УДК 550.837

В.П.БУБНОВ
ООО «Северо-Запад», Москва
Е.Д.АЛЕКСАНОВА
Московский государственный университет
А.К.СУЛЕЙМАНОВ
ФГУГНПП «Спецгеофизика», Москва

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГИОНАЛЬНЫХ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЕ В 2003 г.

Магнитотеллурические исследования входят в комплекс региональных геофизических работ, проводимых по инициативе МПР РФ практически во всех крупных тектонических провинциях России. Основной их целью является обеспечение национальной минерально-сырьевой базы. Исследования включают оценку нефтегазоперспективности осадочных бассейнов и минерагеническое районирование территорий, а также изучение геодинамического состояния регионов. Приводится обзор наиболее интересных результатов, полученных на Восточно-Европейской платформе в 2003 г.

Magnetotelluric measurements are performed in all major tectonic provinces of Russia together with other kinds of geophysical surveys. This work is initiated by the Ministry of Natural Resources of Russia. It is performed to evaluate the potential of mineral resources, including the estimation of hydrocarbon perspectives of the sedimentary basins and the mineralogical zoning of folded regions, as well as to study the geodynamic conditions of the regions. In this paper we review the results, obtained in 2003 at the East-European platform.

В 2003 г. магнитотеллурические (МТ) исследования проведены в пределах крупнейших структур Восточно-Европейской платформы: Московской синеклизы, Воронежской антеклизы, Волго-Уральской антеклизы. Работы выполнялись в рамках комплексных геофизических работ на опорном геофизическом профиле 1-ЕВ (участок Венев – Воронеж) и на региональных геофизических профилях в западной части Волго-Уральской антеклизы (рис.1).

Целью МТ-исследований являлось изучение геоэлектрического строения осадочного чехла и земной коры. Решались следующие задачи: 1) в осадочном чехле – наполнение сейсмогеологического разреза геоэлектрическими параметрами, выявление аномалий повышенной проводимости, связанных с улучшением коллекторских свойств; 2) в земной коре – выделение блоков и слоев с аномальными геоэлектрическими параметрами, которые определяют ее расслоенность и блоковую структуру, проводящих зон, связанных с глубинными флюидонасыщенными разломами, областями графитизации и сульфидизации.

Полевые измерения и первичная обработка выполнены электроразведочной партией ФГУГНПП «Спецгеофизика». Были использованы двух- и пятикомпонентные станции канадской фирмы «Phoenix Geophysics». Регистрацию и обработку проводили в синхронном режиме с использованием базовых станций. В общей сложности отработано 1400 км профилей с шагом 2-3 км между точками МТЗ.

Интерпретация проведена сотрудниками ООО «Северо-Запад» в содружестве с ведущим геофизиком ФГУГНПП «Спецгеофизика» В.И.Николаевой и с заведующим лабораторией № 6 ФГУПГНЦ РФ ВНИИгеосистем С.А.Капланом.

Методика интерпретации, разработанная в ООО «Северо-Запад», включала:

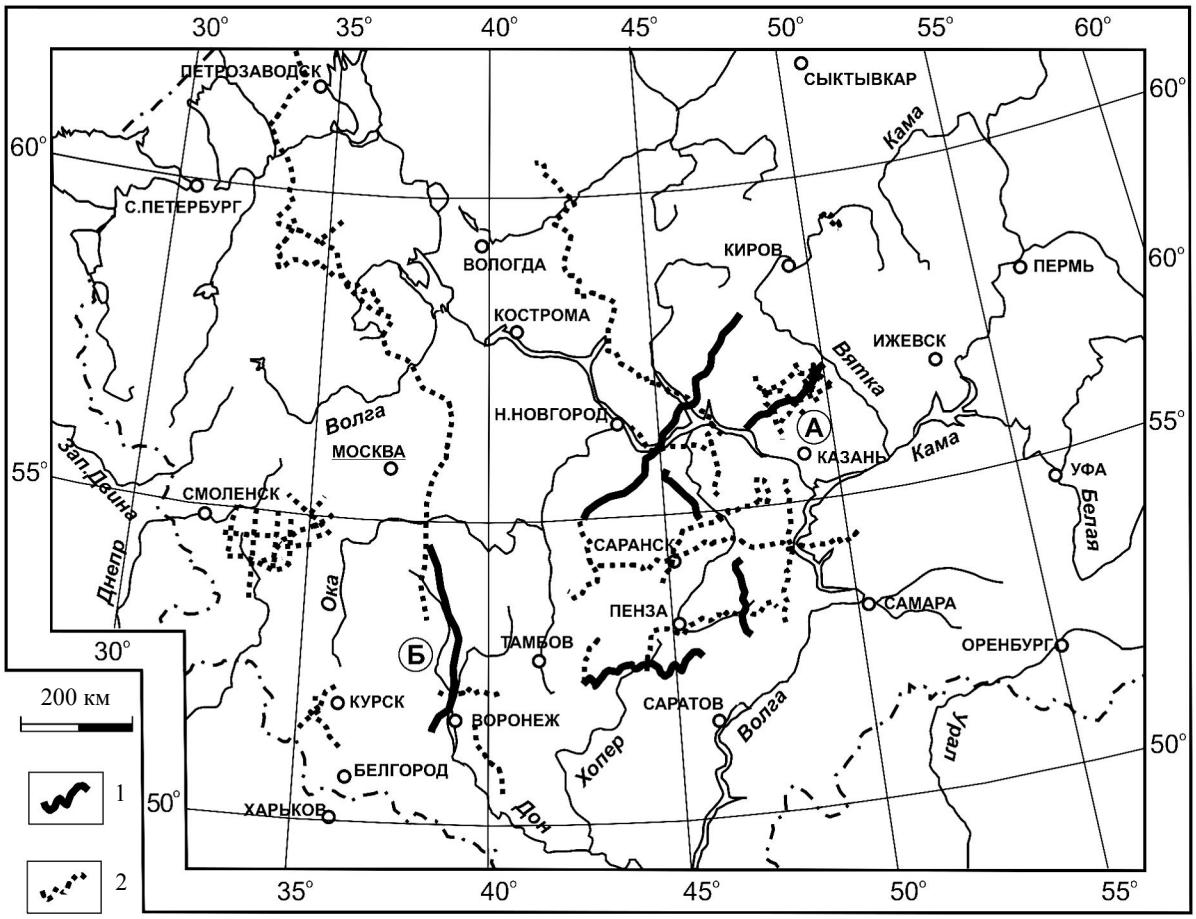


Рис.1. Схема расположения профилей магнитотеллурических зондирований (МТЗ) на Восточно-Европейской платформе
1 – профили, отработанные в 2003 г.; 2 – профили, отработанные до 2003 г.

1) ручную редакцию данных обработки и проведение сплайнов компонент тензора импеданса и типпера; 2) анализ свойств тензора импеданса и типпера; 3) выбор интерпретационной модели; 4) 1D- и 2D-инверсии МТ-данных без привлечения априорных данных; 5) 1D- и 2D-инверсии и с привлечением априорных данных; 6) согласование результатов инверсии с данными ГИС, сейсмо-, грави- и магниторазведки.

Ниже рассмотрены примеры геоэлектрических разрезов осадочного чехла и земной коры.

Осадочный чехол. Профиль Липша – Шурга – Меркуши (участок А на рис.1) протяженностью 190 км пересекает с юго-запада на северо-восток Марийскую седловину, Кировско-Кажимский авлакоген и выходит на Татарский свод.

Анализ параметров тензора импеданса и типпера показал, что для осадочного чехла и верхней части кристаллического фундамента можно использовать 1D-модель. Нормализованные и сглаженные среднегеометрические кривые МТЗ инвертированы в рамках одномерной модели.

Для этого была использована процедура автоматической одномерной инверсии в программе MTS Prof (ООО «Северо-Запад»). Она имеет широкие возможности настройки параметров инверсии, а также позволяет проводить автоматическую инверсию с опорой на априорную модель (например, на результат одномерного подбора), что дает возможность выявить как региональные особенности геоэлектрического разреза, так и различные детали. Предварительно было проведено тестирование про-

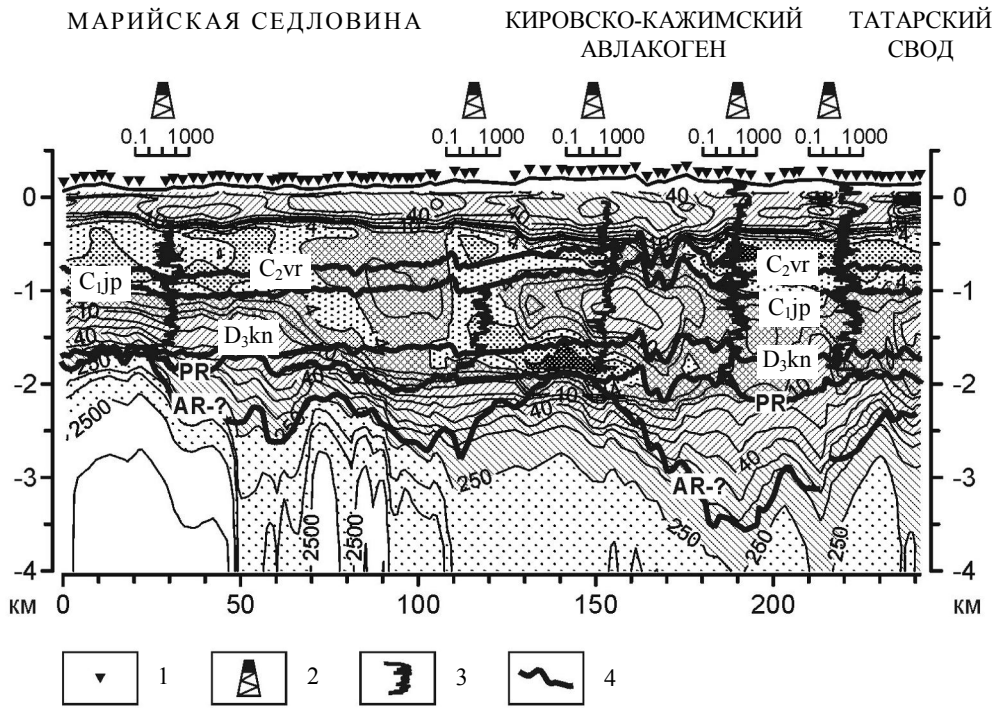


Рис.2. Геоэлектрический разрез по профилю Липша – Шурга – Меркуши, полученный по автоматической 1D-инверсии с привлечением априорных данных
1 – пикеты МТЗ; 2 – скважины; 3 – диаграммы электрокаротажа (КС); 4 – сейсмические границы

граммы на модели разреза, характерной для рассматриваемого региона. Полученный разрез показан на рис.2. Геоэлектрический разрез по одномерному подбору выполнен в виде наполнения сейсмогеологического разреза геоэлектрическими параметрами. На основе данных электрокаротажа скважин выделены крупные геоэлектрические слои, границами которых являются сейсмические отражающие горизонты.

Геоэлектрический разрез осадочного чехла четко разделяется на два этажа – верхний высокоомный и нижний проводящий.

Верхний относительно высокоомный геоэлектрический этаж представлен отложениями Q, P и C_3. Это преимущественно карбонатные и галогенно-карбонатные породы. Максимальные сопротивления (100 Ом·м и более) находятся в центральной части профиля в области сочленения Марийской седловины и Кировско-Кажимского авлакогена.

Проводящий этаж осадочного чехла сложен породами $C_{1\text{-}2}$-D_3 и является наиболее перспективным на поиски нефти и газа в трещиноватых карбонатах каменноугольного возраста. В нем отчетливо выделяются три геоэлектрических слоя.

Первый слой представлен трещиноватыми карбонатно-терригенными породами (подошвой является сейсмический отражающий горизонт C_1jp) с сопротивлением 2-10 Ом·м. Наибольшие сопротивления наблюдаются в восточной части Марийской седловины и в пределах инверсной структуры в Кировско-Кажимском авлакогене. Второй слой более высокоомный, представлен более плотными карбонатными породами (ограничен сейсмическими горизонтами C_1jp и D_3kn) с сопротивлением 10-50 Ом·м. Третий слой наиболее проводящий, представлен пористыми терригенными отложениями, насыщенными высокоминерализованными водами (ограничен сейсмическими горизонтами D_3kn и PR). В западной части профиля он практически выклинивается и имеет сопротивление до 10 Ом·м. В центральной части профиля в Кировско-Кажимском авлакогене его мощность уве-

личивается до 500 м, а сопротивление уменьшается до долей ом-метра. В восточной части профиля его сопротивление снова повышается до 5 Ом·м.

Промежуточный этаж, представленный протерозойскими отложениями, имеет ограниченное распространение. В пределах профиля эти отложения выделяются в восточной части Марийской седловины (мощностью до 1 км) и в Кировско-Кажимском авлакогене (0,7-1,5 км). Сопротивление этого слоя составляет 70-150 Ом·м. С этим этажом в последнее десятилетие связывается нефтегазоперспективность Московской синеклизы и прилегающих территорий.

Ниже располагается высокоомное основание разреза, сложенное, предположительно, кристаллическими и сильнометаморфизованными отложениями архея и протерозоя. По сопротивлению в нем выделяются два крупных блока: высокоомный на западе (тысячи ом-метров) и пониженного сопротивления на востоке (сотни ом-метров). Граница блоков проходит по зоне сочленения Марийской седловины и Кировско-Кажимского авлакогена.

Следует отметить, что в пределах профиля наблюдается хорошая корреляция между изменениями сопротивления выделенных геоэлектрических слоев и плотностью, полученной ФГУГНПП «Спецгеофизика» в результате интерпретации гравиметрических данных, целью которой являлось наполнение сейсмических границ плотностными параметрами.

Зона Кировско-Кажимского авлакогена считается наиболее перспективной на нефтегазоносность. С одной стороны, здесь присутствуют положительные инверсные структуры, с другой, наблюдаются большие мощности промежуточного комплекса и терригенного девона, а также аномалии пониженного сопротивления и плотности в нижних горизонтах осадочного чехла, говорящие об улучшении их коллекторских свойств. Покрышками могут служить глинистые отложения в карбоне и девоне, а также выделенные в этой области плотные галогенно-карбонатные пермские породы.

Земная кора. В 2003 г. на опорном геофизическом профиле 1-ЕВ МТ-исследования проводились на участке Венев – Воронеж (участок Б на рис.1). Участок профиля протяженностью 420 км пересекает с севера на юг юго-западную часть Московской синеклизы и северную часть Воронежской антеклизы. Целью работ являлось получение данных о геоэлектрических свойствах верхней части земной коры по данным МТ-исследований и сопоставление их с данными сейсморазведки методом общей глубинной точки, грави- и магнитометрии (рис.3).

Земная кора резко неоднородна по сопротивлению как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Максимальные сопротивления (10000-25000 Ом·м) установлены на северном и южном участках профиля. В центральной части разрез коры состоит из двух слоев. Верхний слой, мощностью до 20 км, высокоомный (более 1000 Ом·м), нижний – низкоомный (200-400 Ом·м) коровый проводящий. Ниже сопротивление вновь повышается до 800 Ом·м.

Для построения графиков интервальных сопротивлений кривые МТЗ осредняли по участкам профиля, выбранным на основе схожести кривых. Далее осредненные кривые инвертировались. На основе полученных таким образом зависимостей интегральной проводимости от глубины и выделенных сейсморазведкой границ рассчитывали интервальные сопротивления. Таким образом, интервалы вдоль профиля и по глубине выбраны по результатам анализа и интерпретации электроразведочных и сейсмических данных. Пространственные размеры объектов земной коры таковы, что объекты уверенно проявляются в данных обоих геофизических методов.

Характерная закономерность проявляется в том, что рост сопротивления и скорости происходит от поверхности кристаллического фундамента до глубины 20 км. При

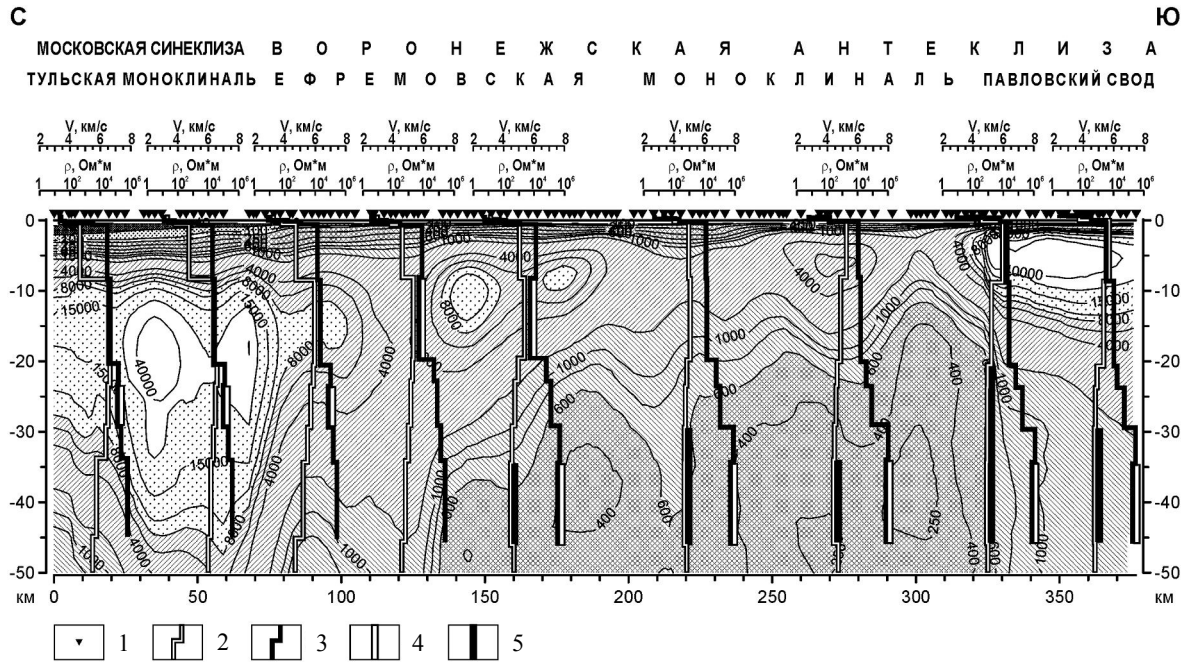


Рис.3. Сопоставление геоэлектрического разреза по профилю 1-ЕВ (участок Венев – Воронеж) с графиками интервальных скоростей и сопротивлений
1 – пикеты МТЗ; 2 – графики интервальных сопротивлений; 3 – графики интервальных скоростей; 4 – сейсмические «волноводы»; 5 – коровые проводники

увеличении глубины тенденция роста скорости сохраняется, а сопротивление начинает убывать. Такое уменьшение сопротивления и расслоение земной коры по электрическим свойствам установлено геоэлектрическими исследованиями на Балтийском и Канадском щитах, где верхняя часть земной коры до глубины 15 км обладает наиболее высокими сопротивлениями (10^4-10^5 Ом·м). Глубже сопротивления уменьшаются на 2-3 порядка в основном из-за увеличения температуры. Однако экспериментальные данные показывают, что на докембрийских щитах сопротивление в нижней (проводящей) части коры может составлять сотни и даже десятки ом-метров. Природа такого относительно низкого сопротивления нижней части коры не совсем ясна.

Процесс плавления горных пород практически исключается из-за сравнительно малых температур (200-400 °С). Тогда электропроводность может создаваться проводящей пленкой, обволакивающей зерна высокоомных минералов. Пленка может состоять из графита или надкритического соленого флюида. Эти гипотезы подробно рассмотрены в работах [1, 2, 4, 5].

По графикам, показанным на рис.3 видно, что общая закономерность изменения скорости и сопротивления нарушается в отдельных пространственных интервалах. Ситуация, когда уменьшению скорости отвечает уменьшение сопротивления, установлена на участке профиля от 140 до 320 км в интервале глубин 35-45 км. Геологической причиной такой корреляции скорости и сопротивления могут быть ослабленные участки земной коры (сейсмические волноводы). Сопоставление с данными гравиметрии и магнитометрии показало коррелируемость аномальных зон сопротивления пород коры с аномальными зонами плотностных и магнитных свойств.

Аналогичный слой наблюдается на всем профиле Липша – Шурга – Меркуши. В западной части на территории Марийской седловины он располагается на глубинах 30-40 км и имеет сопротивление около 300 Ом·м. Восточнее, в пределах Кировско-Кажимского авлакогена и западного склона Татарского свода, кровля этого слоя поднимается до

10 км, мощность увеличивается, а сопротивление уменьшается до 100 Ом·м. По данным МТЗ, на Татарском своде этот проводящий коровый слой наблюдается практически повсеместно, местами выходя к подошве осадочного чехла. Некоторые исследователи связывают существование корового проводника с нефтеносностью Татарского свода.

Существование таких структур практически повсеместно признается многими исследователями, однако их природа в настоящее время не выяснена. Основной гипотезой, подробно рассмотренной в работе [3], является предположение о флюидной природе этих зон и существовании единой флюидной системы, образованной реологически ослабленными зонами верхней коры, листрическими разломами и пористыми породами осадочного чехла. Информация о наличии и расположении таких зон, их внутреннем строении очень важна с практической точки зрения, так как с движением флюидов в этих зонах связано образование месторождений, и в частности месторождений нефти и газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ваньян Л.Л.* О природе электропроводности консолидированной коры / Л.Л.Ваньян, Р.Д.Хайндман // Физика Земли. 1996. № 4. С 5-11.

2. *Жамалетдинов А.А.* Графит в земной коре и аномалии электропроводности // Физика Земли. 1996. № 4. С.12-29.

3. *Каракин А.В.* Разломы, трещиноватые зоны и волноводы в верхних слоях земной оболочки / А.В.Каракин, Ю.А.Курьянов, Н.И.Павленкова. М.: Государственный научный центр Российской Федерации – ВНИИгеосистем, 2003. 230 с.

4. *Киссин И.Г.* Катакластическое разрушение пород земной коры и аномалии геофизических полей // Физика Земли. 1996. № 4. С.30-40.

5. *Николаевский В.Н.* Роль флюидов в формировании сейсмической расслоенности земной коры // Физика Земли. 1996. № 4. С.41-49.