

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.837

КОМПЛЕКС ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
ДЛЯ НЕФТЕПОИСКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М.И. Эпов<sup>1,2</sup>, Е.Ю. Антонов<sup>1</sup>, Н.Н. Неведрова<sup>1,2</sup>, В.В. Оленченко<sup>1,2</sup>, Е.В. Поспеева<sup>1</sup>, Д.В. Напреев<sup>3</sup>,  
А.М. Санчаа<sup>1</sup>, В.В. Потапов<sup>1,2</sup>, А.Е. Плотников<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,  
630090, Новосибирск, просп. Академика Котляго, 3, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

<sup>3</sup> Научно-производственное предприятие геофизической аппаратуры «Луч»,  
630051, Новосибирск, ул. 2-я Юргинская, 34, Россия

Электромагнитные зондирования с контролируемым и естественным источником (ЗС, МТЗ) в комплексе с геохимическими методами были опробованы при выполнении разведочных работ на углеводороды в Западной Сибири. Для метода ЗС получена высокая разрешающая способность, глубинность, локальность исследования при относительно небольших размерах установки (меньше глубины залегания исследуемого объекта). МТЗ как метод, ориентированный на глубинные исследования, дает возможность контролировать структуру палеозойского основания и уточнить его электрофизические параметры. Геохимические данные позволяют судить о месторождениях углеводородов по минералогическим изменениям близповерхностных пород.

*Метод зондирования становлением поля, магнитотеллурические зондирования, геохимические методы исследований, комплексная интерпретация.*

INTEGRATED ELECTROMAGNETIC AND GEOCHEMICAL SURVEYS  
FOR PETROLEUM EXPLORATION IN WEST SIBERIA

M.I. Eпов, E.Yu. Antonov, N.N. Nevedrova, V.V. Olenchenko, E.V. Pospeeva, D.V. Napreev,  
A.M. Sanchaa, V.V. Potapov, and A.E. Plotnikov

Electromagnetic soundings with controlled and natural sources (TEM and MT, respectively) integrated with IP and geochemical surveys have been tested for petroleum exploration in West Siberia. The TEM method, with loop sizes smaller than the depth to the target, provide high resolution, sufficient penetration depth, and data locality. The MT method sounds deeper earth and can place constraints on the Paleozoic basement structure and its electrical properties. The petroleum implications of IP and geochemical data are associated with secondary alteration (mineralization) of rocks over oil traps.

*Transient electromagnetic (TEM) sounding, magnetotelluric (MT) sounding, induced polarization (IP), geochemical survey, joint data processing and interpretation*

ВВЕДЕНИЕ

В Западной Сибири сосредоточены значительные топливно-энергетические ресурсы России. По оценкам разных исследователей, неразведанные запасы нефти в этой провинции составляют 40—50 % начальных извлекаемых ресурсов России, что может обеспечить ее стабильную добычу в этом регионе на долгий период [Актуальные..., 2003; Конторович, 2008].

Осадочный комплекс Западной Сибири однообразен и в основном представлен песчано-алевролитовыми и глинистыми породами. Можно отметить, что этот тип разреза сложен для методов электроразведки. Поэтому при геоэлектрических исследованиях в Западной Сибири необходимы новые подходы, направленные на повышение геологической информативности методов электроразведки при поисках месторождений нефти и газа. Рассматривая возможности электроразведки, предложено комплексирование различных методов с контролируемыми и естественными источниками, имеющих разную глубин-

ность исследования: зондирования становлением поля (ЗС) и магнитотеллурические зондирования (МТЗ). Следует отметить, что этот комплекс традиционно применяется при нефтепоисковых работах у нас в стране и за рубежом, но важным дополнением к этому комплексу являются геохимические данные, позволяющие судить о наличии залежей УВ по вторичным изменениям подповерхностных отложений. Предложенный подход был опробован на двух участках Западной Сибири [Тригубович, Эпов, 2008].

Как правило, данные ЗС и МТЗ существенно дополняют друг друга. Каждый метод имеет свои преимущества: данные ЗС более детально отражают верхнюю и среднюю части до глубин 3—4 км (в зависимости от геоэлектрических условий и параметров генераторно-приемных установок). Методом МТЗ возможно получение информации о глубинном строении, как показывает опыт, до 10—15 км.

Предпосылки применения геохимических методов следующие. Согласно современным представлениям, над нефтяной залежью в отложениях верхней части разреза под влиянием миграции УВ происходят значительные физико-химические изменения. Первые упоминания о минералогических изменениях над месторождениями УВ и предположения о взаимосвязи этих явлений были высказаны еще в начале XX в., когда в осадочных отложениях над нефтяными месторождениями США и Ираке были обнаружены пирит и другие сульфиды, цементирование песчаников кальцитом. В дальнейшем эти проявления отмечались в других нефтяных регионах, но детальные исследования выполнены в небольших объемах. В настоящее время, в связи с появлением высокоточного оборудования для геохимической съемки, интерес к этим явлениям существенно возрос. Вторичные изменения минералогических и физических свойств пород в большинстве своем достаточно контрастны по сравнению с фоновыми значениями и проявляются на небольших глубинах, что дает возможность при поисках месторождений применять эти недорогие экспрессные методы исследования.

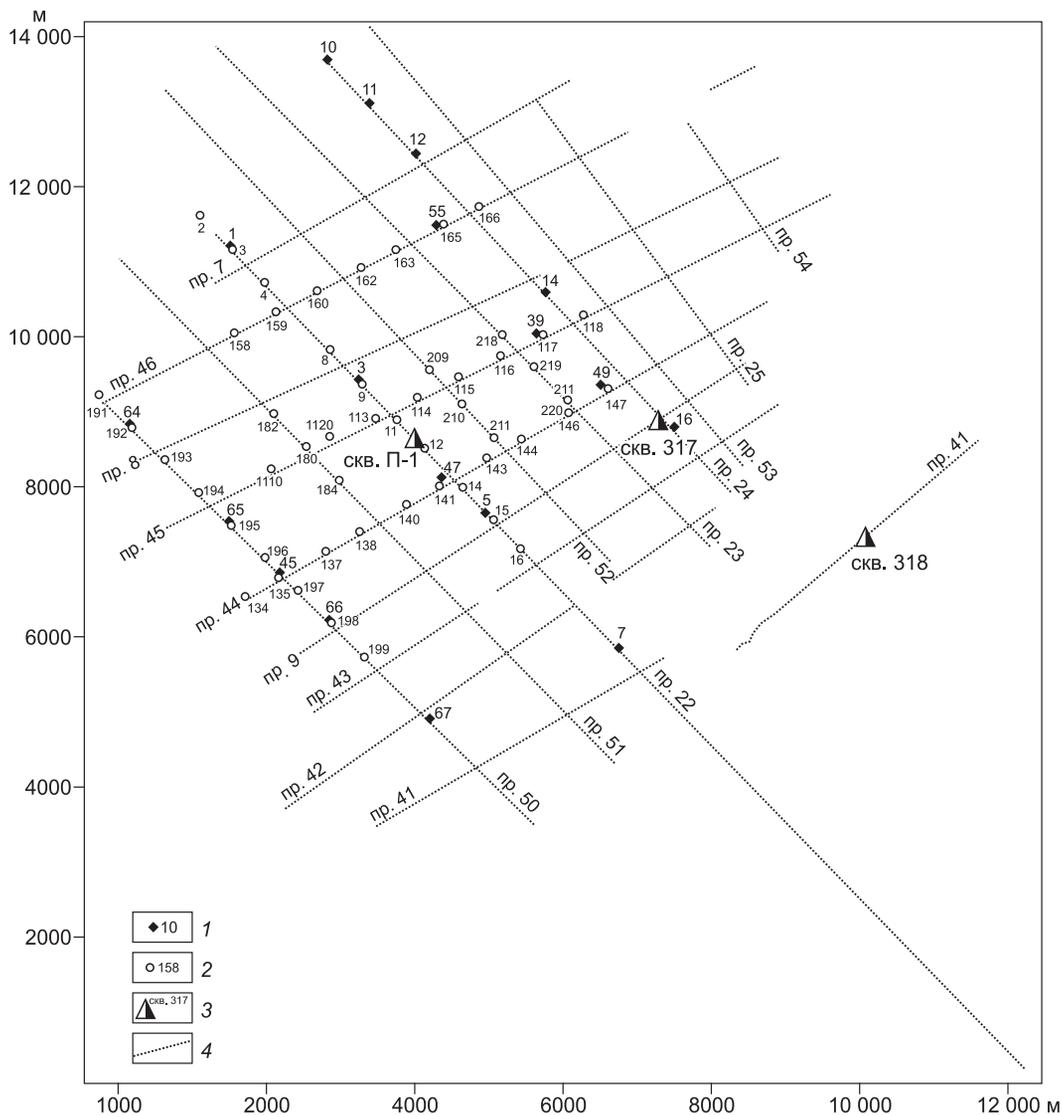
#### ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО НА УГЛЕВОДОРОДЫ УЧАСТКА В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Первый участок расположен на севере Томской области. Измерения комплексом электромагнитных (ЗС, МТЗ, ВП) и геохимических методов были выполнены по системе сейсмических профилей прошлых лет (рис. 1). Вначале рассмотрим результаты, полученные электромагнитными методами. Метод ЗС применен в двух модификациях с соосными и разнесенными установками в 52 пунктах. Сторона незаземленной генераторной квадратной петли составляла 500 м, приемные петли были выбраны размером 75 × 75 м. В качестве источника использовался генератор переменного тока с напряжением до 400 В и мощностью 100 кВт. Максимальная величина тока в генераторной петле составляла 150 А.

В геоэлектрических условиях Западной Сибири особенно важно качество полевого материала. Поэтому на первом этапе интерпретации был осуществлен анализ всех полученных данных ЗС. При этом оценивались погрешности измерений, возможные искажения экспериментальных кривых [Эпов и др., 2006], рассматривался характер изменения кривых по профилю, их корреляция между собой. В результате были выделены пункты, в которых получены наиболее полные неискаженные полевые кривые с хорошо выраженным минимумом и правой восходящей ветвью, полностью соответствующие модели горизонтально-слоистой среды, по которым можно уверенно определить глубину до опорного электрического горизонта и его удельное электрическое сопротивление. С использованием выбранных ЗС и данных глубокого бурения (скв. 317, 318, П-1) была построена начальная геоэлектрическая модель разреза, которая далее дорабатывалась и уточнялась в процессе интерпретации. В результате первого этапа обработки получены дифференцированные кривые, характеризующие многослойный разрез. Все кривые отражают присутствие в разрезе мощных горизонтов с низкими значениями электросопротивлений. У большинства кривых ЗС имеется восходящая правая ветвь, наличие которой позволяет определить глубины до палеозойского основания и судить об его удельном электрическом сопротивлении (УЭС). Значения УЭС опорного электрического горизонта (основания), по крайней мере, в несколько раз выше сопротивления нижних осадочных горизонтов.

Рассмотрим для примера характерную полевую кривую ЗС и полученную после интерпретации геоэлектрическую модель (рис. 2). Пункт зондирования ЗС № 15 расположен в восточной части области. Вертикальными штрихами показаны полевые данные. Размер штриха характеризует погрешность измерений, которая для большей части кривой не превышает 5 %.

Модельная кривая показана сплошной линией. Можно отметить очень хорошее совпадение двух кривых во всем временном интервале. Наблюдаются только незначительные искажения на самых ранних временах, связанные с приповерхностными неоднородностями разреза. В геоэлектрической модели большая часть слоев характеризуется очень низкими значениями удельного электрического сопротивления. Самыми высокоомными являются три верхних слоя, их общая мощность достигает 300 м. Глубже 300 м сопротивления понижаются в три раза и более. УЭС опорного электрического горизонта 50 Ом·м, этот порядок значений УЭС характерен для всей исследуемой площади.



**Рис. 1. Схема измерений комплексом методов электроразведки и геохимии на участке в Томской области.**

1 — пункты МГЗ, 2 — пункты ЗСБ, 3 — поисковая скважина и ее номер, 4 — пункты отбора проб на хроматографический и ионометрический анализ.

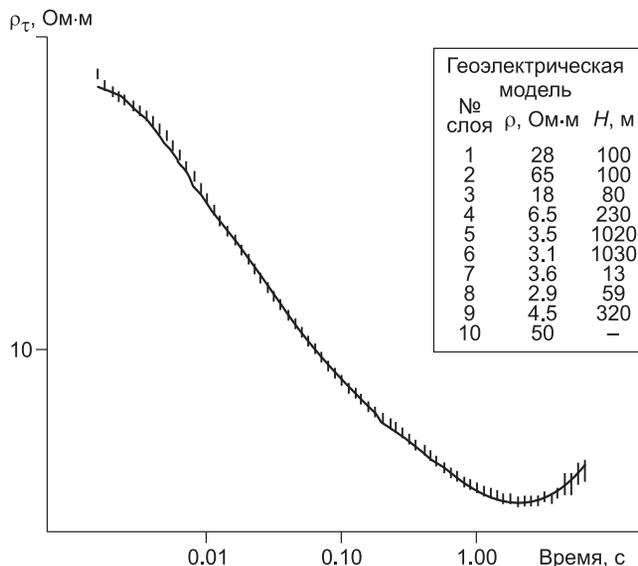
Полевые данные ЗС проинтерпретированы в программных комплексах Эра и EMS [Эпов и др., 1990; Хабинов и др., 2009]. Рассмотрим примеры интерпретации полевых данных с использованием комплекса EMS по профилю 22 (рис. 3).

Профиль выполнен с северо-запада на юго-восток. Выбранная цветовая шкала позволяет проследить изменения УЭС для каждого слоя разреза. Наиболее высокоомным является опорный электрический горизонт, его сопротивления изменяются от 100 Ом·м на северо-западе (ЗС № 3—12) до 40—50 на юго-востоке (ЗС № 14, 15, 16). Наиболее изменчив по значениям сопротивления самый верхний приповерхностный слой. Все отложения, залегающие ниже отметки в 200—250 м, низкоомные и малоконтрастные. Тем не менее качество полевых данных позволяет расчленить эту часть разреза и выделить несколько геоэлектрических горизонтов. В результате интерпретации были определены послойные геоэлектрические параметры (продольное сопротивление, мощность горизонтов осадочного чехла) для каждого зондирования. Эти данные были использованы для построения геоэлектрических разрезов и карт геоэлектрических параметров [Неведрова и др., 2013].

Наиболее интересна структурная карта глубин до кровли продуктивного горизонта — баженовской свиты, показанная на рис. 4.

**Рис. 2. Характерная полевая кривая ЗС, геоэлектрическая модель в результате инверсии.**

Соосная установка: генератор 500 × 500 м, измеритель 67 × 67 м.



На карте выделено несимметричное малоамплитудное поднятие, вытянутое с юго-востока на северо-запад. На основе геолого-геофизической интерпретации, включающей анализ каротажных диаграмм, испытаний скважин, карт толщин отдельных горизонтов юры (баженовского, васюганского, тюменского), с учетом распределения УЭС этих горизонтов, сейсмических и геохимических данных, был сделан вывод перспективности на углеводороды выделенного антиклинального поднятия на уровне баженовской свиты.

Карты распределения различных геоэлектрических параметров могут служить источником дополнительных характеристик по перспективным участкам. Карта распределения УЭС маркирующего горизонта, залегающего выше баженовской свиты показана на рис. 5.

Из сопоставления рис. 4 и 5 сделан вывод, что над контуром положительной структуры по кровле баженовского горизонта, наблюдается аномалия УЭС маркирующего горизонта, т.е. над этим структурным элементом выделяется зона с повышенными значениями удельного сопротивления.

Интерпретация данных МТЗ состояла из двух этапов: качественного, заключающегося в выборе геоэлектрической модели изучаемого региона и количественного, направленного на определение параметров этой модели. Наибольшие трудности встречает процесс качественной интерпретации, поскольку реальное распределение МТ-поля зависит от всех элементов зондируемой среды — как вертикальных, так и горизонтальных [Бердичевский и др., 1997]. Поэтому наиболее важным является анализ магнитотеллурических данных, позволяющий построить интерпретационную модель изучаемого района. Реальный геоэлектрический разрез характеризуется изменением удельного электрического сопротивления по всем трем направлениям. Но в ряде случаев его размерность можно понизить и аппроксимировать (с определенной степенью точности) двумерной или одномерной моделью. Это значительно упрощает процесс интерпретации. Для полученных данных выполнен анализ искажений: нормализация кривых по левым частям осуществлялась с учетом уровня кривых ЗС, не подверженных факторам, искажающим МТ-поле. Нормализация кривых МТЗ по правым частям также может быть осуществлена двумя способами: приведением к «нормальным» модельным кривым, характеризующим термодинамические условия региона, в котором производятся наблюдения и приведением к «нормальной» кривой Л.Л. Ваньяна [Бердичевский и др., 2005]. С целью упрощения процесса интерпретации данных по методу эквивалентных точек применялась программа SEMAPMTZ (авторы Н.О. Свиридова, Ю.В. Утюпин), позволяющая осуществлять процесс интерпретации на компьютере в полуавтоматическом режиме. Заключительный этап количественной интерпретации осуществился на компьютере в программе LineInterMT (автор А.В. Поспеев), конечным продуктом которой является геоэлектрический разрез, отражающий распределение удельного сопротивления горных пород с глубиной. Далее было выполнено согласование геоэлектрических моделей МТЗ и ЗС.

Одним из основных результатов комплексной интерпретации данных ЗС и МТЗ является карта глубин до кровли палеозойских отложений (рис. 6), в которой также выделена положительная структура. Эта структура прослеживается во всем интервале глубин от дневной поверхности до палеозойского основания. Наблюдается общее достаточно резкое погружение кровли палеозоя в северном и северо-восточном направлениях. Этот факт подтверждается данными сейсморазведки.

Геологическая интерпретация результатов электроразведки проведена крупными геологами-нефтяниками Г.Г. Шеминым и Ю.Н. Карогодиным, подтвердившими перспективность поднятия на уровне баженовской свиты на УВ [Геология..., 2000; Карогодин, 2006; Шемин, 2007]. Кроме того, Г.Г. Шемин предположил существование перспективных на УВ зон в положительной структуре палеозойского основания. В результате последующего бурения в юго-западной части структуры был получен промышленный приток нефти.

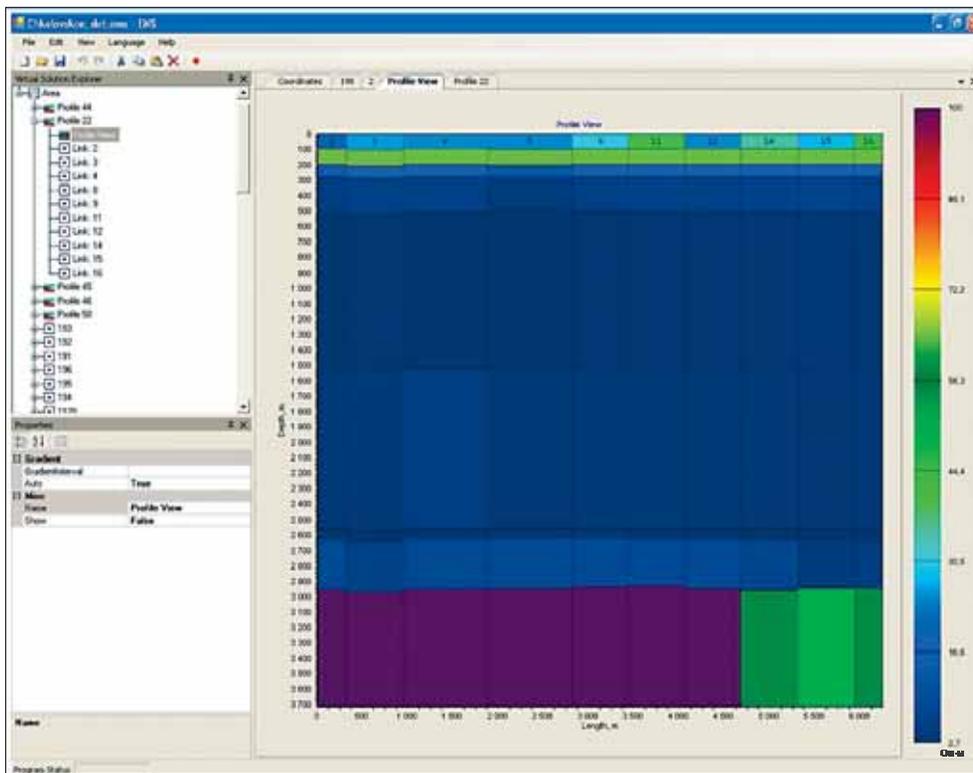


Рис. 3. Геоэлектрический разрез по профилю 22 по данным ЗС (Трассовая площадь Томской области).

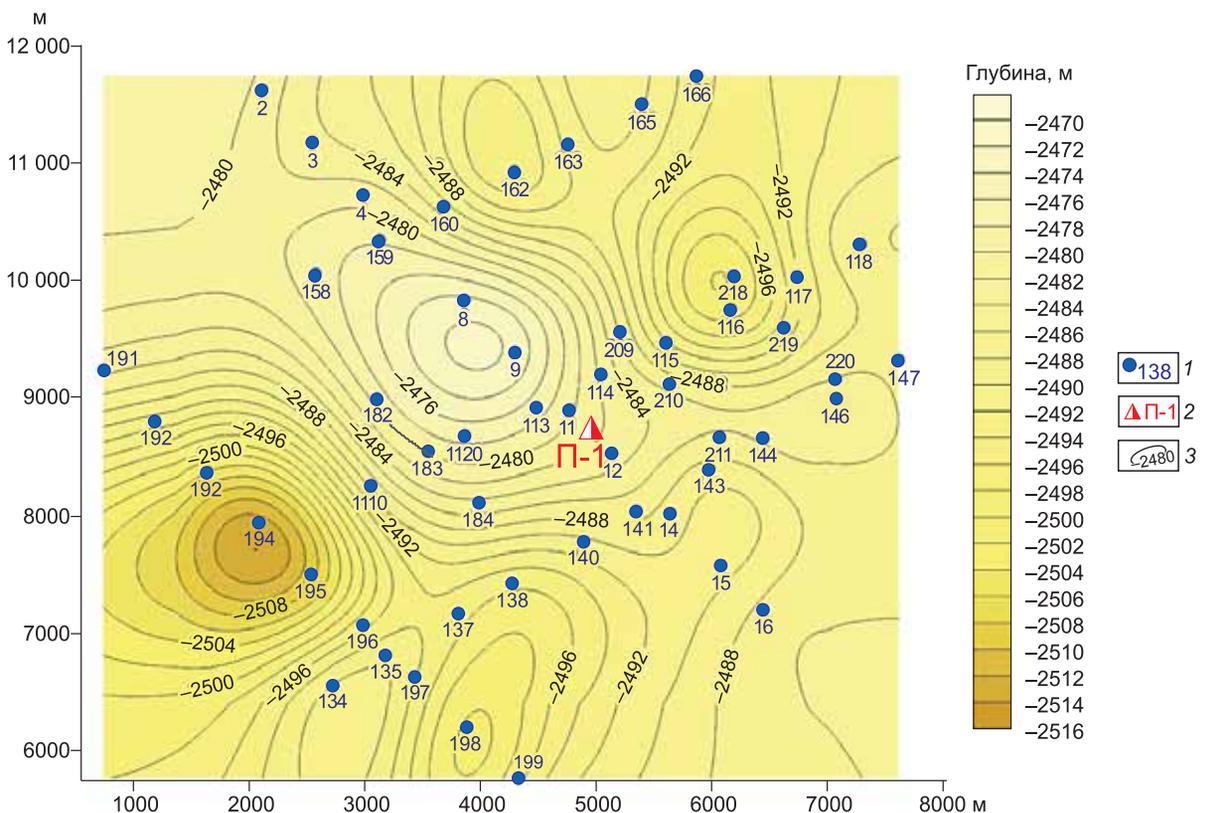
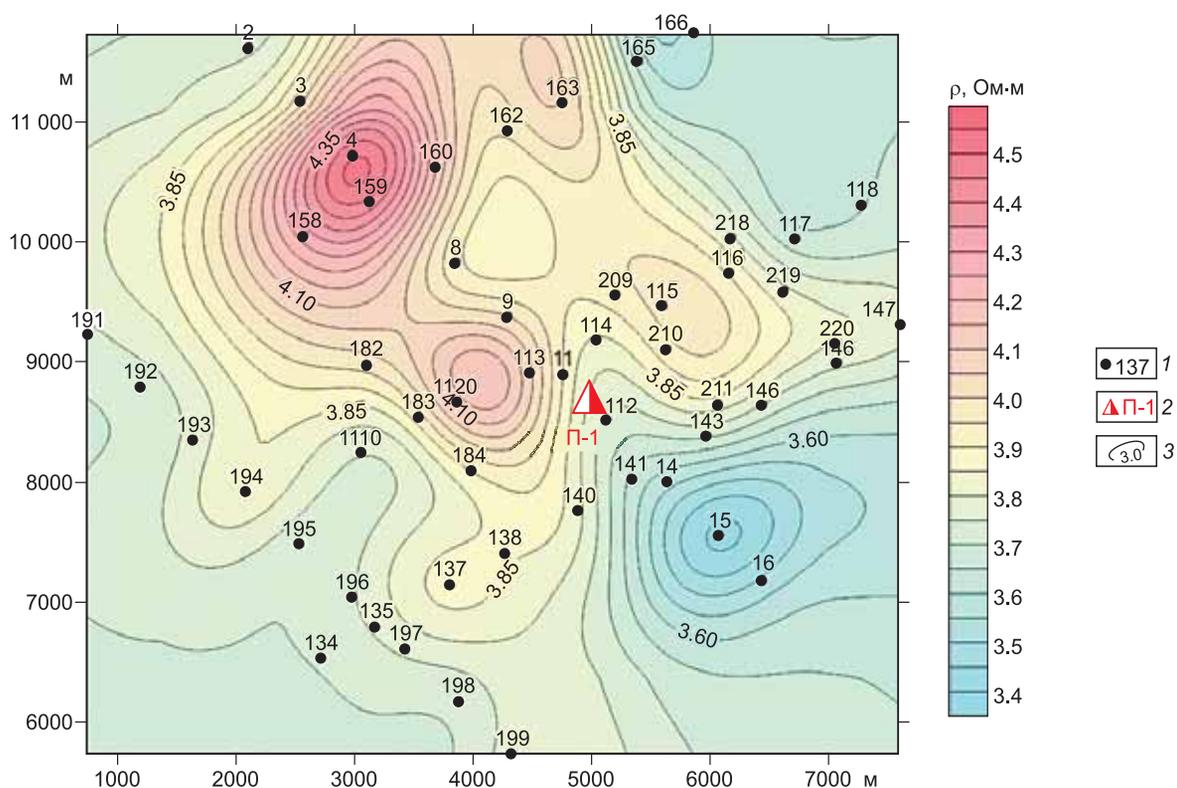


Рис. 4. Карта глубин до кровли продуктивного горизонта (базеновской свиты) по данным ЗС Трассовой площади Томской области.

1 — пункты ЗС, 2 — скважины, 3 — изогипсы по поверхности фундамента.



**Рис. 5. Распределение УЭС маркирующего горизонта по данным ЗС на Трассовой площади Томской области.**

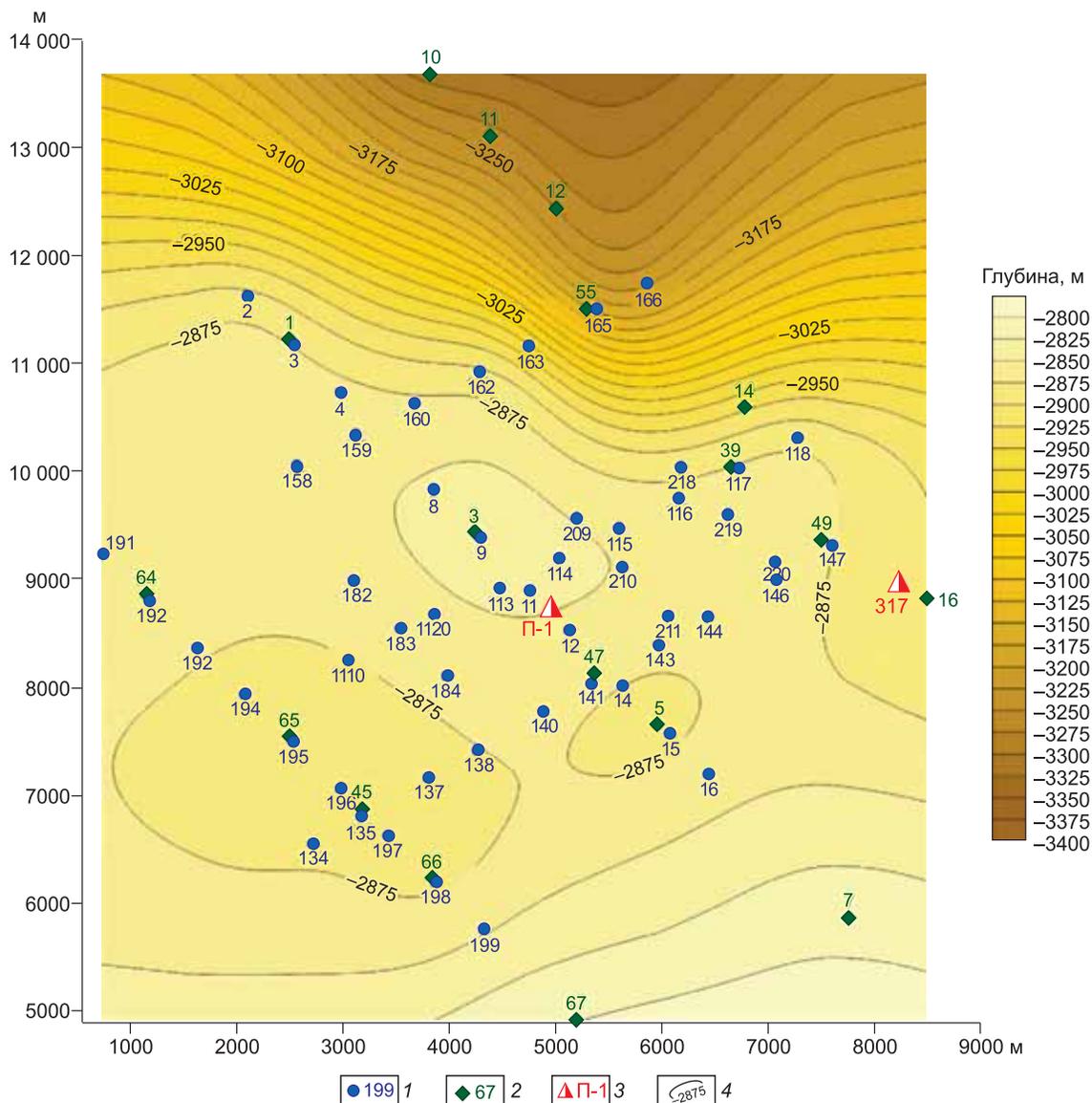
1 — пункты ЗС, 2 — скважина, 3 — изолинии УЭС.

Итак, основная цель интерпретации данных ЗС и МТЗ достигнута: составлено детальное представление о геоэлектрическом разрезе осадочного чехла участка исследований и на основе комплексного анализа выделена перспективная на углеводороды структура.

Рассмотрим геохимические данные. Предпосылками применения геохимических методов при поисках месторождений углеводородов являются представления о формировании за геологическое время ореола рассеяния углеводородов из залежи, в пределах которого нарушаются поля стабильности некоторых минералов, изменяется подвижность отдельных микроэлементов, что приводит к образованию различных аномалий вещественного состава пород. Следствием эпигенетических изменений пород становятся геофизические аномалии над залежью в акустических, электрических, магнитных, радиационных и геотермальных полях, что создает условия для применения помимо геохимического опробования и малоглубинных геофизических методов.

Залежь углеводородов, даже небольших размеров, может различным образом проявлять себя в близповерхностной части разреза. Это зависит не только от условий ее формирования, но и последующих геологических процессов, которые могут приводить к увеличению проницаемости покрывки, эрозионному срезу поверхностных отложений. Различными авторами предлагаются собственные модели развития аномалий в толще пород на основе изучения какого-либо месторождения, в большинстве своем повторяющие друг друга, а в мелких деталях — дополняющие. Следует выделить работы С.Дж. Пирсона [Pirson, 1981], рассматривавшего модель «залежь—поверхность» с собственной системой токов, приводящих к формированию аномалий в электрических и магнитных полях, которые могут быть зафиксированы как на поверхности, так и в скважинах.

Именно вследствие «дыхания залежей» в вышележащих породах, в почве, воде и воздухе фиксируются повышенные концентрации как самих углеводородов, так и высокие концентрации неуглеводородных газов (гелия, радона, йода и др.), изменения водородного показателя и окислительно-восстановительного потенциала среды, минералогические изменения в виде образования вторичного кальцита, пирита, магнетита, грейгита, солей урана, изменение глинистых минералов, изменение концентраций рассеянных элементов [Schumacher, 1996; Saunders et al., 1999]. Первые упоминания об эпигенетических преобразованиях минералогического состава пород над месторождениями углеводородов относятся к



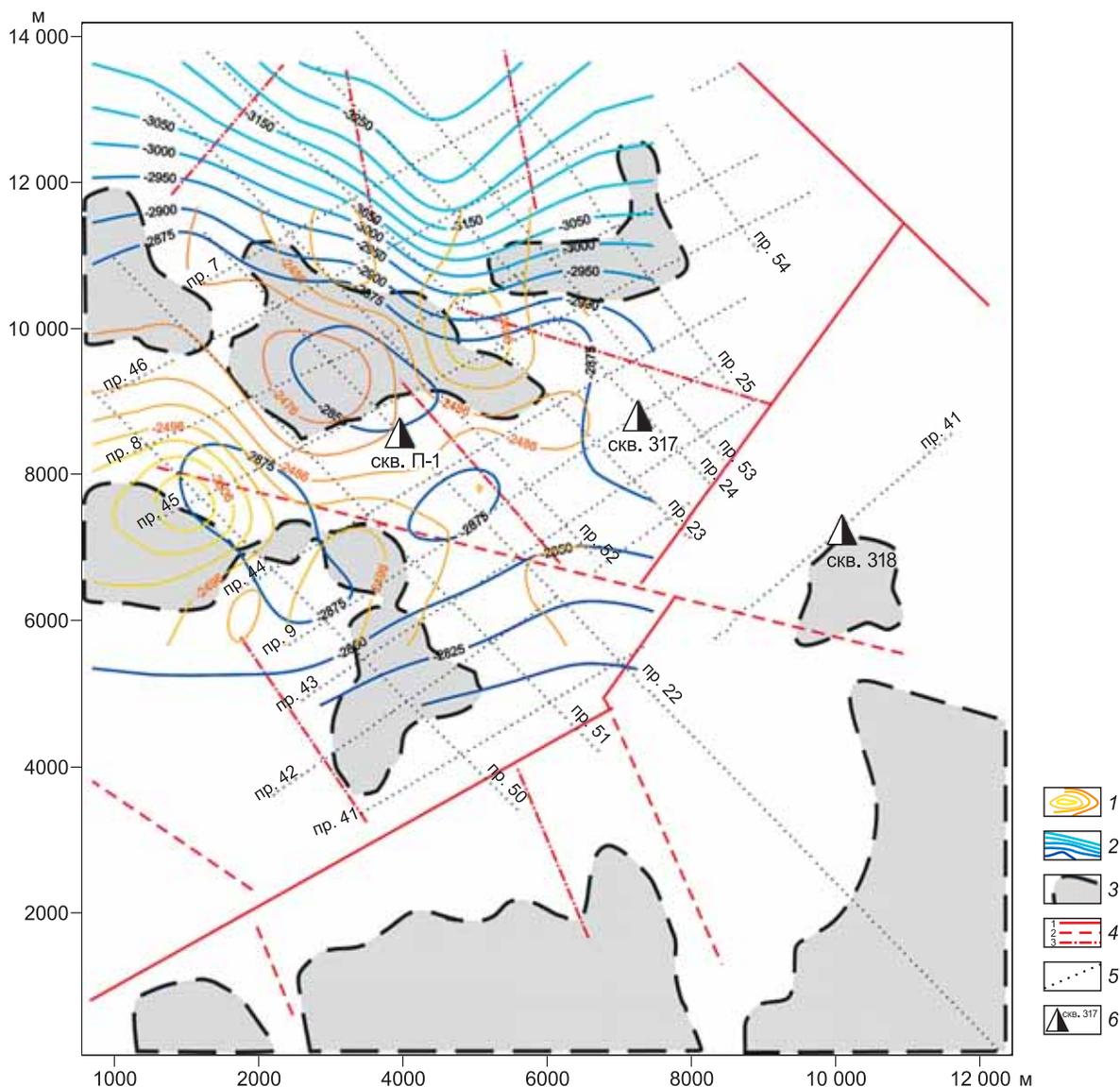
**Рис. 6. Карта глубин до кровли палеозойского основания по данным ЗС и МТЗ.**

1 — пункты ЗС; 2 — пункты МТЗ; 3 — скважины; 4 — изогипсы по поверхности фундамента.

началу XX в., когда в Луизиане в осадочных отложениях над нефтяным месторождением были обнаружены пирит и другие сульфиды [Schumacher, 1996]. С тех пор поисковые методы, направленные на выявление аномалий, вызванных эпигенетическим изменением пород, активно развивались в СССР, США и Германии. В СССР с помощью газовой и микробиологической наземных съемок (прямые поиски) было открыто несколько небольших месторождений. После Второй мировой войны развитие этих методов практически прекратилось и возобновилось лишь в последние два-три десятилетия.

Тем не менее практикой работ на нефть и газ было доказано, что над нефтяными залежами в процессе их эволюции формируются аномалии физических и геохимических полей, обусловленные изменениями минералогического состава пород под влиянием углеводородов. При геохимических преобразованиях пород над залежами углеводородов возникает система теллурических токов, порождаемая электрохимическими процессами. Вторичные изменения как в минеральном составе, так и в физических свойствах пород контрастируют с их фоновыми значениями. Это дает основание применять экспрессные методы для выявления нефтегазонасыщенных объектов.

На участке исследования в Томской области проведен отбор проб для исследования в лабораторных условиях методами хроматографии, определения водородного показателя (рН), окислительно-вос-



**Рис. 7. Результаты комплексной интерпретации электроразведочных и геоморфологических данных.**

1 — изогипсы подошвы баженовской свиты по данным ЗС; 2 — изогипсы кровли палеозойских отложений по данным ЗС и МТЗ; 3 — контуры положительных структур остаточного рельефа; 4 — тектонические нарушения по геоморфологическому анализу: 1 — первого, 2 — второго, 3 — третьего порядка; 5 — пункты отбора проб; 6 — поисковые скважины.

становительного потенциала (Eh), капаметрии, гамма-спектрометрии и, кроме того, впервые выполнена оценка поляризационных свойств образцов методом быстрых процессов вызванной поляризации (БВП). Пробы для геохимического анализа отбирались методом шнекового бурения с глубины 3.5—4.0 м и представляли собой преимущественно образцы четвертичных глин и тяжелых суглинков, в редких случаях — легких суглинков и торфяно-глинистой смеси. Измерения концентрации углеводородов в пробах осуществлялись хроматографом ФГХ-1. Электрохимический анализ проводился иономером «Мультистекс ИПЛ-103». Для измерения быстрых процессов вызванной поляризации применялся аппаратно-программный комплекс, разработанный в ЗАО НПП ГА «Луч».

На первом этапе проводился анализ результатов геоморфологических построений и методов геоэлектрики (ЗС и МТЗ). Электромагнитными методами в палеозойском основании было выявлено малоамплитудное поднятие, перспективное на углеводороды. Так как УЭС отложений палеозоя значительно выше УЭС мезозойских пород, их кровля уверенно выделяется по данным ЗС и МТЗ. По тем же признакам картируются отложения баженовской свиты. Кроме того, эти структуры подтверждаются положи-



**Рис. 8. Графики содержания ароматических углеводородов (бензол, толуол, ксилолы), окислительно-восстановительного потенциала и поляризуемости четвертичных глин.**

тельными формами остаточного рельефа в результате геоморфологического анализа. Сопоставление карты остаточного рельефа с изолиниями глубины поверхности палеозойского основания по комплексу данных геоэлектрики показало удовлетворительную сходимость результатов: севернее скв. 1 было обосновано структурное поднятие (рис. 7).

Следующим этапом был выбор интерпретационных критериев для группы геохимических методов. Для этого были построены профильные графики по всем измеряемым параметрам и оценен информационный вклад каждого из них. Было установлено, что аномалиям по содержанию ароматических углеводородов (бензол, толуол, ксилолы) пространственно соответствуют пониженные значения окислительно-восстановительного потенциала и повышенная поляризуемость четвертичных глин (рис. 8). Этот набор признаков был принят за интерпретационный критерий при выделении нефтегазоперспективных областей.

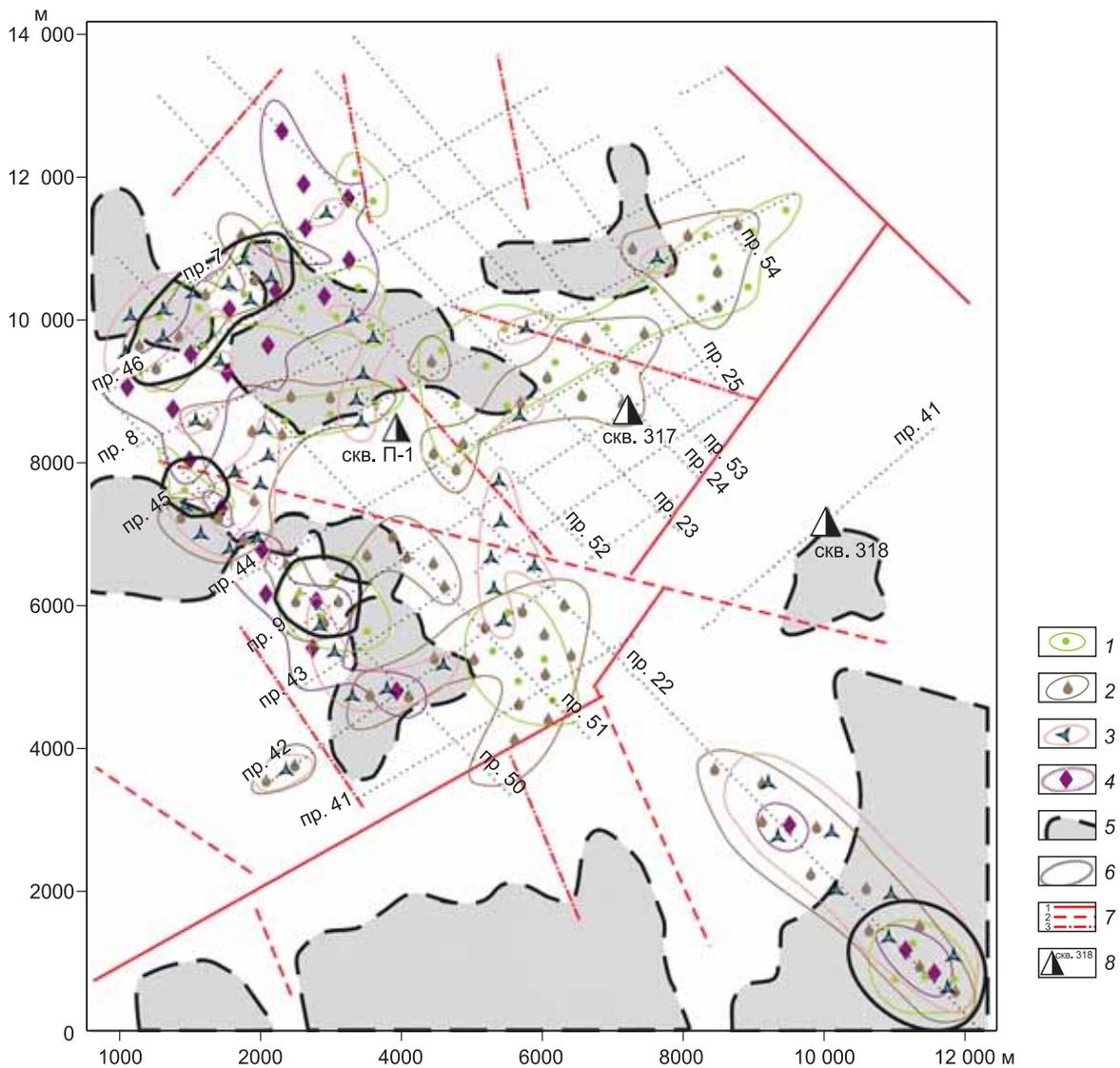
Далее были проанализированы распределения геохимических полей по площади с точки зрения приуроченности геохимических аномалий к выделенным ранее структурным элементам. Сопоставления геохимических аномалий со структурной картой приведены на рис. 9. По данным измерений вызванной поляризации (ВП) на образцах глин были околтурены аномалии поляризуемости. Анализ показал, что аномалии ВП имеют квазиколеобразную форму и тяготеют к склонам положительных структур, являющихся проекциями на дневную поверхность крыльев антиклинальных поднятий.

Аномалии по содержанию бензола и толуола были околтурены по значению  $0.04 \text{ мг/м}^3$ , что в 20 раз превышает фоновые значения. На карте хорошо заметна связь аномальных содержаний ароматических углеводородов со склонами положительных форм остаточного рельефа. При этом северо-западная структура практически полностью окаймляется контуром аномальных содержаний углеводородов, вероятно, являясь частью незамкнутой кольцевой структуры.

Отдельно стоит выделить аномалию на юго-востоке участка, которая характеризуется высокими значениями концентрации ароматических углеводородов. Из-за недостатка данных по площади невозможно сделать однозначные выводы о структуре аномалии.

На карту комплексной интерпретации геохимических и геоморфологических данных (см. рис. 9) вынесены также аномалии окислительно-восстановительного потенциала со значениями  $< 350 \text{ мВ}$  и контуры аномалий магнитной восприимчивости с  $k < 2.4 \cdot 10^{-3} \text{ ед. СИ}$ .

На основе интерпретационных критериев, полученных в процессе проведенного анализа, на площади исследования были выделены четыре области, перспективные на наличие углеводородных зале-



**Рис. 9. Результаты комплексной интерпретации геохимических и геоморфологических данных.**

1 — аномалии поляризуемости четвертичных глин > 4 %; 2 — аномалии концентрации бензола и толуола > 0.04 мг/м<sup>3</sup>; 3 — аномалии ОВП Eh < 350 мВ; 4 — аномалии магнитной восприимчивости  $k < 240 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ; 5 — положительные структуры остаточного рельефа; 6 — комплексные аномалии; 7 — тектонические нарушения по геоморфологическому анализу: 1 — первого, 2 — второго, 3 — третьего порядка; 8 — поисковые скважины.

жей на глубине. Их контуры обозначены на рис. 9. Выделенные комплексные аномалии можно рекомендовать для заверки 3D сейсморазведочными работами.

На Трассовом участке антиклинальные поднятия в палеозойском фундаменте выделяются по данным методов МТЗ и ЗС и подтверждаются положительными структурами в остаточном рельефе. К склоновым участкам положительных морфоструктур приурочены аномалии содержания углеводородов в четвертичных глинах, сопровождающиеся пониженными значениями окислительно-восстановительного потенциала глин, их повышенной поляризуемостью и пониженной магнитной восприимчивостью.

Итак, по данным комплекса методов (МТЗ, ЗС, геохимическое опробование) выделены перспективные на углеводороды зоны и определено возможное место для заложения поисковой скважины, либо для проведения детальных 3D сейсморазведочных работ.

#### ВЫВОДЫ ПО ТРАССОВОМУ ЛИЦЕНЗИОННОМУ УЧАСТКУ

1. На Трассовом участке впервые выполнен комплекс электроразведочных и геохимических методов, а также осуществлен комплексный подход к обработке и анализу данных.

2. По данным электромагнитных зондирований (МТЗ, ЗС) построен геоэлектрический разрез осадочного чехла и подстилающего палеозойского основания. Определены послойные геоэлектрические параметры (продольное сопротивление —  $\rho$ , Ом·м; мощность горизонтов осадочного чехла —  $H$ , м), которые использованы для построения геоэлектрических разрезов, структурных карт, а также карт распределения электрофизических параметров.

3. Выполнено геологическое истолкование результатов электромагнитных методов (ЗС, МТЗ) с привлечением данных по ГИС скв. П-1. В свде антиклинальных складок палеозоя выделены предполагаемые структурные зоны, перспективные на углеводороды.

4. В результате геоморфологического анализа площади исследований выявлены положительные структуры в остаточном рельефе, которые коррелируются с антиклинальными поднятиями на глубине по данным методов МТЗ и ЗС. Выделены три структуры первого порядка — Северо-Западная, Западная и Юго-Восточная.

5. Установлена тесная пространственная связь между аномалиями вызванной поляризации глин, повышенным содержанием углеводородов в пробах и пониженным значением окислительно-восстановительного потенциала глин и магнитной восприимчивости. Выявленные аномалии тяготеют к склонам положительных форм остаточного рельефа и образуют квазикольцевые структуры. Указанный набор признаков принят за один из интерпретационных критериев для выявления участков, перспективных на углеводородное сырье.

6. Комплексный анализ результатов интерпретации данных, полученных в результате полевых работ и лабораторных исследований, позволил провести районирование территории по перспективности нефтегазоносности. В пределах участка исследования были отмечены зоны, представляющие наибольший интерес для дальнейшего изучения, возможно, методами 3D-сейсморазведки и глубокого бурения. При сопоставлении результатов с сейсморазведочными данными установлена неплохая их сходимость, при этом были уточнены особенности геологического строения горизонта Ю<sub>1</sub>.

По анализу приведенных результатов можно оценить перспективы нефтегазоносности территории как очень хорошие в ее юго-западной части. Выделенные перспективные на углеводороды зоны рекомендованы к дальнейшему изучению.

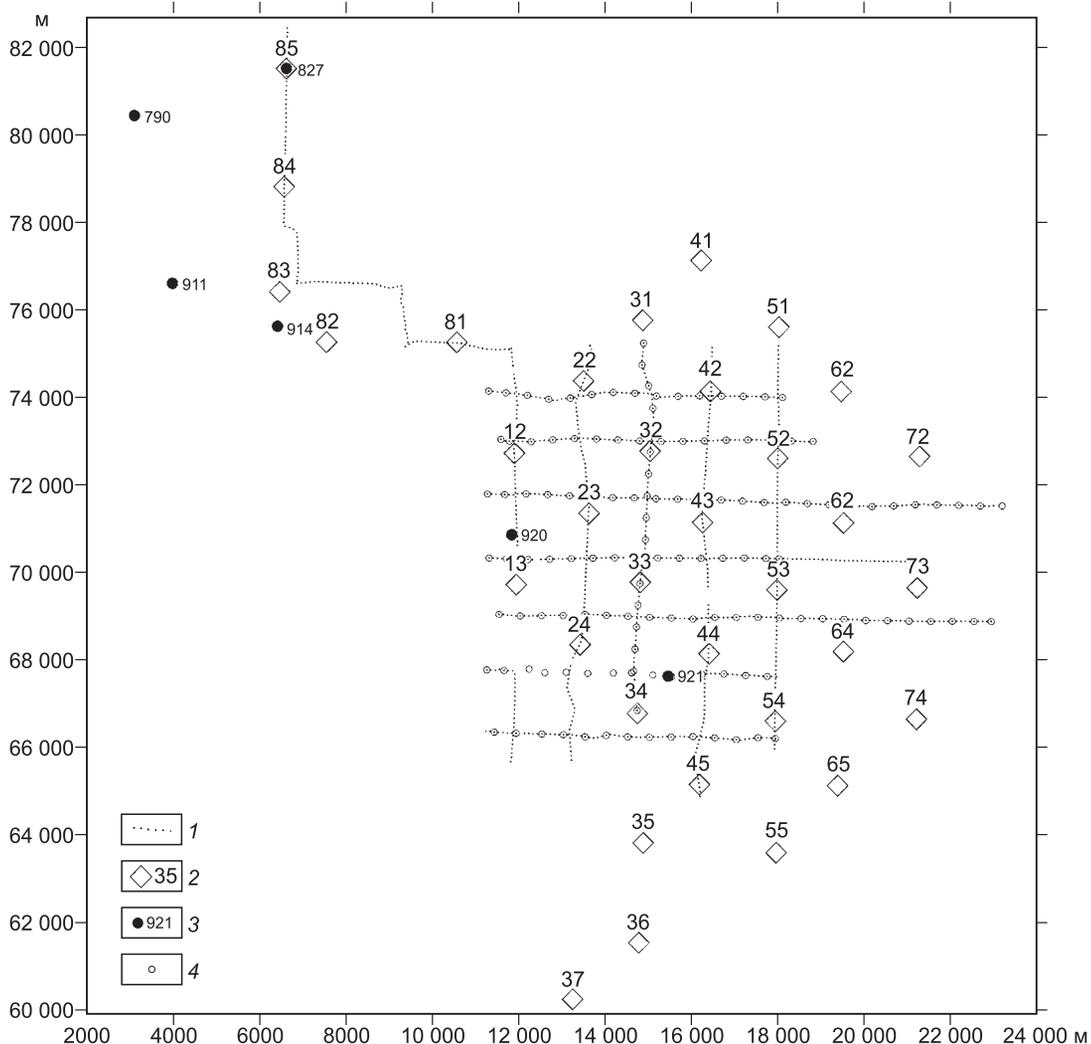
#### **РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ЗС, МТЗ И ГЕОХИМИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ НА НЕФТЕПЕРСПЕКТИВНОМ УЧАСТКЕ РОГОЖНИКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

На участке Рогожниковского месторождения по сетке старых сейсмических профилей выполнены электромагнитные зондирования становлением поля (ЗС), магнитотеллурические зондирования (МТЗ) и отбор проб для исследования в лабораторных условиях методами хроматографии, определения водородного показателя (рН), окислительно-восстановительного потенциала (Еh), капаметрии, гамма-спектрометрии, вызванной электрической поляризации (рис. 10).

В структурно-тектоническом плане участок приурочен к границе Красноленинского свода и Фроловской геологической впадины и находится в зоне влияния крупного глубинного разлома. Тектонические нарушения и разломы разграничивают многочисленные крупные блоки фундамента и осложняют строение орточехла. Вдоль разломов происходили движения блоков фундамента с проявлением вулканизма в наиболее активные тектонические этапы триасового времени [Гилязова, 2009].

Главной особенностью месторождения, делающей его уникальным, является нефтеносность нескольких горизонтов, в том числе и вулканогенных пород доюрского основания. В триасовое время на этом участке происходили процессы, связанные с базальтовым магматизмом. Продукты вулканизма скапливались в неглубокой впадине, затем в процессе активной тектонической деятельности были раздроблены на серию блоков. При этом образовались особо раздробленные тектонические зоны, формируя коллекторы трещиноватого типа. Затем вулканогенная толща испытала погружение и захоронение осадками. Нефтеносные коллекторы приурочены к викуловской, тюменской, баженовской осадочным свитам и к доюрскому основанию [Унифицированная..., 2001; Конторович, 2009].

Методика измерений и интерпретации полевых данных методов геоэлектрики была такой же, как в Томской области. Для нестационарных ЗС интерпретационная модель построена с учетом всех имеющихся априорных данных. Кроме того, интервалы значений УЭС для выделенных слоев оценивались по данным различных методов каротажа скважин: ГК, ПС, ПЗ (потенциал-зонд). По характеру соотношения кривых ЗС, полученных на соосных и разнесенных установках ЗС, учитывая характерные искажения, разрез в целом можно аппроксимировать горизонтально-слоистой моделью. На этом основании при обработке и интерпретации данных использованы программные комплексы, основанные на применении слоисто-однородной модели (EMS, Эра). По данным ЗС получены количественные геоэлектрические характеристики меловых, юрских и верхней части палеозойских отложений. В геоэлектрической модели выделены границы, соответствующие по геологической привязке кровле основных нефтеносных свит:



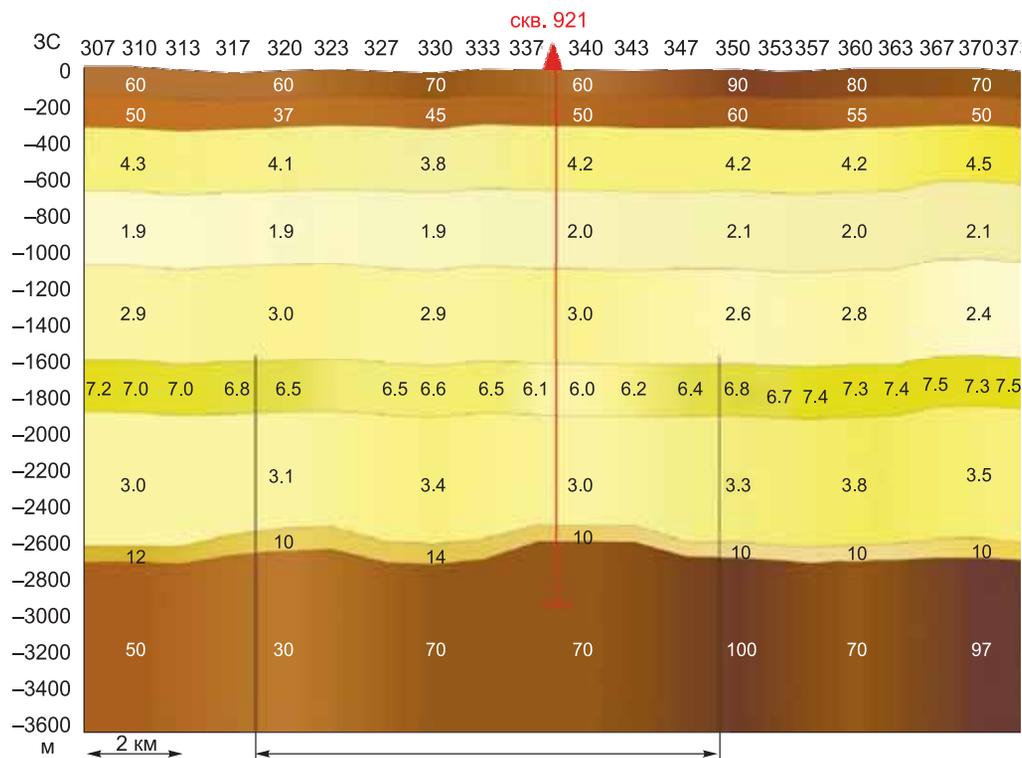
**Рис. 10. Схема измерений комплексом методов электроразведки и геохимии на участке Рогожниковского месторождения.**

1 — точки отбора проб на геохимический анализ; 2 — пункты зондирования ЗСБ (соосные петли) и МТЗ; 3 — поисковая скважина и ее номер; 4 — пункты гравиметрических наблюдений.

викуловской, баженовской и верхней части доюрского основания. По результатам интерпретации данных ЗС построены геоэлектрические разрезы осадочного чехла и верхней части палеозойского основания, различные структурные схемы, карты геоэлектрических характеристик. Геоэлектрические разрезы построены по профилям, пересекающим площадь исследования с севера на юг. На рис. 11 показан геоэлектрический разрез по профилю ЗС 307 — ЗС 373, выполненному в западной нефтеносной части площади, которая характеризуется пониженными значениями УЭС викуловской свиты.

Выполнена комплексная интерпретация данных ЗС и МТЗ, по результатам которой была построена трехмерная геоэлектрическая модель распределения УЭС до глубин в 15 км (рис. 12). Выявлены антиклинальные структуры в верхней части палеозоя, которые контролируются особым распределением удельных сопротивлений палеозоя: в зоне антиклинальных поднятий наблюдаются максимальные градиенты удельных электрических сопротивлений.

Анализ площадного распределения УЭС пород доюрского комплекса позволяет выделить три геоблока: северо-западный, западный и восточный. В пределах площади выделены линейные аномалии пониженного сопротивления, интерпретируемые как зоны разломов с интенсивной графитизацией по трещинам. Относительно низкий общий уровень УЭС доюрского комплекса говорит о высокой степени дезинтеграции пород.



**Рис. 11. Геоэлектрический разрез по профилю ЗС 307 — ЗС 373 через низкоомную зону в викуловской свите по результатам интерпретации комплекса данных ЗС с соосными и разнесенными установками.**

В первую очередь эти аномалии сопоставлялись со структурно-тектоническими построениями электроразведки, на основе чего среди тектонических нарушений на площади были выделены активные разломы и уточнена их привязка в плане. Установлено, что площадь исследований разделена разломом на два самостоятельных геохимических района. Вероятнее всего, залежи с одного стратиграфического уровня в этих районах не имеют гидрологической связи между собой. Дальнейшие построения опирались на эту гипотезу.

Были вычленены структурно привязанные к антиклинальным поднятиям геохимические аномалии на уровне разных свит. Наибольший вклад в геохимический сигнал давала залежь в викуловской свите, который по периферии осложнялся аномалиями, хорошо согласующимися со структурами на уровне баженовской свиты. Остальные экстремумы в значениях были условно отнесены к палеозойскому фундаменту и соотнесены с неоднородностями по сопротивлению, выделенными электроразведкой.

Отдельно стоит отметить, что за пределами основного участка работ на региональном геохимическом профиле была обнаружена аномалия типа «залежь», которая в плане находилась в средней части склона прогиба. Участок был рекомендован к доразведке на предмет обнаружения неструктурной залежи нефти.

### **ВЫВОДЫ ПО УЧАСТКУ РОГОЖНИКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

По данным ЗС получены количественные геоэлектрические характеристики меловых, юрских, верхней части палеозойских отложений. В геоэлектрической модели выделены границы, соответствующие по геологической привязке кровле основных нефтеносных свит: викуловской, баженовской, верхней части палеозойского основания. Выявлены антиклинальные структуры в верхней части палеозоя в районе скважин 920, 921, эти структуры контролируются особым распределением УЭС палеозоя, в зоне антиклинальных поднятий наблюдаются максимальные градиенты удельных электрических сопротивлений. Установлено, что в районах скважин 920, 921 на уровне викуловской свиты наблюдаются низкоомные аномалии. Сопоставление с геохимическими и сейсмическими данными показало, что границы низкоомных аномалий оконтуривают перспективный на нефтеносность участок.

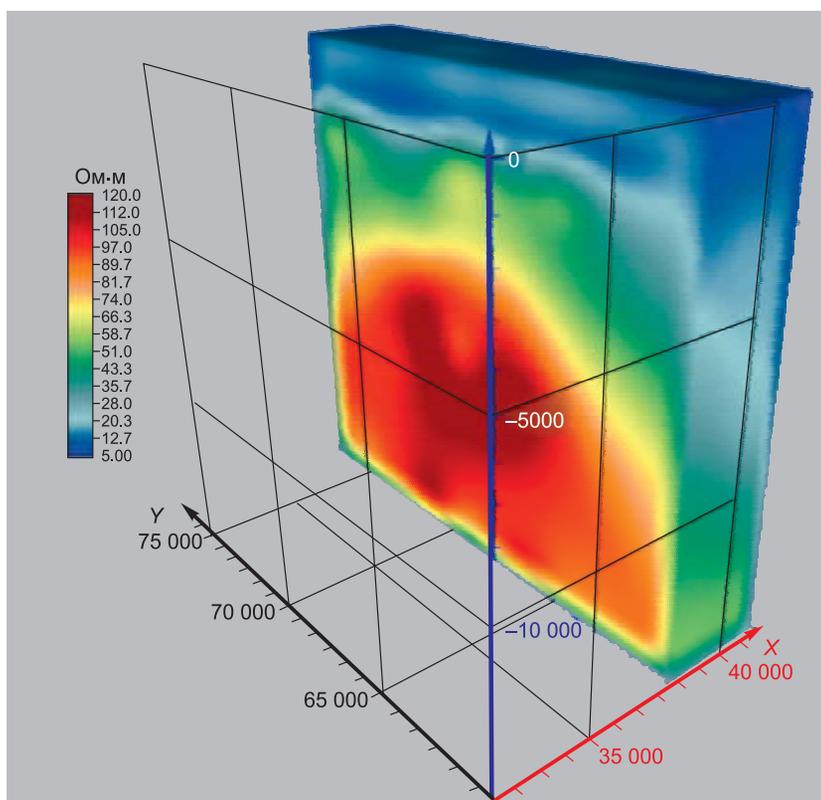


Рис. 12. Геоэлектрическая модель по данным совместной интерпретации ЗС и МТЗ участка Рогожниковского месторождения.

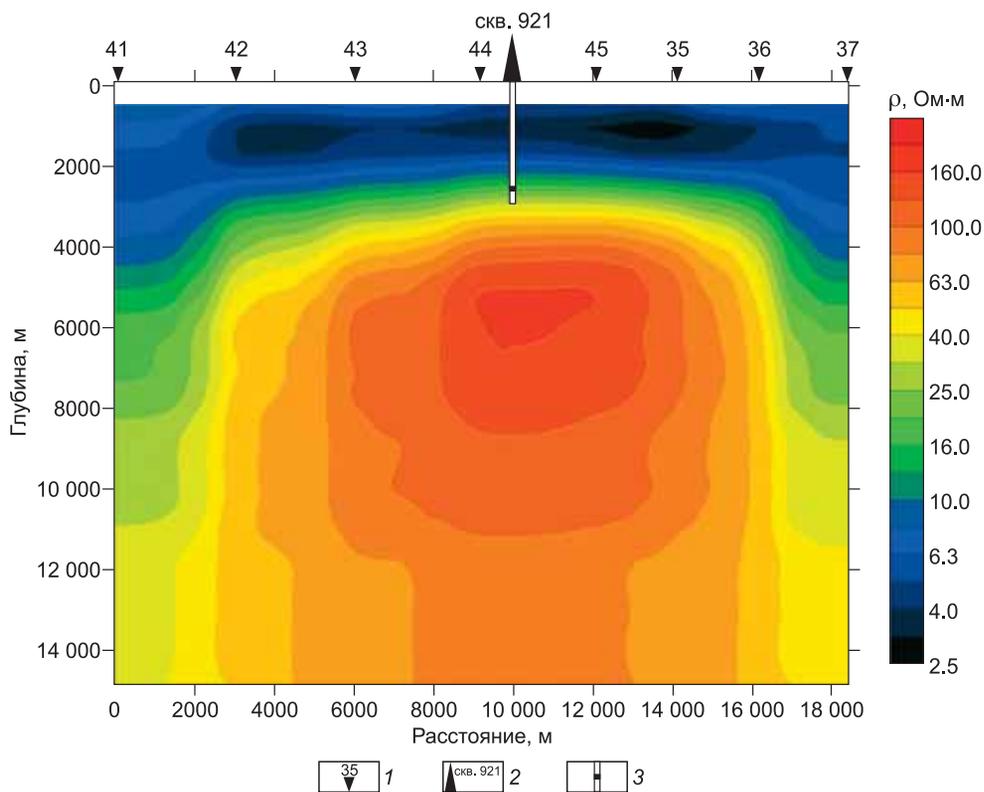


Рис. 13. Двумерный разрез по данным МТЗ.

1 — пункты МТЗ, 2 — скважина; 3 — зона нефтенасыщенности в палеозое.

По данным МТЗ выделена изометричная аномалия высокого сопротивления, кровля которой залегает на глубине около 3500 м. Анализ геологического строения участка позволяет предположить, что аномалия связана с проявлениями интрузивного магматизма. По результатам двумерной инверсии данных МТЗ установлено, что нефтепродуктивные горизонты, вскрытые скважинами, приурочены к положительным геоэлектрическим структурам фундамента и характеризуются повышенными сопротивлениями (рис. 13).

Комплексом методов геохимического опробования выделены приповерхностные аномалии в геохимических и петрофизических полях, по целому ряду признаков связанные с залежами УВ на глубине.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований, выполненных комплексом геохимических и электроразведочных методов на нефтеносных участках Западной Сибири, получены дополнительные сведения о глубинном строении, а также площадное и пространственное распределение геоэлектрических характеристик, в том числе и для нефтеперспективных объектов, выявлены закономерности размещения геохимических аномалий и их корреляция со структурными особенностями.

Обосновано использование двух электроразведочных методов ЗС и МТЗ, которые имеют различную глубинность и разрешающую способность: по данным ЗС получены наиболее детальные геоэлектрические модели и параметры верхней части разреза в среднем до 3 км, а по данным МТЗ — геоэлектрические характеристики палеозойского основания до глубин ~ 15 км.

В целом предложенный комплекс проверен в полевых условиях, показаны его возможности для поисково-разведочных работ на УВ в геоэлектрических условиях Западной Сибири, где разрез слабо дифференцирован по УЭС. Результаты подтверждены глубоким бурением.

### ЛИТЕРАТУРА

**Актуальные проблемы** нефтегазоносных бассейнов. Новосибирск, Изд-во Новосиб. ун-та, 2003, с. 8—43.

**Бердичевский М.Н., Логунович Р.Ф.** Магнитотеллурические полярные диаграммы // *Физика Земли*, 2005, № 10, с. 66—78.

**Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., Новиков Д.В., Пастуцан В.В.** Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных. М., Диалог МГУ, 1997, 161 с.

**Геология** и полезные ископаемые России. Т. 2. Западная Сибирь. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 2000, с. 5—223.

**Гилязова С.М.** О влиянии тектоники на формирование Рогожниковского месторождения // *Успехи современного естествознания*, 2009, № 10, с. 47—49.

**Карогодин Ю.Н.** Системная модель стратиграфии нефтегазоносных бассейнов Евразии. Т. 1. Мел Западной Сибири. Новосибирск, Академ. изд-во «Гео», 2006, 156 с.

**Конторович А.Э.** Оценка мировых ресурсов нефти и прогноз ее добычи на XXI век // *Энергетическая политика*, 2008, № 6, с. 18—22.

**Конторович В.А.** Мезозойско-кайнозойская тектоника и нефтегазоносность Западной Сибири // *Геология и геофизика*, 2009, т. 50 (4), с. 461—474.

**Неведрова Н.Н., Санчаа А.М.** Геоэлектрические модели, характерные для нефтеносных месторождений Западной Сибири (электронный ресурс) // *Материалы VI Всероссийской школы-семинара им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по электромагнитным зондированиям Земли — ЭМЗ-2013* (Официальный сайт). 02.09.2013 г. URL:<http://ems2013.ipgg.sbras.ru/> (дата обращения: чч.мм.гггг).

**Тригубович Г.М., Эпов М.И.** Новые возможности электромагнитной разведки // *Тезисы докладов научно-практической конференции «Методы прямого прогнозирования залежей углеводородов»* (24—26 ноября 2008 г.). Новосибирск, СНИИГГиМС, 2009, с. 16—19.

**Унифицированная** региональная стратиграфическая схема палеогеновых и неогеновых отложений Западно-Сибирской равнины (объяснительная записка). Новосибирск, СНИИГГиМС, 2001, 84 с.

**Хабинов О.Г.** Система интерпретации данных зондирований методом переходных процессов EMS / О.Г. Хабинов, И.А. Чалов, А.А. Власов, Е.Ю. Антонов // *ГЕО-Сибирь-2009: сб. науч. ст.* Новосибирск, 2009, с. 108—113.

**Шемин Г.Г.** Геология и перспективы нефтегазоносности венда и нижнего кембрия центральных районов Сибирской платформы (Непско-Ботуобинская, Байкитская антеклизы и Катангская седловина). Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2007, 530 с.

**Эпов М.И., Дашевский Ю.А., Ельцов И.Н.** Автоматизированная система интерпретации электромагнитных зондирований. Новосибирск, ИГиГ СО РАН, 1990, 29 с.

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

**Pirson S.J.** Significant advances in magneto-electric exploration: unconventional methods in exploration for petroleum and natural gas. Symp. 11-1979 / Ed. B.M. Gottlieb. Southern Methodist University Press. Dallas. Texas, 1981, p. 169—196.

**Saunders D.F., Burson K.R., Thompson C.K.** Model for hydrocarbon microseepage and related near-surface alteration // VAAPG Bulletin, 1999, v. 83, p. 170—185.

**Schumacher D.** Hydrocarbon-induced alteration of soils and sediments / Eds. D. Schumacher, M.A. Abrams. Hydrocarbon migration and its near surface expression // AAPG Memoir 66, 1996, p. 71—89.

*Поступила в редакцию  
14 ноября 2013 г.*