

## ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЛИТОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО УРАЛА

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

Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. На основе комплексных электромагнитных исследований, выполненных в широком частотном диапазоне методами АМТЗ-МТЗ-ГМТЗ и с привлечением индукционного зондирования с контролируемым источником поля (метод ИЭМЗ) вдоль протяженного геотраверса Северного Урала, построен полный геоэлектрический разрез литосферы. По данным геоэлектрики получена новая, независимая от других методов изучения недр информация, которую необходимо учитывать при построении комплексной геолого-геофизической геодинамической модели развития Урала – как крупной линейной структуры планетарного характера.

*Ключевые слова:* Урал, электропроводность, электромагнитные исследования, геоэлектрический разрез, глубинное строение, астеносферный проводник, глубинный разлом.

Урал является одним из признанных эталонов линейных складчатых поясов планетарного характера. Его месторасположение символично. Он разграничивает Восточно-Европейскую платформу (древний кратон) и молодую Западно-Сибирскую плиту. Что касается продолжения его структурных связей, здесь мнения ученых расходятся. Одни считают его частью Урало-Оманского трансконтинентального суперлинеамента, который протягивается от Новой Земли до Мадагаскара [9]. Большинство геологов увязывают его с Урало-Монгольским складчатым поясом. Существует мнение, что Урал протягивается в сторону Донбасса. Вопрос о его происхождении и глубинной структуре также до сих пор вызывает оживленные дискуссии. Отсутствие единого суждения среди ученых по этой проблеме показывает, что мы имеем дело со сложно построенным геологическим объектом, объяснение внутреннего строения которого встречает трудности и ограничения в рамках той или иной сложившейся в настоящее время гипотез. Проблема заключается в том, что при геологических исследованиях только 2% вещественного состава пород доступны для непосредственного изучения, остальные сведения о глубинном строении Уральского региона мы получаем по данным интерпретации геофизических полей. Поскольку реальная среда не вписывается в рамки формализованных моделей, какой бы метод геофизики не рассматривался, то неоднозначность геофизических построений требует привлечения новой объективной и независимой информации, а также дополнительных экспериментальных исследований.

Внедрение в практику региональных магнитотеллурических исследований на Урале, основанных на изучении полей ионосферного происхождения, позволяет получать сведения об электропроводности вещества тектоносферы Земли, которая весьма чувствительна к изменению температурных условий, фазовому состоянию вещества, концентрации и минерализации воды и флюидов, а также вещественному составу пород в верхней части коры. Эти методы относятся к разряду молодых в геофизике. Параллельно с развитием этих методов начинается и их внедрение на Урале.

На первом этапе работ нами проведены обширные экспериментальные исследования в среднепериодном и низкочастотном диапазонах магнитотеллурического поля. Вопрос о возможности получения количественной информации о распределении электропроводности ( $\sigma$ ) с глубиной в условиях региональной и локальной геологической неоднородности верхних горизонтов коры Уральского региона решался с помощью численного и физического моделирования [2]. Для оценки суммарной продольной проводимости коры привлекались результаты МТЗ казахских коллег [1] по пр. 18÷20 (рис. 1). Были выявлены протяженные региональные зоны аномальной проводимости, оконтуривающие Урал с востока и запада [5]. Построены геоэлектрические модели в среднем и южном сечениях Урала [3,4]. Получены сведения об астеносферной части электрического разреза региона. Существенным недостатком данного периода явилось то, что отсутствие высокочастотного диапазона при изучении электрической расслоенности коры предопределило проведение экспериментальных исследований в глубинном варианте по протяженным геотраверсам с редкой сетью наблюдений, а также использование аналоговой аппаратуры, требующей длительного

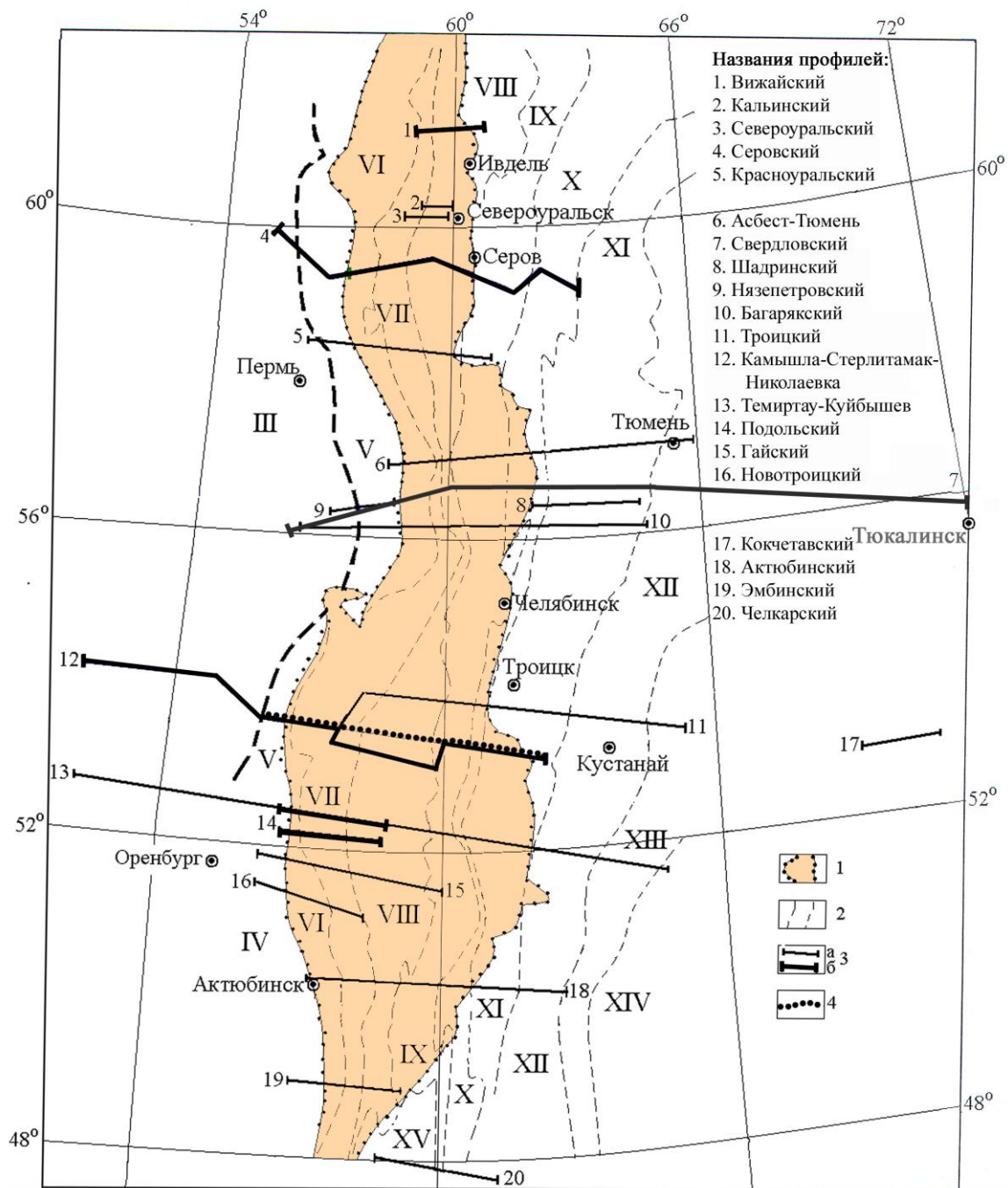


Рис. 1. Схема структурного районирования Уральского региона с расположением профилей электромагнитных исследований [11]

1 – "Открытый" Урал; 2 – границы и номера структур I порядка: III – восточная окраина Восточно-Европейской платформы, IV – Прикаспийская синеклиза, V – Предуральский краевой прогиб, VI – Западно-Уральская внешняя зона складчатости, VII – Центрально-Уральское поднятие, VIII – Тагильско-Магнитогорский прогиб, IX – Восточно-Уральское поднятие, X – Восточно-Уральский прогиб, XI – Зауральское поднятие, XII – Тюменско-Кустанайский прогиб, XIII – Тобольско-Убаганское поднятие, XIV – Аксуатский прогиб, XV – Берчогурско-Челкарский прогиб; 3 – профили электромагнитных зондирований прошлых лет (а), опорные (б); 4 – профиль "Уралсейс-95".

наблюдения в каждом пункте зондирования, затрат большого объема ручного труда при обработке полученного материала и, наконец, привлечения априорной геолого-геофизической информации о строении верхних горизонтов коры. Все это в совокупности снижало нереализованные возможности геоэлектрики.

С 1998 г. наступил качественно новый этап геоэлектрического изучения Урала. Впервые с появлением широкополосной цифровой магнитотеллурической аппаратуры и включением в

традиционный комплекс методов с естественным источником (АМТЗ-МТЗ-ГМТЗ) и индукционного зондирования с искусственным источником (ИЭМЗ) в практике электромагнитных исследований нам удалось разработать новый подход, позволяющий получать полную информацию об электрических параметрах разреза в диапазоне глубин от первых метров до сотен километров.

Экспериментальные работы этого периода выполнены на опорных субширотных геотраверсах Северного, Среднего и Южного Урала (жирные линии на рис. 1) со сгущением сети наблюдений и апостериорной проверкой ранее полученных результатов. Методика исследований была однотипной на всех профилях. Она описана в работах [6,7]. Протяженность профилей диктовалась условиями местности и наличием проезжих дорог. В данной работе рассматриваются результаты комплексных электромагнитных исследований по профилю 4 на рис. 1. Этот субширотный профиль пересекает практически все тектонические структуры I порядка в северном сечении Урала с выходом на восточную часть Восточно-Европейской платформы (ВЭП) и западную часть Западно-Сибирской платформы (ЗСП).

Геоэлектрический разрез Серовского профиля Северного Урала, протяженностью свыше 500 км, захватывает большой интервал глубин от 10 м до 300 км (рис. 2). Рассмотрим геолого-тектоническое строение региона и его отражение в электромагнитных полях с запада на восток. Западный сектор включает пассивную окраину ВЭП (пп.53÷65), мощность осадочных отложений которой оценивается порядка 8 км. Предуральский прогиб (V), заполнен терригенными осадками (флишем и малоссой) верхнего палеозоя и отчасти триаса с переменной мощностью от 4 до 10 км. Восточная граница прогиба фактически является восточной границей ВЭП.

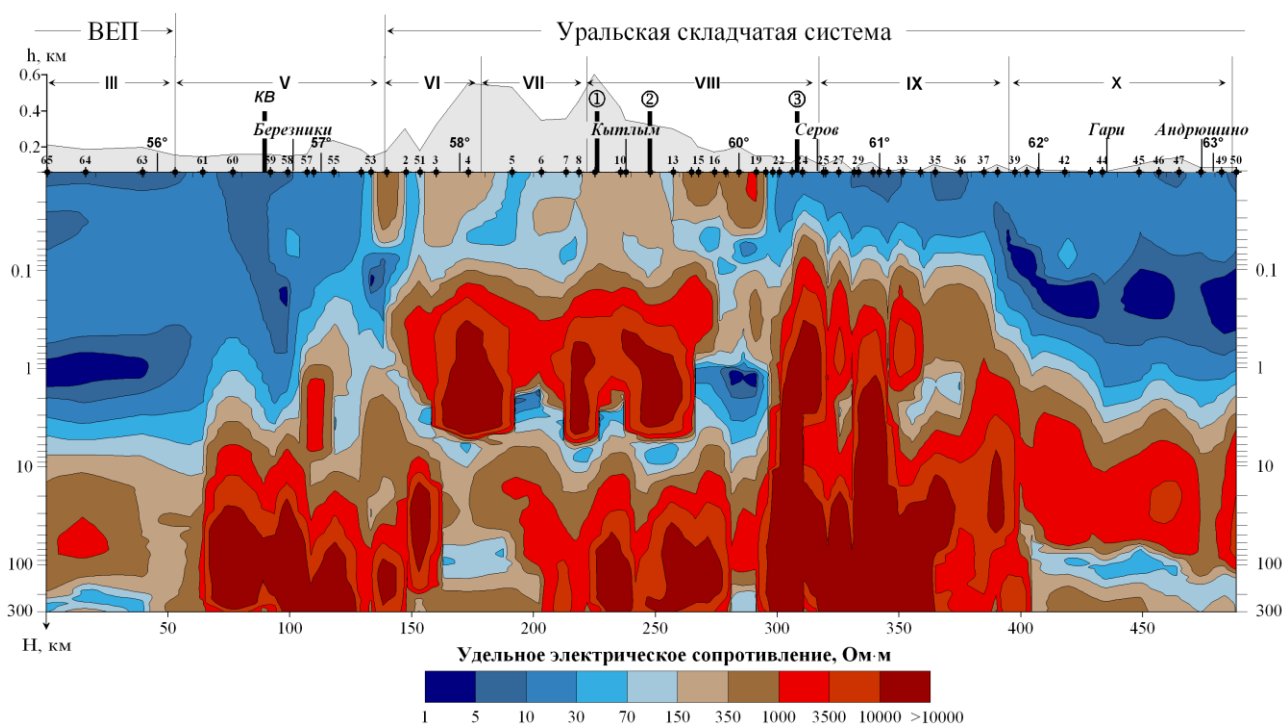


Рис. 2. Геоэлектрическая модель строения земной коры и верхней мантии Северного Урала по Серовскому геотраверсу

Глубинные разломы по геологическим данным [11]: ① – Салатимский; ② – Платиноносный; ③ – Серовско-Маукский; ♦ – пункты зондирования; KB – Камское водохранилище. Римские цифры – номера тектонических структур I порядка (пояснение на рис. 1.)

На границе Предуральского прогиба и Западно-Уральской зоны складчатости выделяется крупный надвиг восточного падения, начиная с глубины 1 км вплоть до западной выклинки астеносферного проводника, положение верхней кромки которого наблюдается на глубине около 60 км. Западно-Уральская мегазона (VI), вмещает преимущественно палеозойские шельфовые комплексы. Центрально-Уральская мегазона (VII), сложена главным образом метаморфизованными осадочными докембрийскими (?) и раннепалеозойскими толщами, слагающими осевую, наиболее гипсометрически приподнятую часть Уральских гор. В пределах осевой структуры Урала (VIII), в западной ее части, прослеживаются глубинные “корни” Салатимского разлома (ГУПР), в то время как для платиноносного пояса, представленного в данном сечении Кытлымским дунит-клинопироксен

габбровым массивом, нижняя кромка которого выражена в модели очень четко на глубине 3-4 км, разлом отсутствует. Особое внимание заслуживает обнаруженная нами зона аномально высокой проводимости в районе 60°с.ш., где по геологическим данным установлена нарушенность коры уже вблизи земной поверхности. В дальнейшем мы предлагаем рассматривать эту зону как Центрально-Тагильский глубинный разлом. К ней приурочен целый набор известных месторождений полезных ископаемых рудной и нерудной спецификации. Так, на восточном контакте рифовых известняков в районе г. Карпинска (п.18) располагается мощный триасовый угленосный грабен. Другой особенностью является пространственная связь зоны с целой цепочкой скарно-магнито-титановых месторождений и рудопроявлений Серовско-Невьянского пояса.

Далее на восток по профилю в пределах задернованной территории (п.п.21, 22) обнаружены серпентиниты, а пп. 23, 24 располагаются на Серовском серпентинитовом массиве, выходящем на земную поверхность. Этот массив приурочен к одному из наиболее крупных и хорошо выраженных разломов Урала – Серовско-Маукскому. По данным электромагнитных исследований наблюдается западное падение этого разлома, что находится в соответствии с геологическими и сейсмическими данными. На глубине свыше 10 км он сечется Центрально-Тагильским сдвиговым глубинным разломом, свидетельствуя о более молодом возрасте последнего.

Зона сочленения Урала и Западно-Сибирской платформы (п.п.25÷50). Территория перекрыта чехлом рыхлых мезокайнозойских осадков. Поскольку информации о приповерхностной геологии здесь несоизмеримо меньше, чем о западных зонах Урала, тем большую ценность здесь приобретают данные электромагнитных зондирований. В п.31 нами выделено тектоническое нарушение, приуроченное к западному контакту Салдинского метаморфического комплекса.

К восточной границе Восточно-Уральского поднятия (п.п.37, 38) в районе п. Сосьва выделяется региональный разлом-сброс восточного падения. Он прослеживается на всех геологических картах на достаточно большие расстояния. Материалы по данному профилю частично опубликованы [7].

В результате выполненных электромагнитных исследований получены новые данные о расслоенности литосферы по электрическим параметрам на различных глубинных уровнях. Выделены зоны аномально высокой электропроводности в коре и верхней мантии, в пограничных областях крупных структурных элементов I порядка, которые находят свое отражение, как на геологических картах, так и в глубинных частях коры и верхней мантии. В верхней части разреза до глубин в десятки километров – это субвертикальные или наклонные проводящие вставки, соответствующие зонам тектонических нарушений, для большей части которых прослеживается связь с протяженным коровым проводником. Возможно, что его природа обусловлена не только литологией пород, но и различной флюидонасыщенностью, что согласуется с построенными гидродинамическими и реологическими моделями строения коры с учетом флюидов [8, 10].

Принципиальный результат получен в интервале астеносферных глубин 60-120 км. Здесь выделено два типа геоэлектрических разрезов с наличием и отсутствием слоя повышенной проводимости в центральных зонах Северного Урала, включающих Центрально-Уральское поднятие, Тагильскую мегазону и Восточно-Уральское поднятие, что увязывается с пониженными значениями теплового потока в данном сечении [12]. С большой долей вероятности это может указывать на особенность проявления Уральского тектогенеза в палеозое. Наличие "безастеносферной" мантии в центральных зонах Северного Урала свидетельствует о том, что ее состояние в настоящее время соответствует смене режима аномально разогретой мантии (вероятно, доордовикский возраст) на "холодный" режим пострифтового этапа.

Таким образом, представленный геоэлектрический разрез наглядно показывает, что электропроводность вещества следует рассматривать в качестве индикатора геологических процессов, которые привели к формированию и развитию Урала. Наличие проводящих участков литосферы, обусловленных вероятно, влиянием флюидного фактора, следы которых отображены в моделях за время геологической истории, являлись каналами внедрения и насыщения пород телами основных и ультраосновных интрузий с последующим метаморфизмом и осложненными сдвиговыми перемещениями.

*Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 7 (№ 12-Т-5-1020).*

#### Список литературы

1. Альмуханбетов Д., Алинбеков Е., Галкин А.С., Тулегенов С. Исследование земной коры и верхней мантии в Казахстане магнитотеллурическими методами. Алма-Ата: Наука Каз. ССР, 1977. 152 с.
2. 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.
3. Дьяконова А.Г., Шестаков А.Ф., Варданыц И.Л., Годнева Г.С. Результаты глубинного магнитотеллурического зондирования в Уральском регионе // Физика Земли, 1990. № 2. С. 79-90.
4. Дьяконова А.Г. Особенности строения тектоносферы Уральского региона по электромагнитным данным // Физика Земли, 1994. № 6. С. 97-102.
5. 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.
6. Дьяконова А.Г., Иванов К.С., Астафьев П.Ф., Вишнев В.С., Коноплин А.Д. Геоэлектрические особенности строения земной коры и верхней мантии Южного Урала // Геология и геофизика, 2007. Т.48. № 10. С. 1086-1095.
7. Дьяконова А.Г., Иванов К.С., Астафьев П.Ф., Вишнев В.С., Коноплин А.Д. Геоэлектрический разрез литосферы Северного Урала // Физика Земли, 2007. № 4. С. 15-20.
8. Иванов С.Н. О реологических моделях земной коры: критическое рассмотрение. Екатеринбург: УрО РАН. 1998. 40 с.
9. Кобытов Ф.Я. Овчинников Л.Н. Урало-Ирано-Оманский минерагенический пояс // Доклады Академии Наук СССР, 1986. Т. 290. № 5. С. 1175-1178.
10. Лобковский Л.Н. Геодинамика зон спрединга субдукции и двухъярусная тектоника плит. М.: Наука. 1988. 251 с.
11. Тектоническая карта Урала (домезозойский складчатый фундамент) масштаба 1: 1000000. Гл. ред. И.Д. Соболев. Свердловск: ПГО "Уралгеология", 1983.
12. Щапов В.А. Геотермия и глубинное строение Урала // Вторые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Ядерная геофизика. Геофизические исследования литосферы. Геотермия. Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2003. С. 138-140.