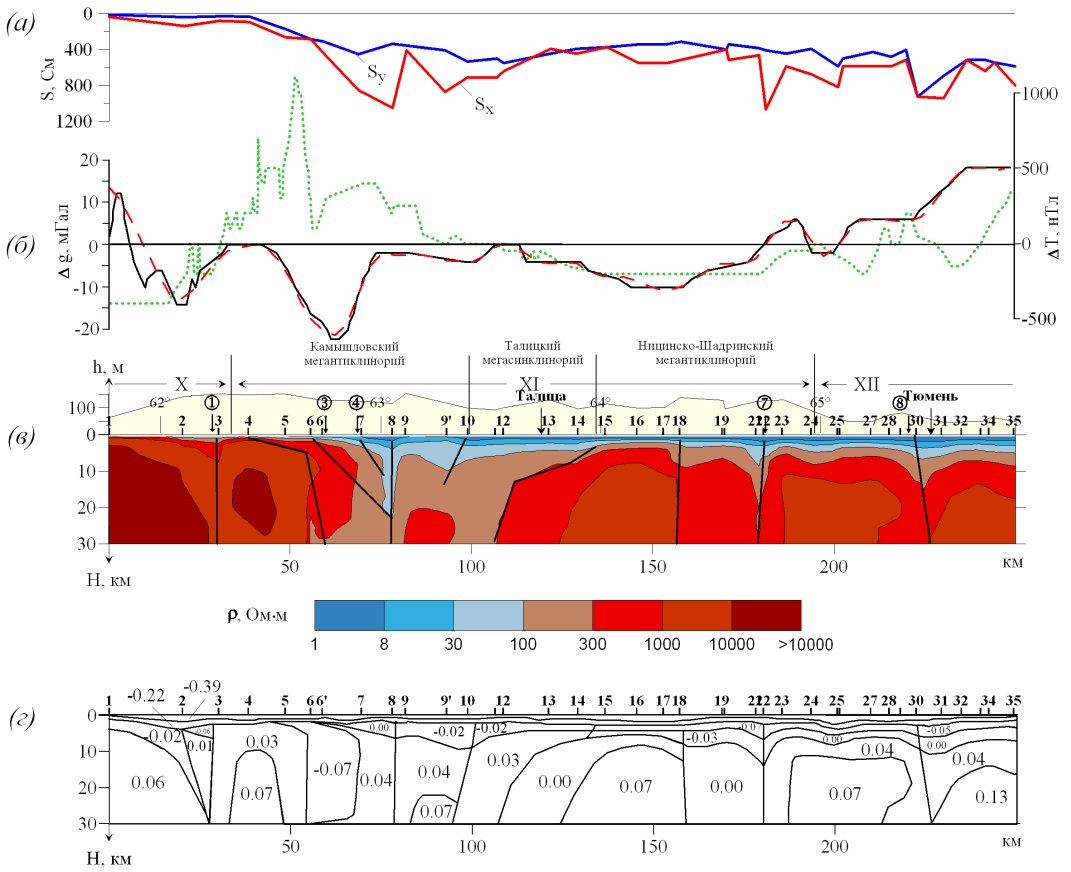

Рис. 9. Результаты геофизических исследований и 2D интерпретации по профилю Асбест-Тюмень (условные обозначения на рис. 11)

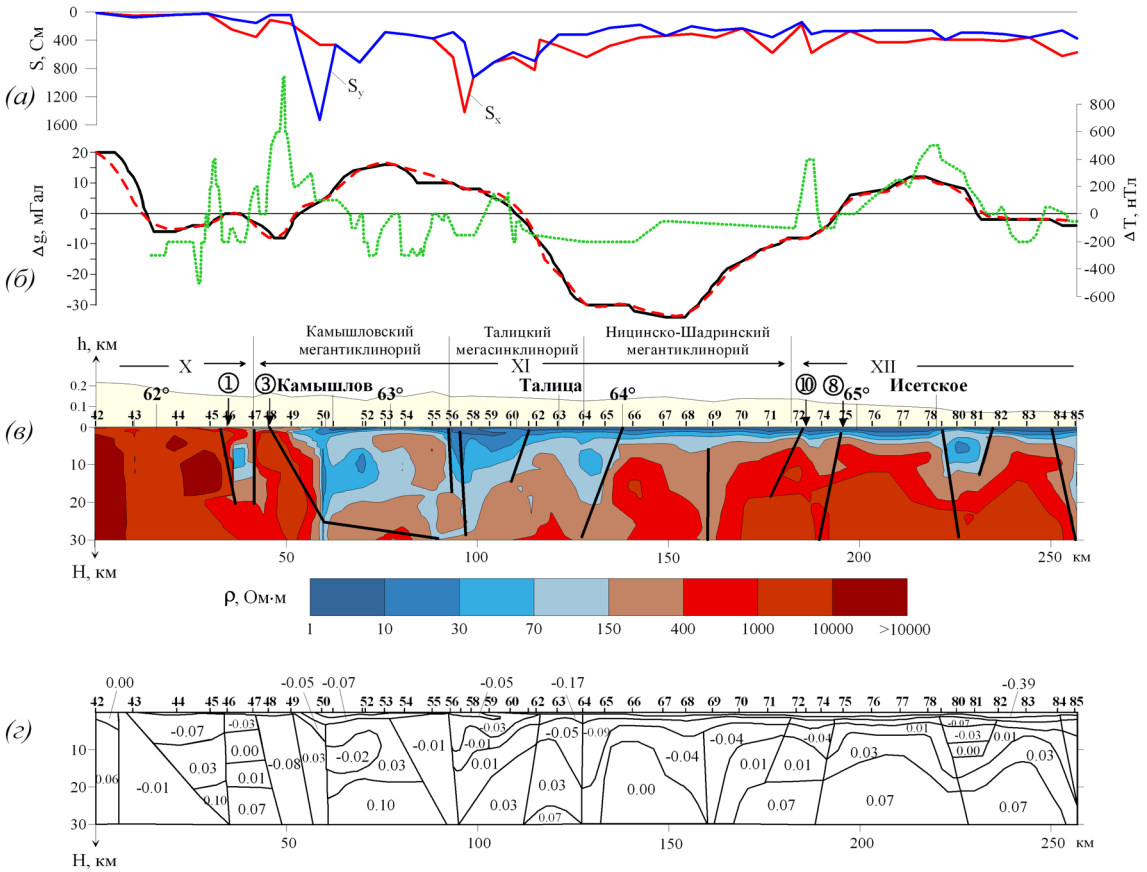

Рис. 10. Результаты геофизических исследований и 2D интерпретации по Свердловскому пересечению (условные обозначения на рис. 11)

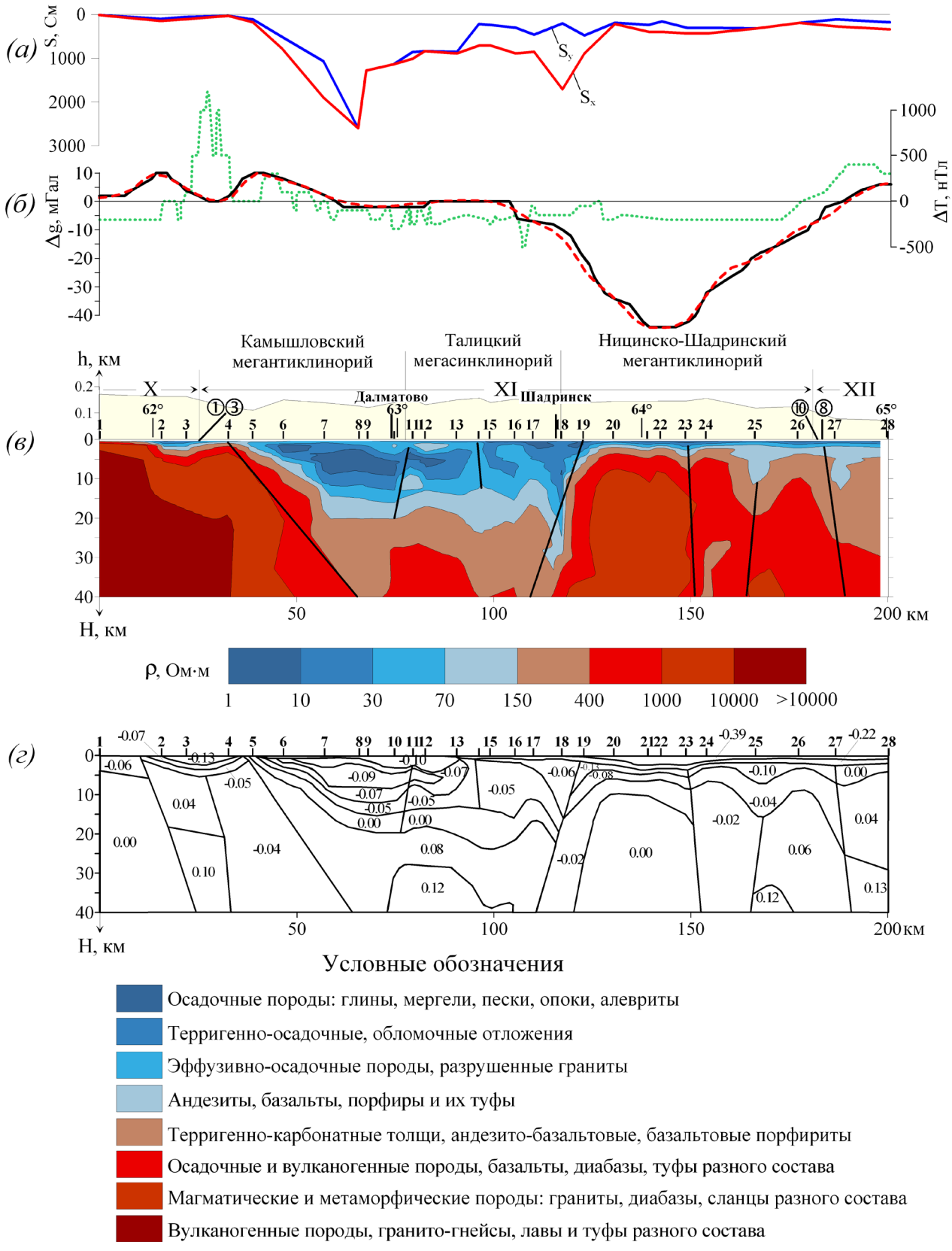

Рис. 11. Результаты геофизических исследований и 2D интерпретации по Шадринскому профилю

(*а*) – суммарная продольная проводимость литосферы для меридионального (S_x) и широтного (S_y) направлений (*б*) – кривые аномалии силы тяжести (Δg) и магнитного поля (ΔT); (*в*) – геоэлектрический разрез верхней части коры по данным комплексных электромагнитных зондирований; (*г*) – плотностная модель

Таблица 2

Сопоставление избыточных плотностей в электрогравитационных моделях с их определениями на образцах
(Е.М. Ананьева, Ю.Н. Горбачев, Н.А. Туезова и др.)

Геологические комплексы	**Избыток (дефицит) плотности по петрофизическим данным $\Delta\sigma$, г/см^3**	**По результатам моделирования**	
		$\Delta\sigma$, г/см^3	**σ^*, г/см^3**
Осадочный чехол (средневзвешенный): пески, глины, мергели, опоки	-0,39	-0,39	2,28
Терригенно-осадочные и обломочные отложения: песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты	-0,19÷0,01	-0,22÷-0,03	2,45÷2,64
Эффузивно-осадочные породы: песчаники, порфиры, кварциты, туфы, туфобрекчии	-0,05÷-0,02	-0,17÷0,00	2,50÷2,67
Кварцевые песчаники, глинистые, углисто-глинистые сланцы	-0,07÷-0,02	-0,07÷-0,02	2,60÷2,65
Филлитизированные глинистые, углисто-кремнистые сланцы, филлиты	-0,07÷0,04	-0,07÷0,01	2,60÷2,68
Терригенно-карбонатные толщи	0,00÷0,08	-0,01÷0,04	2,66÷2,71
Граниты	-0,08÷-0,01	-0,02÷0,00	2,65÷2,67
Серпентиниты (дуниты)	-0,14÷-0,02	-0,09÷-0,04	2,58÷2,63
Андезиты, базальты, порфиры и их туфы	-0,21÷0,05	-0,10÷0,03	2,57÷2,70
Андезито-базальтовые, базальтовые порфириты их туфы, туфопесчаники, туфобрекчии	-0,10÷0,08	-0,07÷0,10	2,60÷2,77
Осадочные и вулканогенные породы: базальты, диабазы, спилиты, туфы разного состава	-0,08÷0,13	-0,07÷0,12	2,60÷2,79
Магматические и метаморфические породы: граниты, диабазы, кристаллические сланцы разного состава	-0,07÷0,10	-0,08÷0,13	2,59÷2,80
Вулканогенные породы, лавы, гранито-гнейсы и туфы разного состава	-0,07÷0,13	0,00÷0,10	2,67÷2,77

*Плотность определена исходя из средней плотности пород до кровли консолидированного фундамента 2,67 г/см^3.

Пространственно рассматриваемую территорию можно разбить на III блока:

I - включает высокоомные палеозойские породы “открытой” части Урала, плотность которых составляет 2,60 – 2,77 г/см^3;

II - переходная область повышенной электропроводности в пределах Камышловского мегантиклинория и Талицкого мегасинклинория, включающая триасовые грабены – Ильинско-Борисовский, Далматовский, Анохинский, Бичурский и др., заполненные эффузивно-осадочными породами с проявлением базальтового вулканизма, их плотность оценивается 2,45 – 2,67 г/см^3. Талицкий магасинклинорий сложен терригенно-карбонатными породами со средней плотностью 2,64 г/см^3.

III - относительно спокойный блок эффузивно-осадочных, терригенно-карбонатных и вулканогенных пород, слагающих Ницинско-Шадринский мегантиклинорий и частично Тюменско-Кустанайский прогиб, с плотностью 2,57 – 2,74 г/см^3, в отдельных блоках до 2,80 г/см^3 в зависимости от химического состава интрузивных и эффузивных пород, метаморфических процессов, пористости и др. В пределах Ницинско-Шадринского мегантиклинория отрицательными аномалиями гравитационного поля четко выделяются крупные массивы гранитоидов. На территории Тюменско-Кустанайского прогиба выделяется триасовый грабен до глубин 10-15 км, выполненный базальтами и андезито-базальтами туринской серии, средняя плотность которых 2,65 г/см^3.

Таким образом, анализ плотностных свойств и интерпретация гравиметрических материалов в комплексе с результатами геоэлектрики при построении согласованных электрогравитационных моделей значительно повышает информативность, позволяя получать ценные сведения о расслоенности и обоснованные оценки петроплотностных характеристик осадочного чехла и фундамента ЗСП до глубин порядка 30-40 км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты выполненных исследований сводятся к следующему:

1. В геоэлектрических разрезах Зауралья, построенных в автоматическом режиме по данным индуктивной электроразведки без привноса априорной информации о разрезе по другим геолого-геофизическим методам, впервые в практике региональных исследований получена новая информация об электропроводности коры и верхней мантии Среднего Зауралья от первых метров до глубин 200-300 км:

- установлена расслоенность осадочных отложений платформенного чехла и фундамента по удельному электрическому сопротивлению;
- в геоэлектрических разрезах отчетливо прослежены на глубину границы тектонических структур первого порядка, разделяющих Восточно-Уральский прогиб, Зауральское поднятие и Тюменско-Кустанайский прогиб;
- исследована зона аномально высокой проводимости коры в пределах Камышловского мегантиклинория и Талицкого мегасинклинория, в которой располагаются триасовые грабены восточного склона Урала;
- установлены отличительные особенности глубинного строения литосферы приуральской части Западной Сибири и “открытого” Урала. В пределах Среднего Зауралья на глубинах от 60 км и более выделены астеносферные проводники, носящие очаговый локальный характер отдельных астенолинз, которые отсутствуют под “открытым” Уралом;

2. полученные результаты подтверждаются данными абсолютного возраста пород, показывающих, что в истории Западной Сибири в течение триаса неоднократно осуществлялись вспышки тектонической активности мантийного происхождения, которые привели к образованию системы грабенов,

дифференцированным движениям блоков фундамента, к вторичным преобразованиям пород, что определило геодинамический режим седиментации толщ, слагающих осадочный чехол.

3. Выполнен анализ петрофизических свойств горных пород (удельное электрическое сопротивление, плотность и пористость) Урала и Западной Сибири, а также исследованы зависимости между данными физическими параметрами, полученными по данным измерений на образцах керна скважин и наземных методов электрометрии.

4. Предложен метод моделирования распределения плотности верхней части земной коры в блоках, выделенных по электромагнитным данным.

5. Построены согласованные электрогравитационные модели по трем исследуемым профилям Среднего Зауралья. Проведен анализ и геологическое обоснование полученных результатов с оценками вещественного состава осадочного чехла и фундамента приуральской части ЗСП. Полученные данные увязывались с особенностями структурно-тектонического строения рассматриваемой территории с учетом и сопоставлением материалов по другим независимым методам: электроразведки на постоянном токе (ВЭЗ, ДЭЗ, БКЗ), сведений о составе фундамента по данным глубоких скважин и результатов измерений удельного электрического сопротивления, плотности, пористости в лабораторных условиях на образцах горных пород Зауралья.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на применение предложенного в диссертационной работе подхода при разработке комплексной геофизической модели строения земной коры и верхней мантии с привлечением данных сейсмометрии, магнитометрии, геотермии и др.

Основные научные публикации

1. Кормильцев В.В., Иванов К.С., Федоров Ю.Н., Сурина О.В. Главные шовные зоны Зауралья // Пятые геофизические чтения им. В.В.Федынского. Тезисы докладов. - М.: ГЕОН, 2003. С. 82-83.
2. Сурина О.В. Основные шовные зоны Зауралья и запада ХМАО // Четвертая Уральская молодежная научная школа по геофизике. - Пермь, 2003. С. 209-211.
3. Коротеев В.А., Иванов К.С., Федоров Ю.Н., Кормильцев В.В., Печеркин М.Ф., Погромская О.Э., Ерохин Ю.В., Князева И.В., Сурина О.В. О восточной границе Урала // Материалы научной конференции «IX чтения А.Н. Заварицкого». - Екатеринбург: УрО РАН, 2003. С. 30-32.
4. Федоров Ю.Н., Кормильцев В.В., Иванов К.С., Захаров С.Г., Шалагинов В.В., Сурина О.В. Структурно-формационные зоны фундамента Приуральской части Западно-Сибирского мегабассейна // Нефть и газ Западной Сибири. - Тюмень: Тюменский ГНУ, 2003. С. 18-19.
5. Федоров Ю.Н., Иванов К.С., Захаров С.Г., Кормильцев В.В., Ерохин Ю.В., Погромская О.Э., Князева И.В., Ронкин Ю.Л., Каретин Ю.С., Сурина О.В., Пуртова С.И., Глушко Н.К. Геологическое строение и стратиграфия триасовых отложений Северо-Сосьвинского грабена // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. - Ханты-Мансийск, 2003. Т. 1. С. 114-123.
6. Федоров Ю.Н., Иванов К.С., Кормильцев В.В., Захаров С.Г., Погромская О.Э., Сурина О.В. Основные шовные зоны Зауралья и триасовый рифтогенез // Эволюция тектонических процессов в истории Земли: Материалы XXXVII Тектонического совещания. - Новосибирск: СО РАН, 2004. Т. 2. С. 231-233.
7. Иванов К.С., Коротеев В.А., Федоров Ю.Н., Кошевой В.Н., Кормильцев В.В., Печеркин М.Ф., Ерохин Ю.В., Погромская О.Э., Ронкин Ю.Л., Калеганов Б.А., Сурина О.В., Князева И.В. Строение зоны сочленения Приполярного Урала и Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Литосфера, 2004. № 2. С. 108-124.

8. Дьяконова А.Г., Сурина О.В. Связь особенностей геоэлектрических разрезов со структурно-тектоническим строением литосферы в Уральском регионе. // Материалы IX геофизических чтений им. В.В. Федынского. - ООО ИНТЕК ГЕОН: - М., 2007. С. 10-11.

9. P.S. Martyshko, A.G. Dyakonova, O.V. Surina. Geoelectric cross-section of the Northern Urals lithosphere. Session JAS004 on “Methodology in EM studies: Theory, modeling and inversion”. IUGG 2007 General Assembly Perugia, Italy. Электронный вариант.

10.Дьяконова А.Г., Сурина О.В. Роль геоэлектрики при изучении глубинного строения Урала // Тезисы докладов X геофизических чтений им. В.В. Федынского. – Международная конференция: - М., 2008. С. 17-18.

11.Сурина О.В., Дьяконова А.Г. Сравнительный анализ возможностей индуктивной и кондуктивной электроразведки при изучении фундамента Западно-Сибирской платформы // Труды Всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых «Трофимуковские чтения–2008». - Ин-т нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. - Новосибирск, 2008. Т. 2. С. 282-284.

12.Дьяконова А.Г., Иванов К.С., Сурина О.В., Астафьев П.Ф., Вишнев В.С., Коноплин А.Д. Строение тектоносферы Урала и Западно-Сибирской платформы по электромагнитным данным // ДАН, 2008. Т. 423. № 5. С. 685-688.

13.Сурина О.В. Региональные особенности строения земной коры Среднего Зауралья по электромагнитным и гравитационным данным // X Уральская молодежная научная школа по геофизике. - Пермь: Горный институт УрО РАН, 2009. С. 205-207.

14.O.V. Surina, A.G. Dyakonova. The features of geoelectric structure of the tectonosphere of Average Ural and surrounding platform areas. Division I: “Internal Magnetic Field” Crustal tectonic processes constrained by electromagnetic observations. IAGA 2009 11th Scientific Assembly Sopron, Hungary. Электронный вариант.

15.Астафьев П.Ф., Вишнев В.С., Дьяконова А.Г., Коноплин А.Д., Сарвартинов А.И., Соседков М.А., Сурина О.В. Некоторые результаты электроразведочных работ на Парнокском железомарганцевом месторождении // Геодинамика. Глубинное строение. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей. Пятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы. - Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2009. С. 22-27.

16.Дьяконова А.Г., Человечков А.И., Астафьев П.Ф., Вишнев В.С., Коноплин А.Д., Сурина О.В. Перспективы внедрения методов высокочастотной индуктивной электроразведки для изучения формирования рудных полей на Урале // Электромагнитные исследования Земли. IV Всероссийская школа-семинар по электромагнитным зондированиям Земли. Материалы. - Москва: Центр геоэлектромагнитных исследований ИФЗ РАН, 2009. С. 202-203.

17.Сурина О.В. Методический подход к построению электроплотностной модели на примере Свердловского пересечения (Среднее Зауралье) // XI Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник докладов. - Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2010. С. 217-219.

18.O.V. Surina, A.G. Dyakonova. Electro-gravitational model of the Middle Trans-Ural region. Electromagnetic soundings: theory and applications: Proceedings of the International Workshop on EM Sounding in memory of Professors Mark N. Berdichevsky and Peter Weidelt. Geoelectromagnetic Research Center IPE RAS. - M.: IPE RAS, 2010. - P. 116.

19.Сурина О.В. Электрогравитационная модель верхней части литосферы по профилю Асбест-Тюмень // XII Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник докладов. - Пермь: ГИ УрО РАН, 2011. С. 250-255.

20.Сурина О.В. Дьяконова А.Г. Особенности построения электрогравитационных моделей земной коры по экспериментальным данным (Среднее Зауралье) // V Всероссийская школа-семинар имени М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по электромагнитным зондированиям Земли. Материалы. - Санкт-Петербург: СПбГУ, 2011. С. 319-322.

21.Дьяконова А.Г., Сурина О.В., Человечков А.И. Геоэлектрическое строение литосферы Среднего Зауралья по данным комплекса методов индуктивной разведки [монография] // Динамика физических полей Земли. - М.: Светоч Плюс, 2011. С. 54-68.

22.Сурина О.В. Согласованные электрогравитационные модели строения земной коры по трем субширотным геотраверсам Среднего Зауралья // XIII Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник докладов. – Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2012. С. 200-203.

Подписано в печать 24.05.2012.Тираж 100 экз.

Отпечатано с оригинал–макета в типографии “Печатное поле”
620075, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 7