

4. Адаптивная вибросейсморазведка в условиях неоднородного строения верхней части геологического разреза /А. П. Жуков, И. В. Тищенко, Р. М. Калимулин, В. С. Горбунов, А. И. Тищенко // Технологии сейсморазведки. – 2011. – № 2. – С. 5–12.

5. Кострыгин Ю. П. Сейсморазведка на сложных сигналах. – Тверь: изд-во «ГЕРС», 2002. – 416 с.

6. Пат. 2159945 Российская Федерация, МПК G 01V1/00. Способ многоуровневой вибросейсморазведки /С. И. Михеев, В. А. Михайлов, В. А. Живодров, О. П. Резепова, Г. А. Бутенко; заявка № 1907111785/28; заявл. 02.03.2000; опубл. 07.01.2001. – Бюл. № 17. – 3 с.

7. Пат. 2375725 Российская Федерация, МПК G 01V11/00. Способ сейсмической разведки /С. И. Михеев, А. С. Михеев; заявка № 2008125315/28; заявл. 25.06.08; опубл. 10.12.2009. – Бюл. № 34. – 4 с.

УДК 550.83.05

О НЕОБХОДИМОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ ОТРАБОТКИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ

© 2014 г. М. И. Рыскин

Саратовский госуниверситет

Необходимость создания государственной сети опорных региональных геофизических профилей обозначена еще Федеральной программой развития минерально-сырьевой базы РФ на 1994–2000 годы [1]. Тем самым предполагалось исправить положение, когда отдельные фрагменты крупных территорий подвергались детальному изучению крупномасштабными съемками, а общего представления об их геологическом строении не было. При реализации программы намечалось построить подобные участки в целостную пространственную систему и решить такие задачи, как установление основных закономерностей глубинного геологического строения нефтегазоносных бассейнов и горнорудных районов; оценка ресурсного потенциала и повышение лицензионной привлекательности нераспределенного фонда недр и др. По полученным данным намечалось также определять первоочередные направления геологопоисковых работ.

Региональный профиль Уварово-Свободный протяженностью 360 км, на примере которого демонстрируется необходимость комплексирования методов (профиль 1), и три субмеридиональные рассечки (профили 2–4)

общей протяженностью 290 км проложены по территории Саратовской области в малоизученной зоне сочленения Воронежской антеклизы с Рязано-Саратовским прогибом. Использован комплекс методов, включающий сейсморазведку МОГТ-2 D, электроразведку ЗСБ и профильные гравимагнитные наблюдения. Сейсмо- и электроразведочные исследования выполнены силами Саратовской геофизической экспедиции (СГЭ) ФГУП «Нишне-Волжского НИИ геологии и геофизики» (НВНИИГГ), а гравимагнитные – сотрудниками кафедры геофизики Саратовского госуниверситета (СГУ) [2]. Работы проводились в 2006–2009 гг.

Профильные высокоточные гравиметрические полевые работы осуществлены двумя приборами ГНУ-К2 с инструментальной погрешностью 0,03–0,05 мГал, с применением опорной сети, производством контрольных измерений в объеме 10% от общей протяженности профилей и с расстоянием между точками наблюдений 200 м. Профильные высокоточные магнитометрические полевые работы проведены двумя магнитометрами ММП-203 с расстоянием между точками 25 м. Профильные данные увязывались с фондовыми мате-

риалами площадных съемок прошлых лет. Такая увязка и совместный анализ этих разнородных данных потребовались для того, чтобы компенсировать ущербность профильной системы наблюдений и выявить пространственные закономерности распределения потенциальных полей, без чего невозможно достижение поставленных целей по уточнению модели геологического строения вышеназванной зоны сочленения двух крупных тектонических элементов Восточно-Европейской платформы.

Сейсморазведочные работы МОГТ-2D проводились способом продольного профилирования с центрально-симметричными расстановками и кратностью перекрытий $n = 100$. Длина рабочей расстановки составляла 10 000 м. Расстояние между центрами групп приборов (16 сп) и между пунктами возбуждения – 50 м. Источник возбуждения – вибрационный, количество источников в группе – 4 шт. База группирования – 37,5 м. Параметры управляющего ЛЧМ сигнала (сви-па) – 15–75 гц, длительность – 5 с.

Электроразведочные работы методом ЗСБ по методике «петля в прямоугольной петле» проводились с регистрацией вертикальной компоненты электромагнитного поля в зоне однородности поля. Размеры генераторного контура $Q = 2500 \times 1000$ м. Шаг пикетов по профилю – 100 м. Время регистрации – 10 с. Сила тока – 70 (50) А.

В такого рода комплексах на сейсморазведку обычно возлагается задача воссоздания структурного каркаса осадочной толщи, а на электроразведку – задача описания литологической и флюидальной характеристик разреза СВК (структурно-вещественных комплексов) [3]. Роль гравимагнитных данных состоит в установлении основных закономерностей глубинного геологического строения. Известно, что эти закономерности обусловлены прежде всего вертикально-блоковой структурой кристаллического фундамента, а именно такие вертикальные или круто наклонен-

ные неоднородности находят отображение в потенциальных полях.

Эффективность комплексирования многократно усиливается, когда обработка также осуществляется комплексно, а не пометодно с последующим сопоставлением результатов, как было принято ранее [4]. С учетом этого анализ структуры геофизических полей проводился на основе специализированных комплексных построений, позволяющих лучше определить черты их общности, установить геологическую природу аномалий. Для анализа структуры потенциальных полей использовались карты комплексного параметра (КП), полученные направленным суммированием предварительно отнормированных карт Δg и ΔT . Такое суммирование, как показано в работе [4], позволяет максимумами комплексного гравимагнитного параметра КП выявить участки, где аномалии моногеничны (прямое знаковое сочетание: $+Dg, +DT$). Физико-геологическая природа аномалий КП и сама методология комплексного параметра более подробно рассмотрены в публикации [5]. Помимо карт КП полезная информация о природе геопотенциальных аномалий извлекалась из результатов решения обратной задачи гравиметрии и магниторазведки по профилю 1. Профильные кривые Δg и ΔT на глубине 3000 м и соответствующие разрезы эффективных плотностей и намагниченностей вычислены с помощью программного комплекса КОСКАД (Петров А. В., Никитин А. А., МГГА, 2005).

Для анализа структуры волнового и электрического полей также использованы комплексные построения – разрезы СЭВР. Основы методики СЭВР, разработанной в НВНИИГГ, изложены в работе [6]. Совмещение электроразведочной и сейсмической информации в едином координатном пространстве временного сейсморазреза позволяет выделить в нем единые сейсмо-геоэлектрические комплексы отложений, стратиграфическая привязка которых осуществляется по скважинным данным. На сейсмо-электроразведочных временных

разрезах (СЭВР) выявляются основные элементы строения изучаемой территории, нашедшие свое отображение и в распределении потенциальных полей. Совместная интерпретация данных всех поименованных методов завершалась построением согласованных профильных физико-геологических моделей (ФГМ).

Результаты работ 2006–2009 гг. неоднократно освещались в печати и докладывались на конференциях различного уровня [2, 7]. Однако мнения геологов в отношении трактовки полученных данных, изложенной в работе [2], разделились, и с 2012 г. на территории, где проходил профиль «Уварово-Свободный», проводятся новые исследования с применением сейсмо- и электроразведки.

Цель настоящей статьи состоит в том, чтобы продемонстрировать эффективность комплексного подхода к решению задач обработки региональных профилей на примере более детального рассмотрения совокупности полученных ранее геофизических материалов по отдельным фрагментам названного профиля, трактовка которых вызвала наибольшие возражения со стороны некоторых специалистов. Это прежде всего участок сопряжения Воронежской антеклизы с Рязано-Саратовским прогибом, композиция данных по которому представлена на рисунке 1.

На сейсмо-электроразведочном временном разрезе четко зафиксировано общее увеличение толщины осадочного чехла и погружение поверхности кристаллического фундамента (граница $PR_1 - AR$) в восточном направлении. Самое высокое залегание этой границы ($PR_1 - AR$) отмечено на пикетах 0–40 и соответствует оно местоположению Воронежской антеклизы. На этом же участке профиля наблюдается отсутствие заметных вариаций в рельефе кривой ΔT при волнообразно-колебательном нарастании значений Δg . Восточнее пикета 40 происходит резкое погружение фундамента. В рельефе границы $Pr_1 - AR$ фик-

сируется корытообразный грабен, сопряженный при движении на восток с горстом (ПК 60–75). Это обстоятельство наводит на мысль, что восточная граница Воронежской антеклизы проходит значительно западнее, чем предполагалось ранее (на прежних тектонических схемах эта граница проецировалась в районе ПК 120, т.е. на 80 км восточнее) [2]. Так, в известной монографии В. П. Шебалдина «Тектоника Саратовской области» [8] отмечается, что «Рязано-Саратовский прогиб формировался над рифейским Пачелмским авлакогеном, а его западная граница проходит по Баландинско-Ртищевскому валу и совпадает с западным бортом авлакогена». Однако представленная совокупность геофизических данных позволяет доказательно оспорить это заключение.

Считается, что основной материал для установления положения подобного рода границ дает сейморазведка. Ключевую роль в установлении их положения играет геометрия отражающей поверхности фундамент – чехол. Хорошо видно, что электроразведочная информация, представленная в едином координатном пространстве с сейсмической на СЭВР, позволяет уточнить положение предполагаемой поверхности фундамента. На сейморазрезах в пределах изучаемой территории не получено четких отражений, которые можно было бы отнести к этой поверхности. Это вполне заурядная ситуация – обычно трудности картирования сейморазведкой кровли кристаллического фундамента объясняют тем, что эта поверхность не гладкая, а шероховатая. В то же время на электроразведочных разрезах интервального сопротивления прослежен опорный высокоомный комплекс, значения сопротивления в котором более 120 Ом \times м. Соответствие поведения кровли этого комплекса и характерных особенностей наблюдаемых кривых потенциальных полей позволило предположить, что на разрезах интервального сопротивления выделена поверхность грави- и магнитоактивно-

ГЕОФИЗИКА

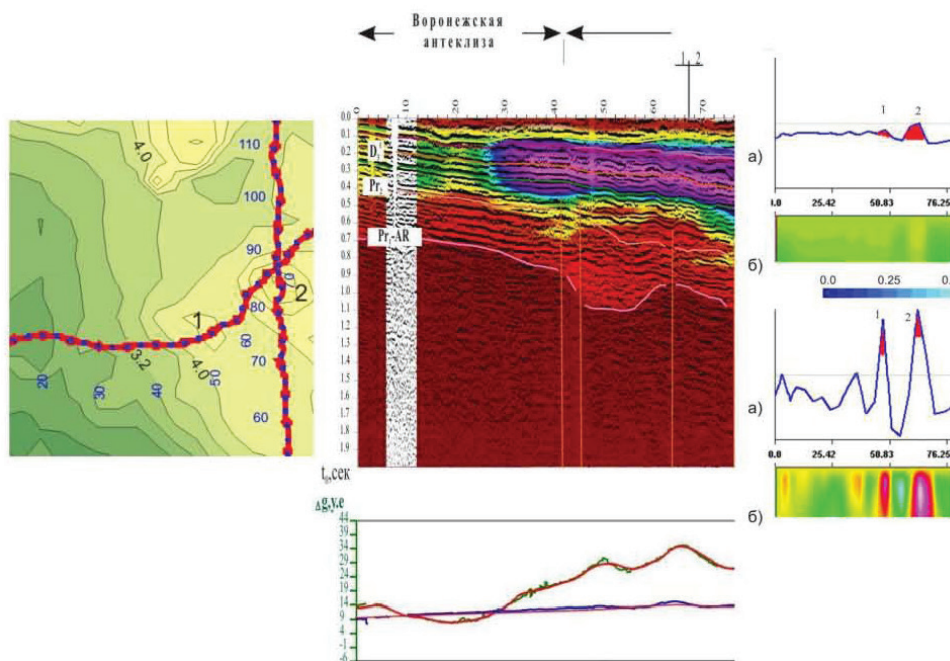


Рис. 1. Композиция геофизических материалов по Западному фрагменту профиля «Уварово-Свободный»: слева сверху – фрагмент карты КП; в центре – соответствующий участок СЭВР; справа сверху – трансформированная кривая ΔT (а) с разрезом эффективной намагнитченности (б), ниже кривая Δg (а) и разрез эффективной плотности (б); в центре внизу – исходные кривые Δg и ΔT

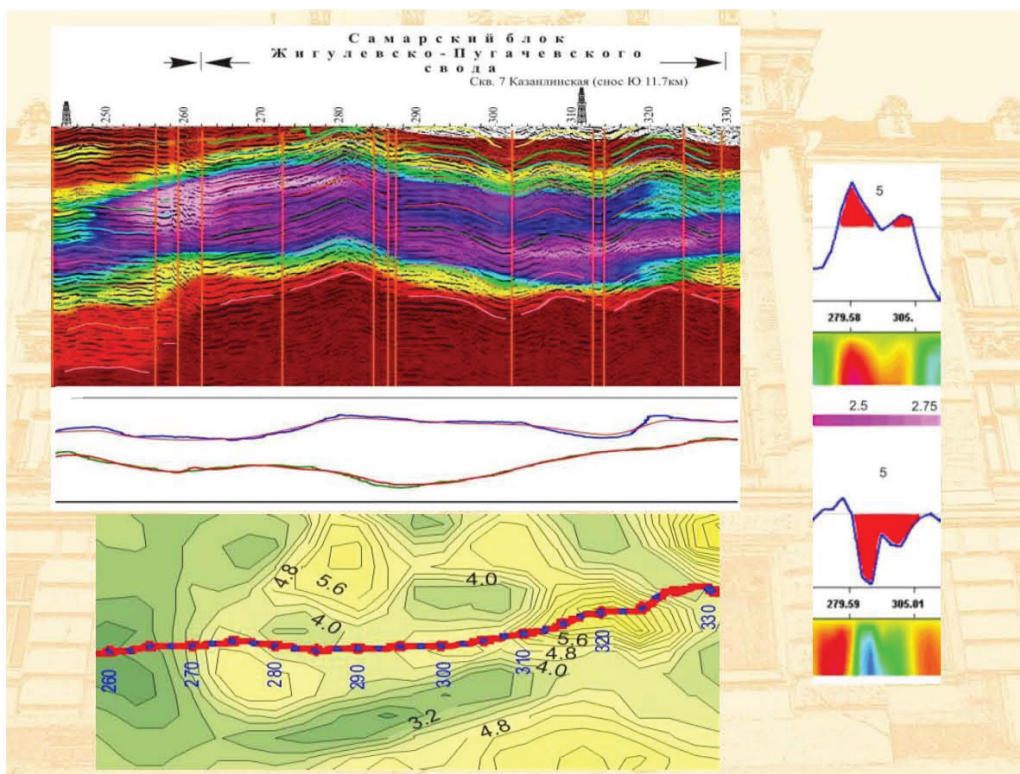


Рис. 2. Композиция геофизических материалов в зоне Самарского блока Жигулёвско-Пугачёвского свода: сверху – соответствующий участок СЭВР; внизу – фрагмент карты КП; в центре – кривые Δg и ΔT ; справа – трансформированная кривая ΔT с разрезом эффективной намагнитченности, ниже – кривая Δg и разрез эффективной плотности

го кристаллического фундамента ($PR_1 - AR$), сложенного породами гранитно-метаморфического комплекса с высоким удельным электрическим сопротивлением. Значения сопротивления пород осадочного чехла согласуются с данными каротажа скважин, расположенных на смежных территориях, и колеблются в интервале от 10 до 70 Ом \times м. В нижней части разреза осадочного чехла прослежен комплекс отложений с повышенными (70–100 Ом \times м) значениями сопротивления, толщина которого претерпевает значительные изменения по площади и контролируется рельефом поверхности кристаллического фундамента. По совокупности геофизических материалов и данных бурения эта толща имеет, предположительно, верхнепротерозойский возраст [2].

На представленном СЭВР четко заметна специфичность зоны сопряжения Воронежской антеклизы с Рязано-Саратовским прогибом (упоминавшийся корытообразный грабен). По данным геопотенциальных методов выявляются ограничивающие этот грабен вертикальные неоднородности в виде максимумов потенциальных полей. Наибольшей выразительностью максимумы отличаются на трансформированных кривых и на разрезах эффективных петрофизических параметров.

По карте комплексного гравимагнитного параметра четко проявлена градиентная зона сгущения изолиний комплексного параметра в интервале ПК 30–50, трассирующая область сопряжения названных тектонических элементов. Воронежской антеклизе на ней отвечает область пониженных значений КП. Очевидно, в области Воронежской антеклизы с изометричными очертаниями аномалий, где фундамент наиболее приподнят, он сложен петрофизическим комплексом с общей низкой (ниже 1,25 А/м) намагниченностью пород и довольно значительной изменчивостью эффективной плотности. По мнению авторов [9], эти свойства комплекса аналогичны таковым для нижнепротерозойской Воронцовской

серии, характерной для Воронцовской зоны Воронежского массива. Воронцовская серия сложена неравномерно метаморфизованными метатерригенными породами: разного рода сланцами и метапесчаниками (местами переходящими в гнейсы) часто в различном переслаивании, с прослоями метабазальтов и метаандезитов. В целом область распространения воронцовской серии характеризуется положительными магнитными аномалиями с уровнем 150–50 нТл (наноТесла), как это видно на картах ΔT , и занимает все пространство от южного борта Рязано-Саратовского прогиба вплоть до города Волгограда. В той же работе [9] объясняется геологическая природа упоминавшихся максимумов ΔT и Δg . Авторами указывается, что «в кровле фундамента местами обособляются объекты округлой формы с поперечником около 20–30 км, сложенные породами относительно высокой (свыше $2,73-2,74 \times 10^3$ кг/м³) плотности и повышенной намагниченности». Такие объекты четко обособляются на представленном фрагменте карты КП в районе ПК 40 и 70. Это многофазные гипербазит-базитовые плутоны еланского комплекса с рудоносными норит-диоритовыми телами [9].

В пределах профиля 2, который пересекается с первым, зафиксированы увеличенные толщины палеозойских и верхнепротерозойских пород [2], отмечено субгоризонтальное залегание поверхности кристаллического фундамента и выдержанные толщины отложений осадочного чехла и только в области пикетов 74–95 (т.е. на пересечении с профилем 1, где был выделен плутон) наблюдается относительное приподнятое залегание кровли кристаллического фундамента, которое отображается в потенциальных полях синхронным однознаковым увеличением значений ΔT и особенно Δg . Таким образом, можно предположить, что данный профиль проходит по склоновой части Аркадакского прогиба, примыкающего к Воронежской антеклизе с востока. По карте КП этот профиль также

тяготеет к «переходной» зоне от Воронежской антеклизы к Рязано-Саратовскому прогибу. В совокупности все эти данные заставляют предположить, что восточнее пикета 40 происходит резкое погружение фундамента, где, по-видимому, и начинается Рязано-Саратовский прогиб.

Еще одним спорным моментом является отнесение протяженного участка профиля «Уварово-Свободный» между ПК 260 и 330 к Самарскому блоку Жигулёвско-Пугачёвского свода.

К востоку от ПК 260 на СЭВР (рис. 2) наблюдается резкое (по разломам) воздымание поверхности кристаллического фундамента, которое сохраняется до ПК 330. Характерной особенностью этого участка профиля является значительная дислоцированность всех комплексов отложений и наличие большого количества разрывных нарушений, прослеженных практически до дневной поверхности. В потенциальных полях этому участку соответствует инверсный характер сочетания кривых Δg и ΔT . Характер инверсии полей Δg и ΔT здесь весьма своеобразный и не часто встречающийся – максимуму ΔT отвечает достаточно глубокий минимум Δg . Обычно такой феномен объясняют либо серпентинизацией кристаллических пород фундамента, либо внедрением в его толщу интрузий сиенитов. И серпентиниты, и сиениты характеризуются относительно невысокой плотностью (до $2,6 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$) и значительными величинами χ , превосходящими $2,0 \text{ А/м}$. В данном случае следует отдать предпочтение сиенитовой трактовке обсуждаемого сочетания Δg и ΔT , поскольку из близлежащих Гусихинских скважин в интервале фундамента были подняты образцы керна с сиенитом.

Также к востоку от ПК 260, как это хорошо видно на СЭВР, сопротивление осадочной толщи в целом значительно уменьшается и становится заметным «расхождение» волновой и электрической характеристик (имеются в виду прежде всего резкие колебания «тол-

щин» интервалов низкого сопротивления, идущие вразрез с поведением динамически выраженных отражений). Соответствие этих характеристик восстанавливается уже на конце профиля. Объяснить всю эту «неспокойную» ситуацию, учитывая высокочастотный характер возмущений волнового поля во временном интервале осадочной толщи, одним лишь влиянием фундамента в данной ситуации довольно затруднительно, хотя нельзя не отметить очевидной взаимосвязи этих возмущений со структурной позицией показанных на СЭВР блоков кристаллического основания, порой достаточно узких. Это, возможно, послужило основанием для уверенной трактовки (рис. 2) современной структуры разреза в целом как сквозной, вертикально-блоковой, тогда как за пределами рассматриваемого участка разломами затронута только толщина фундамента и нижнего терригенного (протерозойского) комплекса. Сам по себе петрофизический комплекс фундамента в этом сегменте профиля сложен, по данным из работы [9], средне намагниченными (от $1,3$ до $2,5 \text{ А/м}$) образованиями со средней плотностью $\sim 2,71\text{--}2,75 \times 10^3$ (такие петрофизические особенности характерны для метаосадочных и метавулканических образований среднего состава), а в восточной части распространен петрофизический комплекс, сложенный высоконамагниченными породами ($2,5\text{--}3,8 \text{ А/м}$) с относительно невысокой плотностью ($< 2,71 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$).

И наконец, необходимо обратить внимание на своеобразие структуры поля КП. Почти для всей территории, через которую проходит профиль «Уварово-Свободный», характерно преобладание линейной ориентировки изолиний КП. Эта ориентировка с Северо-Запада на Юго-Восток обусловлена, как известно, определяющим влиянием древнего Пачелмского авлакогена. Но на границах анализируемого, явно «инородного» участка рисунок поля совсем иной – изометричный. В пределах крупной аномалии в пятьдесят

километров по длинной оси, вытянутой вдоль линии профиля, выделяется пять локальных контуров, три из которых отмечены повышенными значениями комплексного параметра. Именно этот пятидесятикилометровый участок отмечен инверсным сочетанием кривых Δg и ΔT . На современной схеме нефтегазогеологического районирования северных районов Саратовского Правобережья ему отвечает Сосновская депрессия. Взяв в качестве основного критерия для тектонического районирования ориентировку структурных элементов осадочного чехла, специалисты НВНИИГТ «отнесли» этот весьма специфичный участок с увеличенной мощностью рифейских отложений и отложений терригенного девона в области приподнятого (взброшен-

ного) блока фундамента к Самарскому блоку Жигулёвско-Пугачёвского свода Волго-Уральской антеклизы [2].

Таким образом, оба представленных в статье примера как нельзя лучше демонстрируют необходимость привлечения независимой информации (то есть представленной в аномалиях разных по своей природе геофизических полей) для установления закономерностей геологического строения при отработке региональных опорных профилей. Вполне очевидно, что показания каждого метода не дублируют, а дополняют друг друга, и только их совокупность позволяет получить согласованную, геологически непротиворечивую трактовку, объясняющую наблюдаемые данные.

Л и т е р а т у р а

1. Создание государственной сети опорных геофизических профилей: Основные положения Федеральной Программы развития минерально-сырьевой базы РФ на 1994–2000 годы //Геофизический Вестник. – М.: ЕАГО, октябрь 1994. – С. 4–8.

2. Комплексная интерпретация геофизических данных в зоне сопряжения Воронежской антеклизы с Рязано-Саратовским прогибом /М. И. Рыскин, Е. Н. Волкова, К. Б. Сокулина, И. П. Соколова, И. А. Титаренко //Геофизика. – 2009. – № 6.

3. Кондратьев О. К. Физические возможности и ограничения разведочных методов нефтяной геофизики //Геофизика. – 1997. – № 3.

4. Рыскин М. И., Сокулина К. Б., Барулин Д. А. Повышение эффективности геофизической разведки нефтегазоперспективных объектов путем комплексирования сейсмоданных с гравимагнитными //Геофизика. – 2005. № 4.

5. Рыскин М. И., Лепилин В. М., Романов В. В. Геофизические основы тектонического районирования платформенных территорий //Геология нефти и газа. – 1995. – № 3.

6. Смилевец Н. П. Новый подход к комплексной интерпретации геофизических полей при изучении глубинного строения Земли //Геофизика. – 1997. – № 4.

7. Рыскин М. И., Волкова Е. Н., Сокулина К. Б. Геолого-тектоническая интерпретация гравимагнитных данных в зоне сопряжения Воронежской антеклизы с Рязано-Саратовским прогибом //Известия Саратов. ун-та. Серия Науки о Земле. Т. 9. – 2009. – Вып. 2

8. Шебалдин В. П. Тектоника Саратовской области. – Саратов: ОАО «Саратовнефтегеофизика», 2008.

9. Буш В. А., Бабаянц П. С., Блох Ю. И. Новые данные по глубинному строению Прикаспийского нефтегазоносного бассейна и южной окраине Русской плиты //Геологические и технологические предпосылки расширения ресурсов углеводородного сырья в Европейской части России /под ред. Д. Л. Фёдорова. – М.: ООО «Геоинформмарк», 2006.

