

УДК 550.837

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ СРЕДНЕГО ЗАУРАЛЬЯ

© 2014 г. А. Г. Дьяконова, О. В. Сурина, В. С. Вишнев, А. Д. Коноплин, П. Ф. Астафьев

Институт геофизики УрО РАН
620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 100
E-mail: sur2004@inbox.ru

Поступила в редакцию 27.03.2013 г.

При изучении электропроводности земных недр по четырем геотраверсам Среднего Зауралья общей протяженностью ~1000 км, получен новый экспериментальный материал, демонстрирующий возможности геоэлектрики на современном уровне развития аппаратно-методического обеспечения. По исследуемым геотраверсам построены геоэлектрические разрезы (модели) в диапазоне глубин от первых метров до 300 км. Представлена карта суммарной продольной проводимости литосферы рассматриваемой территории. Получены новые данные о расслоенности коры и верхней мантии по электрическим параметрам, позволяющие дополнить, а в ряде случаев уточнить имеющуюся геолого-геофизическую информацию о строении литосферы приуральской части Западно-Сибирской платформы.

Ключевые слова: *Среднее Зауралье, Западно-Сибирская платформа, электропроводность, карта суммарной продольной проводимости, геоэлектрические разрезы.*

ВВЕДЕНИЕ

Круг вопросов, рассматриваемый в работе, охватывает территорию приуральской части Западно-Сибирской платформы (ЗСП), именуемой геологами Средним Зауральем. Полигон исследований выбран не случайно. Здесь на протяжении почти 35 лет Институтом геофизики УрО РАН периодически проводились региональные магнитотеллурические (МТЗ, ГМТЗ) и магнитовариационные (МВП) исследования с аналоговой аппаратурой в ограниченном частотном диапазоне, позволившие выявить глубинные особенности строения литосферы рассматриваемой территории. Впервые [23] на стыке “открытого” Урала и ЗСП нами была обнаружена зона аномально высокой проводимости. С появлением современных цифровых широкополосных измерительно-вычислительных систем и с разработкой собственной высокочастотной аппаратуры появилась возможность получения сведений о строении верхних горизонтов коры.

Исследования ориентированы на решение фундаментальной проблемы – изучение связи структурно-тектонического строения литосферы с особенностями распределения глубинной электропроводности земных недр.

Закономерности в формировании и последующем развитии земной коры являются следствием тех процессов, которые происходят или происходили в прошлом на больших глубинах. Геоэлектрика, как наиболее глубокий геофизический метод на современном уровне развития аппаратно-методического обеспечения, позволяет оценить

влияние флюидного фактора на процессы, происходящие в литосфере. Известно, что электропроводность (σ , См/м) является важным параметром, который наряду с вещественным составом характеризует и реологические свойства среды. Она избирательно реагирует на процессы, которые происходят на различных глубинах: вязкие и хрупкие разрушения коры, гидротермальная циркуляция в тектонически ослабленных зонах, гидратация и дегидратация горных пород, конвективный теплообмен, фильтрация расплавов в астеносфере и др.

В верхних горизонтах разреза электропроводность горных пород обусловлена, в основном, движением ионов в растворах. Следовательно, степень пористости, трещиноватости (проницаемости) среды, заполненной флюидами, является преобладающим фактором, оказывающим влияние на изменение электрического сопротивления горных пород.

На Урале можно выделить три основные группы пород, различающихся пористостью и влагоемкостью при равных других условиях [1, 8, 30, 41], в частности до тех глубин, где имеются открытые трещины, содержащие растворы, гидродинамически связанные с грунтовыми водами:

1. Сильно пористые и трещиноватые породы, обводненные. К ним относятся осадочные породы (глины, суглинки, песчаники, аргиллиты, алевролиты, мергели и др.) и тектонически разрушенные изверженные и метаморфические породы с удельным сопротивлением от единиц до сотен Ом·м.

2. Массивные изверженные (граниты, сиениты, диориты, диабазы, базальты, порфириды, габбро

и др.) и некоторые осадочные (известняки, доломиты, кварциты и др.) породы, сопротивление которых колеблется от 2 до 10 тыс. Ом·м. Удельное сопротивление ультрабазитов изменяется от 10^5 до 10^2 Ом·м, в зависимости от величины гипергенных изменений и степени серпентинизации.

3. Метаморфические сланцы, пористость и влагоемкость которых зависят от степени переработки. По сопротивлению они обычно занимают промежуточное положение между двумя первыми группами.

Пониженным сопротивлением (единицы–десятки Ом·м) отличаются колчеданные руды, углистые и графитистые сланцы и другие породы, обладающие электронной проводимостью. Несмотря на то, что электропроводящие зоны в общей массе пород имеют ограниченное распространение, в отдельных участках (тектонически ослабленные зоны и зоны с повышенной проницаемостью среды) их влияние на проводимость консолидированной части коры может рассматриваться в качестве одного из основных факторов, определяющих электрическую структуру [33].

Исследования уравнений состояния твердого тела при высоких давлениях и температурах, а также лабораторные эксперименты, имитирующие условия земных глубин, свидетельствуют о тесной связи электропроводности горных пород с температурой, по крайней мере, до глубин 150–200 км. Поэтому зоны частичного плавления вещества в астеносфере и полиморфные переходы минералов на глубинах верхней мантии, в первую очередь, отражаются именно на этом физическом параметре [3, 7, 15, 16, 29, 32].

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ СРЕДНЕГО ЗАУРАЛЬЯ

Западно-Сибирская молодая платформа захватывает огромную территорию (около 3.4 млн. км²), окруженную 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 асимметрична.

Всестороннее изучение ЗСП началось с 30-х годов прошлого столетия и интенсивно продолжается в настоящее время, поскольку эта провинция является основным поставщиком нефти и газа России. В пределах Среднего Зауралья различными организациями выполнен значительный объем поискового и разведочного бурения. Однако количество скважин, вскрывавших комплекс палеозойских пород, не велико. Практически все скважины бурились без отбора керна, и в большинстве случаев их проходка заканчивалась после подсекания скважиной доюрских образований. Часть скважин была пробурена для картирования

уральских структур под покровом мезокайнозойских пород. С этой же целью, в 1959–1962 гг. на Среднем Урале был разбурен широтный Тюменский опорный профиль, доказавший существование комплекса “уральских” пород под горизонтально залегающими породами осадочного чехла. При бурении были вскрыты комплексы интрузивных, вулканогенно-осадочных и осадочных пород, характерных для открытой части Урала. По мере накопления материалов уточняются представления об особенностях строения отдельных участков платформы, что нашло отражение в большом количестве опубликованных монографий и обобщений [2, 17–20, 22, 24–28, 36, 38 и мн. др.].

Строение и природа зоны сочленения Среднего Урала и Западно-Сибирской платформы однозначно не установлены, поэтому получение сведений о глубинной электропроводности по данным геоэлектрики приобретает большое теоретическое и практическое значение.

Уральские палеозойские породы фундамента в Зауралье образуют сложно построенную складчатую систему, сформировавшуюся в период проявления герцинского орогенеза. В составе доюрского основания ЗСП выделяются два структурных этажа:

Складчатый фундамент, сложенный глубоко метаморфизированными, сильно дислоцированными породами палеозоя (возможно докембрия), прорванными интрузивными образованиями различного состава и возраста [4].

Промежуточный (рифтовый) структурный этаж, представленный базальтами и риолитами раннего триаса, сменяющимися в верхней части разреза терригенно-осадочными образованиями среднего и позднего триаса.

Платформенный чехол сложен юрскими и более молодыми, практически недислоцированными осадочными породами в восточном обрамлении палеозойского Урала (Зауралье). Достигая значительных мощностей по периферии (до 3 км и более), осадочный чехол выполаживается к “открытому” Уралу, где его строение наиболее изменчиво и разнообразно.

Главнейшие черты строения домезозойского основания приуральской части ЗСП определяются отчетливо выраженными линейно протягивающимися вдоль всего Урала и сменяющимися друг друга вкрест простирания структурными зонами (рис. 1). Разные по знаку, а также по внутреннему строению, по характеру и составу слагающих пород, эти зоны рассматриваются, как крупнейшие структуры первого порядка в пределах Уральской складчатой системы: восточная часть Восточно-Уральского прогиба (X), огромное тектоническое сооружение – Зауральское поднятие (XI) и частично Тюменско-Кустанайский прогиб (XII), каждая из которых, включает ряд более мелких геологических структур [36].

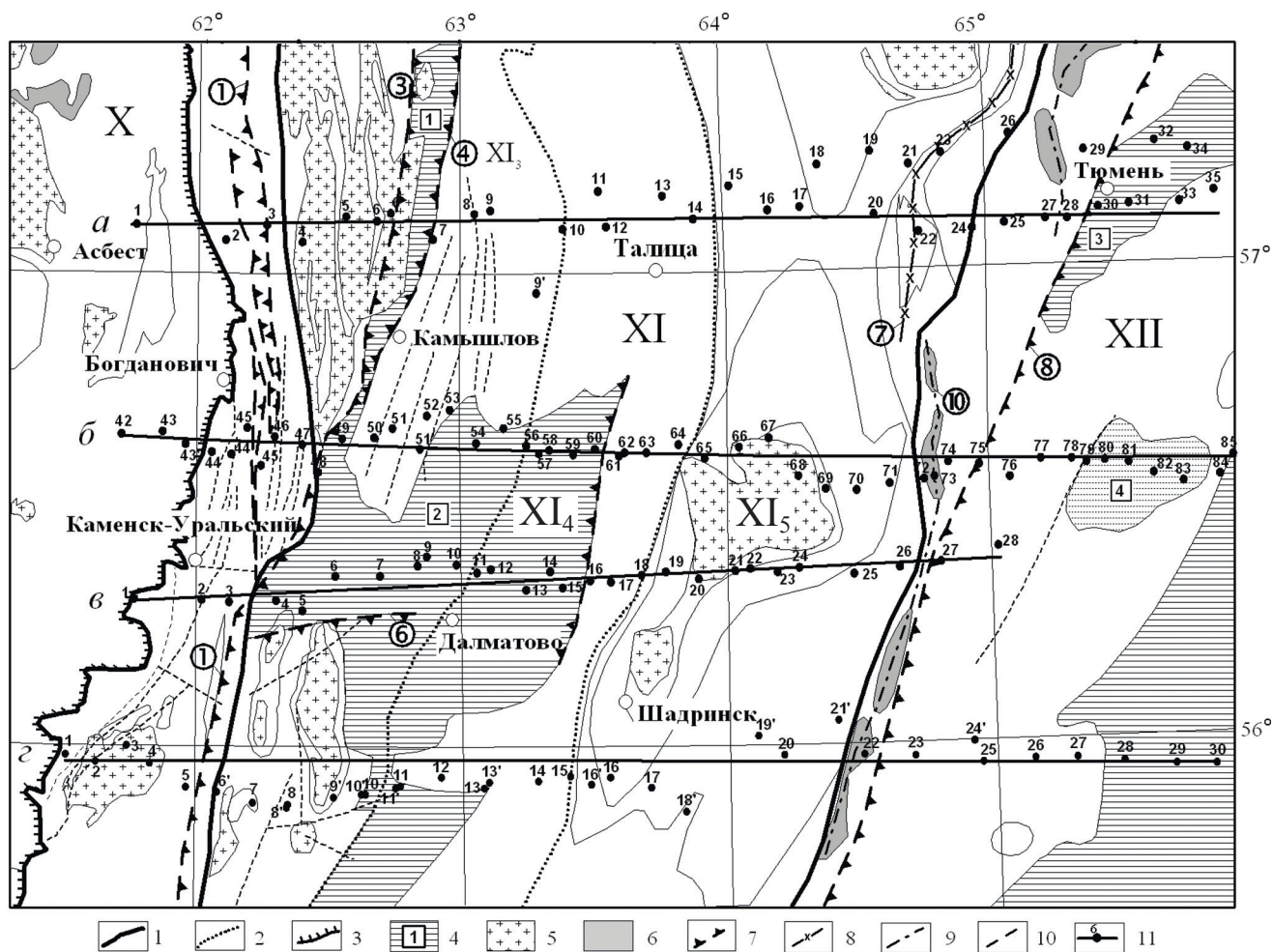


Рис. 1. Схема структурно-тектонического районирования докембрийского складчатого фундамента Среднего Зауралья [25].

1 – границы структур I порядка: X – Восточно-Уральский прогиб, XI – Зауральское поднятие, XII – Тюменско-Кустанайский прогиб; 2 – границы структур II порядка: XI₃ – Камышловский мегантиклинорий, XI₄ – Талицкий мегасинклинорий, XI₅ – Ницинско-Шадринский мегантиклинорий; 3 – западная граница распространения мезозойских отложений; 4 – тектонические и эрозионно-тектонические впадины в палеозойском фундаменте (цифры в квадратах): 1 – Анохинская, 2 – Ильинско-Борисовская и Далматовская, 3 – Тюменская, 4 – Архангельская; 5 – гранитовая субформация, граниты нормальные; 6 – сильно серпентинизированные ультрабазиты; 7 – глубинные разломы с появлением траппового магматизма (цифры в кружках): 1 – Бичурско-Копейский, 3 – Анохинский, 4 – Ирбитский, 6 – Далматовский, 8 – Тюменско-Ливановский; 8 (7) – Лучинский глубинный разлом с интрузией базитов; 9(10) – Владимирско-Каргапольский глубинный разлом с интрузиями гипербазитов; 10 – тектонические нарушения; 11 – пункты зондирования и профили наблюдений: а – Асбест–Тюмень, б – Свердловский, в – Шадринский, г – Каргапольский.

Согласно ранее проведенным исследованиям, в палеозойском фундаменте на рассматриваемой территории достоверно были выделены Анохинская, Ильинско-Борисовская, Далматовская, Тюменская, Архангельская и другие тектонические впадины (депрессии), выполненные эффузивами основного и кислого состава переслаивающимися с терригенными континентальными осадками. Наиболее распространены базальты, реже встречаются долериты, габбро-долериты, туфы и туфолавы. Среди кислых преобладают липариты, гипабиссальные их разновидности и туфы [24]. Осадочно-

вулканогенные образования, приуроченные к тектоническим впадинам, в ряде участков распространены далеко за их пределами, залегая на разновозрастных, сложнодислоцированных породах палеозойского фундамента.

Вулканизм в Среднем Зауралье связан с дизъюнктивными дислокациями триасовой эпохи. Консолидированный палеозойский фундамент, поверхность которого осложнена горстами, грабенами, уступами и локальными депрессиями, расчленен на блоки, ограниченные разломами глубокого заложения [19, 20, 40 и др.].

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ

Методика проведенных исследований предусматривала 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 “Метроники” (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 км и более без привлечения априорной информации о разрезе по данным других геофизических методов.

Представления о расслоенности тектоносферы среднего сектора Урала рассмотрены по геотраверсу, пересекающему все структурно-тектонические зоны, протяженностью порядка 1000 км от пос. Аскино (Башкортостан) на западе до г. Тюкалинска (Омская обл.) на востоке, со сгущением сети, ранее проведенных наблюдений [11]. В настоящей работе рассматривается отрезок этого геотраверса протяженностью ~250 км, совпадающий со Свердловским профилем ГСЗ (рис. 1, б). Для получения более представительных материалов по Среднему Зауралью, в 2006–2012 гг. подобные исследования

были выполнены по северной и южным расщелкам относительно Свердловского геотраверса (рис. 1).

При выборе участков для проведения зондирования учитывались трудности, обусловленные влиянием техногенных помех (газопроводы, ЛЭП, железные и автомобильные дороги и крупные города). В общей сложности, обработка полевых материалов была выполнена в 155 пунктах электромагнитных зондирования, включая контрольные измерения.

Сравнение результатов обработки измерения полей модернизированными комплексами высокочастотной аппаратуры в методе ИЭМЗ (16 кГц–125 Гц) и широкополосной аппаратуры в методе АМТЗ (11 кГц–1 Гц), с лицензионными станциями “Феникс” ($156\text{--}3\cdot 10^{-4}$ Гц), проведено в различных геологических условиях. Полученные, адекватные друг другу, результаты представлены на рис. 2 [12].

Процедура обработки магнитотеллурических данных полностью автоматизирована, что обеспечивает получение оперативных оценок электрических параметров разреза непосредственно в процессе исследований. Алгоритмы обработки МТ-данных протестированы на синтетических временных рядах, предоставленных И.М. Варенцовым (ЦГЭМИ ИФЗ РАН, Троицк). Сглаживание кривых осуществлялось по программе [35].

Методический подход к интерпретации магнитотеллурических данных был однотипным на всех отработанных профилях и описан в [9, 10]. В каждом пункте зондирования строились импедансные полярные диаграммы. Определялась степень устойчивости наклона малой и большой оси главного импеданса во всем регистрируемом диапазоне частот.

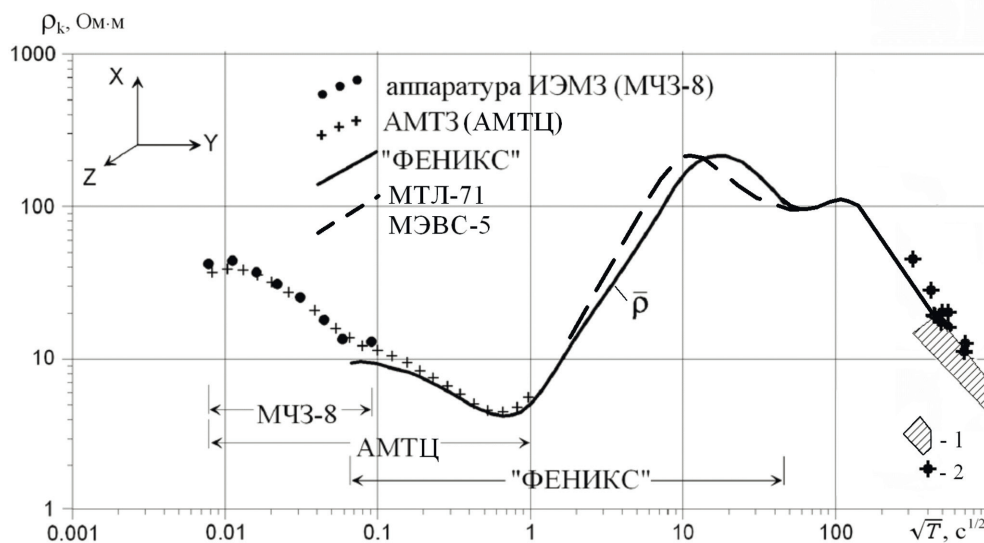


Рис. 2. Кривая электромагнитного зондирования в п. 26 Шадринского профиля.

Глобальное распределение ρ_T по данным МВЗ: 1 – [31]; 2 – уточненные данные [39].

Кривые кажущегося сопротивления построены по максимальным и минимальным значениям главного импеданса в направлении север–юг (X) и восток–запад (Y). Согласно результатам численного моделирования (пленочного и квазитрехмерного), наименее искаженными на рассматриваемой территории являются субмеридиональные квазипродольные кривые ρ_k (X), что в двумерных моделях соответствует E-поляризованному полю [13, 14]. Дополнительным критерием степени достоверности полученных данных служило согласование левых ветвей X-кривых с рассчитанными значениями ρ_k по данным индукционного зондирования и совпадение нисходящих ветвей кривых ГМТЗ в низкочастотном диапазоне с глобальной континентальной магнитовариационной кривой ρ_T (рис. 2, 3).

Кроме того, учитывались структурно-тектонические особенности района работ. Выбранные таким образом согласованные амплитудно-фазовые кривые являлись основным интерпретационным материалом для построения схемы суммарной продольной проводимости (S , См) литосферы и геоэлектрических разрезов Среднего Зауралья по профилям (рис. 3).

На рис. 4 приводится карта суммарной продольной проводимости S_x литосферы Среднего Зауралья (E-поляризованное поле). Она имеет глубинную составляющую и включает в себя проводимость осадочного чехла (S_1), коровых проводников (S_2), аномальных объектов регионального плана (S_3), и высокоомных пород литосферы (S_4). Вклад последнего члена, по сравнению с первыми, пренебрежимо мал. Карта S дает общее представление об особенностях геолого-тектонического строения рассматриваемой территории на различных глубинных уровнях, детали которых присутствуют в геоэлектрических разрезах (рис. 5).

При построении геоэлектрических разрезов осуществлялись многочисленные расчеты параметров разрезов (моделей) земной коры и верхней мантии на основе численного моделирования в одномерной и двумерной средах. На заключительном этапе разработки моделей использовалась инверсионная автоматизированная программа Л.Н. Пороховой, позволяющая исследовать тонкую структуру геоэлектрического разреза, исходя из предположения о градиентном изменении сопротивления с глубиной и без привлечения априорной информации о среде.

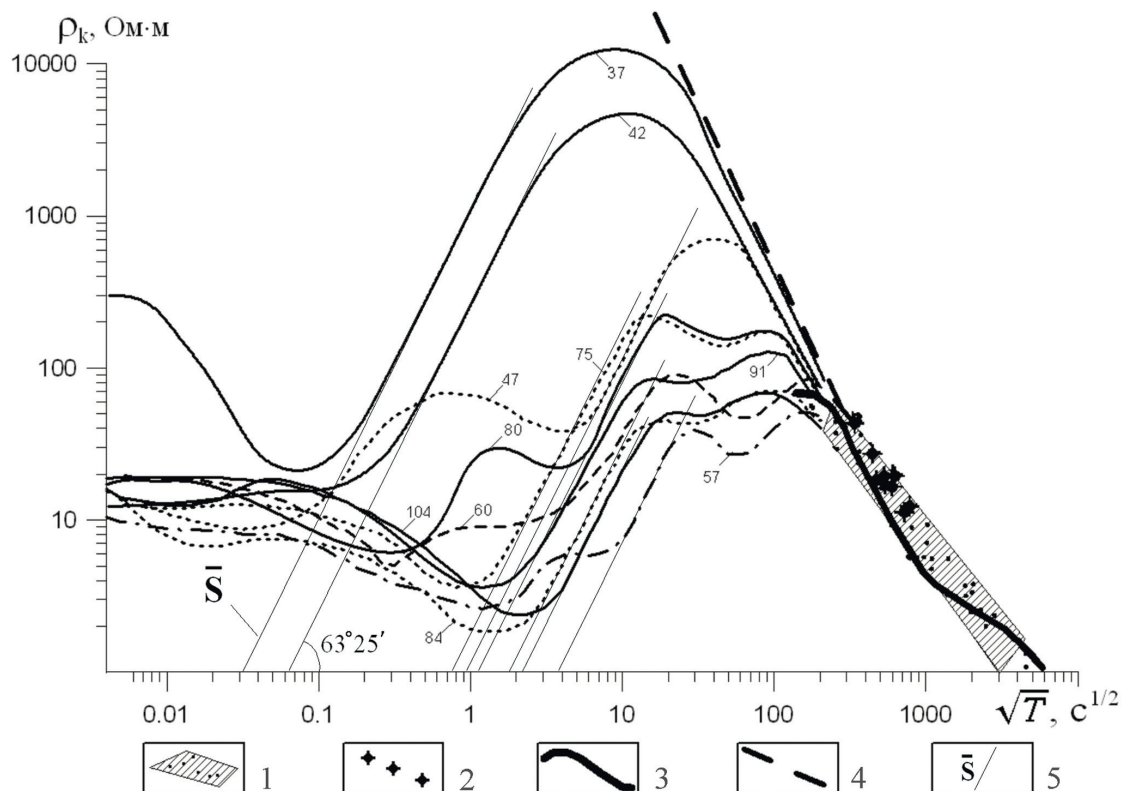


Рис. 3. Полные кривые ГМТЗ на Среднем Урале и в Зауралье (Свердловский геотраверс).

Глобальное распределение ρ_T по данным МВЗ: 1 – [31], 2 – уточненные данные [39], 3 – [5], 4 – асимптотика кривых S_q -вариаций по данным ГМТЗ, 5 – пример определения суммарной продольной проводимости литосферы ($\bar{S}$).

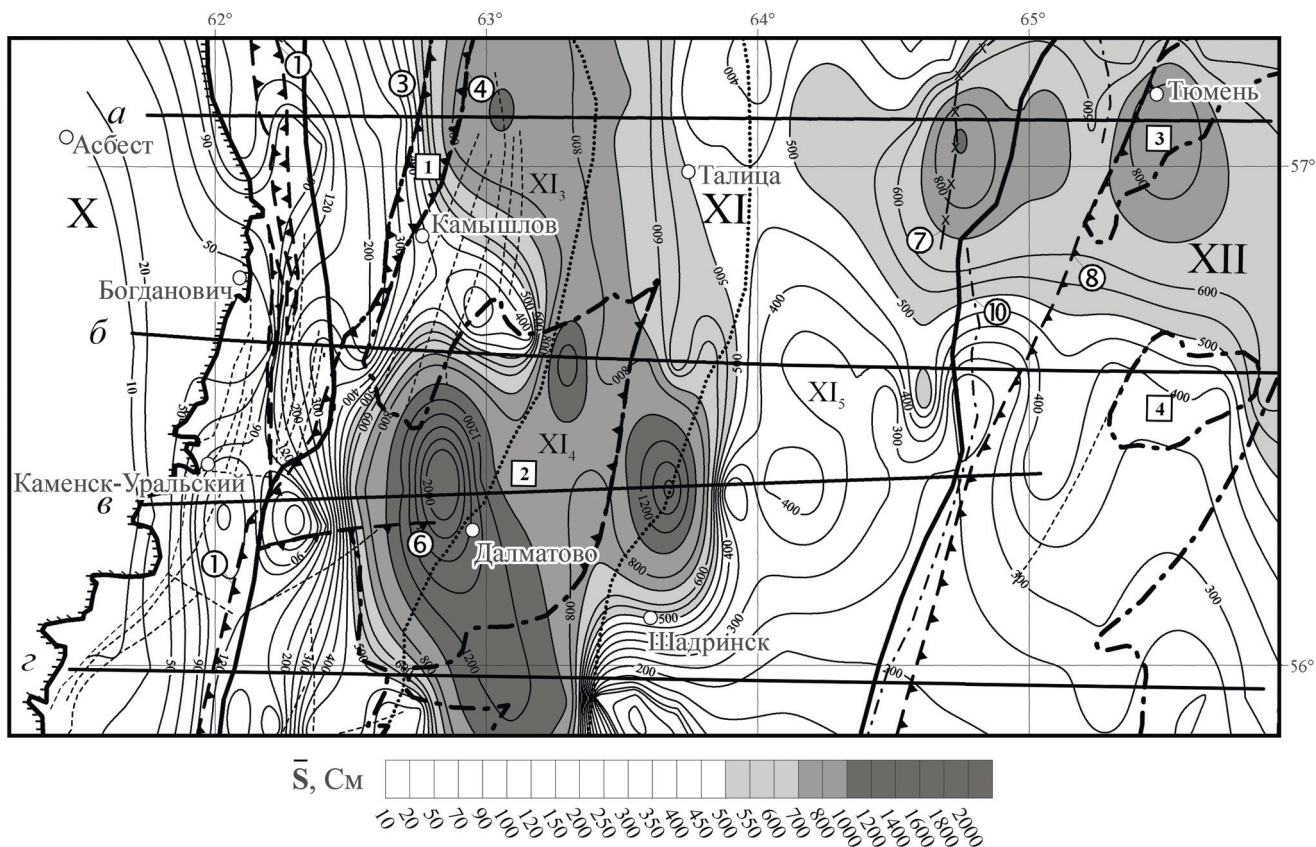


Рис. 4. Карта суммарной продольной проводимости литосферы Среднего Зауралья.

Условные обозначения – см. рис. 1.

Надлежащий уровень исследований обеспечивался путем доизучения территории в едином “технологическом цикле”, а также направленностью полевых работ на решение конкретной структурно-тектонической задачи.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Не касаясь деталей геологического строения в каждом из представленных разрезов, которые имеют самостоятельное, в том числе и прикладное, значение, рассмотрим результаты электромагнитных зондирований в обобщенном виде. В геоэлектрических моделях четко отмечается блоковое строение литосферы, разделенной глубинными разломами. Пространственно рассматриваемую территорию можно разбить на III блока:

I блок захватывает структуры Восточно-Уральского прогиба (X на рис. 1), это типично высокоомные палеозойские породы Урала с сопротивлением более 1000 Ом·м, которые в Зауралье погружаются на глубины порядка 5–10 км. На Шадринском и Каргапольском профилях наблюдается сокращение мощности этих пород в восточном направлении.

II блок включает переходную область аномально высокой проводимости литосферы в пределах Камышловского мегантиклинория и Талицкого мегасинклинория, западная граница которой, вероятно пространственно разделяет “открытый” Урал и ЗСП. Она представляет собой комбинацию сбросов (возможно листрических) и субвертикальных разломов, на продолжении которых на юг и на север располагаются триасовые грабены восточного борта Урала. Восточная граница выделяется крутыми глубинными разломами. На карте суммарной продольной проводимости, определенной по восходящим ветвям кривых ρ_k в среднепериодном диапазоне, она выделяется локальными участками резких горизонтальных градиентов электропроводности (рис. 4). Значения суммарной продольной проводимости литосферы здесь достигают 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. Аномальная зона повышенной электропроводности, горизонтальный размер которой составляет 60–80 км, прослеживается на глубины порядка 10–30 км. Намечаются связи выделенной зоны с особенностями

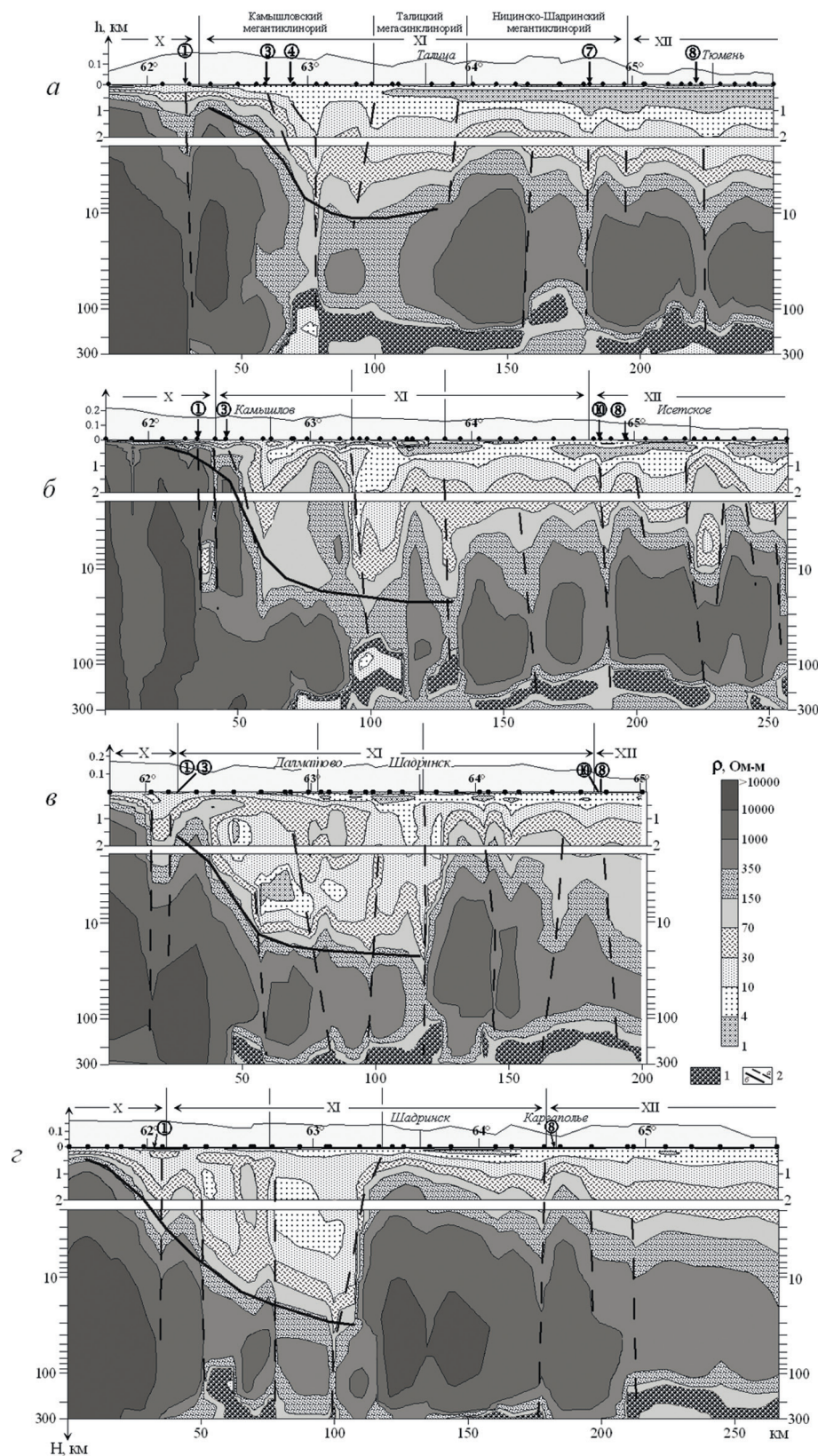


Рис. 5. Геоэлектрические разрезы литосферы Среднего Зауралья.

a – профиль Асбест-Тюмень, *б* – Свердловский профиль, *в* – Шадринский профиль, *г* – Каргапольский профиль.

1 – астеносферные проводники; 2 – тектонические нарушения, выделенные по электромагнитным данным: *a* – разрывные нарушения различной природы, *б* – листрические разломы (пояснения на рис. 1).

расположения астеносферных проводников. Пространственно к этой зоне приурочено большинство выделенных на рис. 5 грабен-рифтов, заполненных эффузивно-осадочными породами с сопротивлением 30–150 Ом·м (второй структурный этаж).

III блок представлен структурами молодой ЗСП в пределах Нищинско-Шадринского мегантиклинория и частично Тюменско-Кустанайского прогиба. Верхним структурным этажом являются юрские и более молодые осадки, мощность которых увеличивается в северо-восточном направлении до 2 и более километров. Иногда они изогнуты в складки, повторяющие изогипсы P_z фундамента. Здесь можно выделить несколько слоев переменной мощности и сопротивления. Пески, глины и опоки имеют сопротивление 1–30 Ом·м. Глубже залегают осадки, включающие кору выветривания и терригенные породы с повышенным удельным сопротивлением (70–150 Ом·м).

В процессе исследований выполнено сопоставление результатов индуктивной электроразведки с результатами детальных исследований методом ВЭЗ с разносами линий от 650 до 4500 м. На Заводоуковской площади ЗСП, где пробурено порядка 10 скважин, скв. 7 (Дроновский прогиб) вскрыла фундамент в интервале глубин 1386–1793 м, представленный переслаиванием глин с аргиллитами и грубозернистыми песчаниками. Встречаются прослои угля. В скв. 2 фундамент вскрыт на глубине 1172–1570 м, где встречены переслаивающиеся между собой туфы и порфиристы. В скв. 3 интервал 1221–1319 м представлен отложениями глин, наблюдаются прослои песчаников и алевролитов [37].

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, ρ для недислоцированных осадочных пород (глин, песчаников, алевролитов, опок) $P_{g3}-J_3$ по всей площади ≈ 3.4 Ом·м, для углисто-глинистых-кремнистых сланцев $\rho \approx 10$ Ом·м. Основным маркирующим горизонтом для ВЭЗ являлись образования осадочного чехла с удельным электрическим сопротивлением 3–10 Ом·м, что согласуется с данными табл. 1. Складчатый доюрский фундамент (?) для ВЭЗ не всегда являлся горизонтом высокого сопротивления. Это и не удивительно. Скважины подсекали различные по составу и возрасту породы, ρ изменялось в широких пределах от 6 до 50 Ом·м (P_z ?) и от 50 до 500 Ом·м и более для отложений $P-T$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты исследований сводятся к следующему.

Таблица 1. Удельное электрическое сопротивление осадочного чехла приуральской части ЗСП по данным БКЗ [41]

Возраст	ρ_k , Ом·м
Неоген и четвертичные отложения	38
Олигоцен	6.9
Верхняя часть эоцена	4.4
Нижняя часть эоцена	3.2
Палеоцен и верхний мел	3.0
Нижний мел	5.0
Верхняя юра	7.0

Установлена расслоенность осадочных отложений платформенного чехла и фундамента по электрическим параметрам, имеющая принципиальное значение.

Выявлена отчетливая связь между крупными структурно-тектоническими элементами, приведенными на геологических картах с особенностями глубинного геоэлектрического разреза.

Изучена зона сочленения “открытого” Урала и ЗСП. По нашим данным она представлена мощной пограничной структурой в пределах Камышловского мегантиклинория и Талицкого мегасинклинория. Ее западная граница представляет собой комбинацию сбросов, возможно, листрических 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. Здесь прослеживается прямая связь многих структурных элементов рассматриваемой территории с астеносферными проводниками ($\rho = 30-100$ Ом·м), которые в Западной Сибири уверенно фрагментарно выделяются на глубинах 80–100 км (положение верхней кромки) и глубже, а на Урале они отсутствуют. Области развития астеносферного слоя несут очаговый локальный характер астенолинз, приуроченных к зонам глубинных разломов и грабен-рифтов. Это исключает необходимость рассматривать астеносферу, как сферически правильную и равномерно развитую оболочку планеты.

В работе [19] приведены убедительные данные по абсолютному возрасту пород, показывающие, 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. Результаты этой работы в совокупности с фактическим материалом, полученным нами, подтверждают существование в пределах Западной Сибири триасового мантийного “суперплюма” (рис. 4), который вызвал растяжение ранее сформированной земной коры континентального типа, формирование системы грабенов и обильный базальтовый вулканизм [6].

Геоэлектрические модели показывают, что электропроводность вещества можно рассматривать, как индикатор геологических процессов, связанных с образованием и развитием Уральской складчатой области. Наличие ослабленных участков литосферы, следы которых отражены в моделях, за время геологической истории являлись областями тектономагматической активации – каналами внедрения и насыщения пород телами основных и ультраосновных интрузий и вулканогенных толщ триаса в фундаменте ЗСП с последующим метаморфизмом и сдвиговыми перемещениями по разломам [21, 34].

Таким образом, по данным геоэлектрики получен уникальный экспериментальный материал, который существенно дополняет представление о глубинном структурно-тектоническом строении приуральской части Западно-Сибирской платформы, а также дает ключевую информацию для понимания энергетики Земли.

Работы выполнены при поддержке программ фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 7 (№№ 09-Т-5-1024, 12-Т-5-1020) и гранта РФФИ № 14-05-31213.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьева Е.М., Горонович Е.Б., Черняк З.Б. и др. Методические рекомендации по интерпретации геофизических данных при крупномасштабном геологическом картировании. Свердловск: ПГО “Уралгеология”, 1983. 301 с.
2. Бочкарев В.С., Брехунцов А.М., Дещеня Н.П. Палеозой и триас Западной Сибири // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 1-2. С. 120–143.
3. Геншфит Ю.С. Физико-химическая динамика тектоносферы как основа эндогенных режимов Земли // Проблемы эволюции тектоносферы. М.: ОНЗ РАН, 1997. С. 318–333.
4. Геологическое строение фундамента Западно-Сибирской плиты (по геологическим и геофизическим данным) / Под ред. Э.Э. Фотиади и В.С. Суркова. Л.: Недра, 1971. 208 с.
5. Дмитриев В.И., Захарова О.К., Ротанова Н.М. Совместная геоэлектрическая интерпретация амплитудных и фазовых характеристик глобального магнитовариационного зондирования // Геомагнетизм и аэрономия. 1987. Т. 27. С. 994–1000.
6. Добрецов Н.Л. Пермо-триасовые магматизм и осадконакопление в Евразии как отражение суперплюма // Докл. АН. 1997. Т. 354, № 2. С. 220–223.
7. Дьяконова А.Г. Особенности строения тектоносферы Уральского региона по электромагнитным данным // Физика Земли. 1994. № 6. С. 97–102.
8. Дьяконова А.Г., Иванов К.С. Тектоническая природа региональных зон повышенной электропроводности Урала по данным электромагнитных исследований // Геофизика XXI столетия: 2002 год. М.: Научный мир, 2003. С. 96–101.
9. Дьяконова А.Г., Иванов К.С., Астафьев П.Ф. и др. Геоэлектрический разрез литосферы Северного Урала // Физика Земли. 2007. № 4. С. 15–20.
10. Дьяконова А.Г., Иванов К.С., Астафьев П.Ф. и др. Геоэлектрические особенности строения земной коры и верхней мантии Южного Урала // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 10. С. 1086–1095.
11. Дьяконова А.Г., Иванов К.С., Сурина О.В. и др. Строение тектоносферы Урала и Западно-Сибирской платформы по электромагнитным данным // Докл. АН. 2008. Т. 423, № 5. С. 685–688.
12. Дьяконова А.Г., Сурина О.В., Человечков А.И. Геоэлектрическое строение литосферы Среднего Зауралья по данным комплекса методов индуктивной разведки // Динамика физических полей Земли. М.: Светоч Плюс, 2011. С. 54–68.
13. Дьяконова А.Г., Тиунова А.М., Кобзова В.М. Аномалии электромагнитного поля для 3D геоэлектрической модели тектоносферы Уральского региона // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: мат-лы Междунар. семинара им. Д.Г. Успенского. Екатеринбург: ИГ УрО РАН 1999. С. 179–181.
14. Дьяконова А.Г., Файнберг Э.Б., Годнева Г.С. Электропроводность верхней мантии Уральского региона // Методы решения прямых и обратных задач геоэлектрики. М.: ИЗМИРАН, 1987. С. 108–123.
15. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1978. 192 с.
16. Жарков В.Н., Калинин В.А. Уравнения состояния твердых тел при высоких давлениях и температурах. М.: Наука, 1968. 311 с.
17. Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Писецкий В.Б. и др. Новые данные о строении фундамента Западно-Сибирской плиты // Литосфера. 2012. № 4. С. 91–106.
18. Иванов К.С., Кормильцев В.В., Федоров Ю.Н. Структурно-формационные зоны Приуральской части Западной Сибири // Научн. чтения им. Ю.П. Булашевича. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. С. 48–49.
19. Иванов К.С., Коротеев В.А., Печеркин М.Ф. и др. История геологического развития и строение фундамента западной части Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 4. С. 484–501.
20. Иванов К.С., Федоров Ю.Н., Коротеев В.А. и др. Строение и природа области сочленения Урала и Западной Сибири // Докл. АН. 2003. Т. 393, № 5. С. 647–651.
21. Киссин И.Г. Явления самоорганизации при взаимодействии флюидных потоков и геодинамических процессов в земной коре // Геофизика XXI столетия: 2007 год. Сб. тр. IX геофизич. чтений им. В.В. Федынского. Тверь: ГЕРС, 2008. С. 82–88.
22. Конторович В.А., Беляев С.Ю., Конторович А.Э. и др. Тектоническое строение и история развития

- Западно-Сибирской геосинеклизы в мезозое и кайнозое // Геология и геофизика. 2001. Т. 42 (11-12). С. 1832–1845.
23. Краснобаева А.Г. Некоторые результаты магнитотеллурического зондирования в Зауралье // Геология и геофизика. 1969. № 7. С. 147–150.
 24. Малютин Н.Б. Нижнемезозойские эффузивы Среднего Зауралья // Тр. I Урал. петрогр. совещ. Т. 2. Свердловск, 1963. С. 269–275.
 25. Малютин Н.Б., Дегтева М.Н., Петров Б.Н. и др. Геологическая и тектоническая карты Северного, Среднего и восточной части Южного Урала м-ба 1 : 500 000. Свердловск: ПГО “Уралгеология”, 1964.
 26. Малютин Н.Б., Смирнов Е.П., Дегтева М.Н. и др. Объяснительная записка к региональным стратиграфическим схемам мезозоя Западно-Сибирской равнины. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1991. 53 с.
 27. Малютин Н.Б., Смирнов Е.П., Дегтева М.Н. Геологическое строение складчатого фундамента в Среднем Зауралье. М.: Недра, 1997. 223 с.
 28. Медведев А.Я., Альмумамедов А.И., Рейчов М.К. и др. Абсолютный возраст базальтов доюрского основания Западно-Сибирской плиты (по $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ данным) // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 6. С. 617–620.
 29. Пугин В.А., Хитаров Н.И. Экспериментальная петрология глубинного магматизма. М.: Наука, 1978. 173 с.
 30. Родионов П.Ф., Краснобаева А.Г. Основные особенности геоэлектрического строения колчеданных месторождений Урала // Тр. Ин-та геофизики УФАН СССР. Вып. 3. Свердловск, 1965. С. 155–168.
 31. Рокитянский И.И. Исследование аномалий электропроводности методом магнитовариационного профилирования. Киев: Наукова думка, 1975. 279 с.
 32. Рокитянский И.И. Индукционное зондирование Земли. Киев: Наукова думка, 1981. 296 с.
 33. Семенов А.С. Структура и природа электрической проводимости древнего кристаллического фундамента // Учен. записки ЛГУ. Сер. физ. и геол. наук. № 361. 1971. С. 3–26.
 34. Синицин В.М. Сналь. Историко-генетические аспекты. Л.: Недра, 1972. 168 с.
 35. Смирнов М.Ю. Обработка магнитотеллурических данных с использованием робастных статистических процедур / Под ред. В.Н. Трояна, Л.Н. Пороховой, А.К. Сараева // Вопр. геофизики. Ученые записки СПбГУ. 1998. № 433, вып. 35. С. 198–205.
 36. Соболев И.Д., Автонева С.В., Белковская Р.П. и др. Тектоническая карта Урала м-ба 1 : 1 000 000 (объяснительная записка). Свердловск: Уралгеология, 1986. 168 с.
 37. Сурина О.В., Дьяконова А.Г. Сравнительный анализ возможностей индуктивной и кондуктивной электроразведки при изучении фундамента Западно-Сибирской платформы // Трофимуковские чтения – 2008: мат-лы Всерос. молодеж. науч. конф. с участием иностранных ученых. Т. 2. Новосибирск : ИНГГ СО РАН, 2008. С. 282–284.
 38. Сурков В.С., Жеро О.Г. Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты. М.: Недра, 1981. 144 с.
 39. Файнберг Э.Б. Глобальное электромагнитное зондирование // Математическое моделирование геомагнитных полей. М.: ИЗМИРАН, 1983. С. 79–121.
 40. Федоров Ю.Н., Иванов К.С., Коротеев В.А. и др. Тектоническое строение Приуральской части фундамента Западно-Сибирского мегабассейна // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО. Т. 1. Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис, 2004. С. 79–90.
 41. Физические свойства осадочного покрова территории СССР / Под ред. М.Л. Озерской и Н.В. Подобы. М.: Недра, 1967. 772 с.

Рецензент К.С. Иванов

Geoelectric structure of the crust and upper mantle in Middle Trans-Ural

A G. D'yakonova, O. V. Surina, V. S. Vishnev, A. D. Konoplin, P. F. Astaf'ev

Institute of Geophysics, Urals Branch of RAS

The new experimental materials on conductivity of the Earth's interior are obtained along four geotraverses of the Middle Trans-Ural with a general extent over 1000 km. These data demonstrate the geoelectric methods possibilities at the modern stage of equipment and methodological development. The geoelectric sections (models) in the range of depths from the first meters to 300 km along geotraverses are constructed. The total longitudinal conductance map of the lithosphere is presented. The new data allowing to supplement, and in a number of cases to refine existing geological and geophysical information on a lithosphere of Trans-Ural part of the West Siberian Platform are obtained.

Keywords: *Middle Trans-Ural, West Siberian platform, electrical conductivity, total longitudinal conductance map, geoelectric sections.*