

УТВЕРЖДАЮ
Директор Департамента
государственной политики и регулирования
в области геологии и недропользования
Минприроды России

_____ А.В. Орёл
«__» _____ 2014 г

Директор Департамента государственной политики и регулирования
в области геологии и недропользования Минприроды России
А.В. Орёл утвердил 24 декабря 2014 г

СОГЛАСОВАНО
Директор
ФГУНПП «Геологоразведка»

_____ В.В. Шиманский
«__» _____ 2014 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
Научно-методического Совета
по геолого-геофизическим технологиям поисков и разведки
твердых полезных ископаемых (НМС ГГТ) Минприроды России
21–22 октября 2014 г.
(88-я сессия)

Председатель Научно–методического
совета ГГТ Минприроды России

В.П. Кальварская

Санкт–Петербург

Очередная (88-я) сессия Научно-методического совета по геолого-геофизическим технологиям поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (НМС ГГТ) Минприроды России по тематике «**Инновационные геолого-геофизические технологии при геологическом изучении земных недр**», состоялась 21–22 октября 2014 г. на базе ФГУНПП «Геологоразведка» (Санкт–Петербург).

В составе сессии были рассмотрены

1. Доклады

1.1. Систематизация химических и минеральных составов, а также отображение процессов их изменения с использованием RNAT – кодирования (от выявления ошибок до выявления систем рудопроявлений) – СПбГУ.

Автор и докладчик – Т.Г. Петров, профессор СПбГУ, д.г.-м.н.

1.2. Способ комбинированного учета вариаций МПЗ при обработке данных дифференциальных гидромагнитных исследований (ОАО «Севморгео», Санкт-Петербург). Авторы: А.И. Атаков, К.С. Черников.

Докладчик – К.С. Черников, заведующий лабораторией ОАО «Севморгео», к.г.-м.н.

1.3. Современные методики анализа волнового поля для определения модели строения продуктивного пласта (ООО «Газпромнефть НТЦ», Санкт-Петербург).

Автор и докладчик – А.В. Буторин, ведущий специалист ООО «Газпромнефть НТЦ».

1.4. Опыт комплексирования наземных геофизических и геохимических методов при поисках золоторудных месторождений (Группа компаний «Теллур», Санкт-Петербург). Авторы: А.Г. Марченко, К.В. Блинов, А.И. Рокитянский, К.М. Ермохин.

Докладчик – А.Г. Марченко, заместитель генерального директора ООО «Теллур Северо-Восток», д.г.-м.н.

1.5. Современные методы обработки высокоточных гравиметрических наблюдений (Горный институт УрО РАН, Пермь). Авторы: С.Г. Бычков, А.А. Симанов, В.В. Хохлова.

Докладчик – С.Г. Бычков, заведующий лабораторией ГИ УрО РАН, д.г.-м.н.

1.6. Роль теории эффективных сред в современной разведочной геофизике (Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва).

Автор и докладчик – И.О. Баяк, ведущий научный сотрудник ИФЗ РАН, д.ф.-м.н.

1.7. Экспериментальная и теоретическая петрофизика как основа геомеханического моделирования при поиске, разведке и проектировании процессов разработки месторождений нефти и газа (Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, НПО «Союзнефтегазсервис», Москва). Авторы: С.А. Тихоцкий, И.О. Баяк, И.А. Гарагаш, А.В. Дубовская, Г.А. Калмыков, Е.Н. Полудеткина, М.Ю. Токарев, И.В. Кузнецов.

Докладчик – И.О. Баяк, ведущий научный сотрудник ИФЗ РАН, д.ф.-м.н.

1.8. Методика поисков и количественной оценки ресурсов УВ в сланцевых формациях Российской Федерации (ФГУП «ВНИГРИ», Санкт-Петербург).

Автор и докладчик – А.М. Жарков, заведующий отделом ФГУП «ВНИГРИ», д.г.-м.н.

1.9. Система петрофизического обеспечения моделирования залежей нефти и газа на основе эффективной пористости гранулярных коллекторов (РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва).

Автор и докладчик – К.В. Коваленко, доцент РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, к.т.н.

1.10. Возможности электротомографии при изучении трещиноватости массива горных пород (Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск).

Автор и докладчик – П.А. Рязанцев, младший научный сотрудник ИГ КарНЦ РАН.

1.11. Связь вариаций геомагнитного поля с процессами в земной коре в центральной части Восточно-Европейской платформы (Институт динамики геосфер РАН, Москва).
Автор и докладчик – С.А. Рябова, инженер ИДГ РАН.

2. Сообщения

2.1. Сейсмические модели и волновые поля в исследованиях сложнопостроенных упругих сред (ФГУНПП «Геологоразведка», Санкт-Петербург).

Автор и докладчик – Н.А. Караев, главный научный сотрудник ФГУНПП «Геологоразведка», д.ф.-м.н.

В работе 88 сессии Совета приняли участие 55 специалистов из 24 организаций, из них докторов наук – 14, кандидатов – 28. В числе присутствующих членов Совета – 32 (приложение 1)

Общей целью разрабатываемых и внедряемых в геологоразведочное производство инновационных геолого-геофизических технологий является повышение эффективности прогнозирования, поисков, разведки и освоения месторождений различных видов полезных ископаемых.

В связи с утвержденной программой и назначением Научно-методического совета по геолого-геофизическим технологиям (НМС ГГТ) Минприроды РФ, а также в силу действующего Положения Совета, основной объем работ, рассматриваемых на его сессиях (более 700 разработок за 1997–2014 гг.), относится к первым двум стадиям геологоразведочных работ (ГРР) – прогнозированию и поискам. В меньшей степени коллектив НМС касался вопросов разведки и освоения месторождений.

В свое время геолого-геофизические задачи этих стадий решались на основе прямых контактов с профильными Министерствами (МЧМ СССР, МЦМ СССР), координирующими эксплуатационную разведку, обеспечивающих обогащение и переработку сырья с доведением до конечного продукта.

Специалисты Советского Союза, обладая передовыми геолого-геофизическими технологиями соответствующего назначения (геоэлектрохимия, магниторазведка, электроразведка, сейсмоакустика, рудный каротаж, магнитное и ядерно-геофизическое опробование), активно внедряли их в геологоразведочное производство и передавали опыт зарубежным коллегам (Австралия, Канада, Китай, Финляндия страны СНГ и др.), чем способствовали формированию соответствующих служб и направлений.

Упразднение МЧМ СССР и МЦМ СССР значительно ослабило эти звенья исследований, сократились объемы внедрения. В настоящее время возникла необходимость в их реанимации на современной научно-технической основе с учетом задач сегодняшнего дня, что также вошло в состав задач НМС.

Начиная с 2007 г. на рассмотрение и экспертизу Совета наряду с разработками по твердым полезным ископаемым все чаще стали поступать работы по нефтегазовым объектам, нацеленные на повышение эффективности геологоразведочных работ, особенно на стадиях разведки и разработки месторождений. В значительной мере это связано, с низким коэффициентом извлечения нефти (газа) из недр в практике освоения объектов в России – 0,3–0,5 по сравнению с зарубежным опытом ~0,7.

Следствием создавшегося положения явилось многоплановое обращение к этому вопросу участников V Всероссийского совещания «Проблемы геологии нефти и газа» (25–26.09.2014 г.), в частности заместителя Министра природных ресурсов и экологии РФ Валерия Анатольевича Пака, Анатолия Николаевича Дмитриевского – директора Института проблем нефти и газа. В составе приоритетных направлений по увеличению нефтедобычи в докладах был предложен ряд направлений, в том числе внедрение технологий повышения ко-

эффицента извлечения нефти, на основе применения комплекса геолого-геофизических методов, сопровождаемых контролем за динамикой напряженных зон в объеме месторождения.

Для продуктивной реализации этих рекомендаций оказываются уже недостаточными стандартные петрофизические исследования, основанные только на «статистических» величинах общей пористости, объемной глинистости и проницаемости коллекторов. Требуется количественная оценка и мониторинг петрофизических характеристик в процессе разработки месторождений, связанной с динамикой флюидов. Динамические фильтрационно-емкостные свойства (ФЭС) коллекторов или так называемые эффективные параметры пористой среды являются предметами исследования «динамической» петрофизики (в зарубежных работах – Rock физика). В связи с отмеченным, ряд основополагающих отечественных разработок этого направления представлены в докладах настоящей 88-НМС сессии (1.6, 1.7, 1.9).

В целом в составе повестки дня 88 сессии Совета, реализованной 21 и 22 октября 2014 г., обсуждены материалы 12 докладов по актуальным современным разработкам в области науки и практики геологоразведочного производства.

1. Доклады

1.1. В докладе СПбГУ «Систематизация химических и минеральных составов, а также отображение процессов их изменения с использованием RNAT – кодирования (от выявления ошибок до выявления систем рудопроявлений)», представленном Т.Г. Петровым, рассмотрены основные этапы формирования и возможности системы RNAT, позволяющей связать химический состав с определением минералов, по составу минералов определять горные породы разного генезиса (приложение 2).

С использованием ранговых формул составлен и издан «R-словарь-каталог химических составов минералов» [Петров, Краснова, 2010], позволяющий по химическому анализу, или по теоретической формуле минерала в 92% случаев определить его название (в остальных 8% группируются полиморфные разновидности).

С использованием RHA-кодов *химических* составов проведена систематизация слюд, турмалинов, амфиболов, пироксенов, гранатов, а также горных пород разного генезиса.

На базе RNAT-кодов минеральных составов выполнена систематизация горных пород (более 700 кодов ультрабазитов) и сформирован макет базы данных для определения горных пород по минеральному составу [Петров, Краснова, 2012].

Энтропийные характеристики – без ограничений на конкретные совокупности элементов или молекул-минералов, будь то рудные, нерудные, воды, газы, нефти – используются для отображения [Петров, 2012; Petrov, 2012]

а) случайных (неупорядоченных в пространстве и времени) собраний анализов для выявления формы полей составов – их однородности, распределения плотностей, выявления аномальных, ошибочных анализов [Петров, Фарафонова, 2005];

б) упорядоченных природой собраний анализов при изучении структуры и выявления центра рудных полей [Юшкин и др., 1978], разрезов, а также процессов эволюции составов, теоретической базой которых является модель разделения-смешения [Петров, 1995; Petrov 2013].

Работа по методу и по ряду стандартных петрохимических методов обеспечивается программным комплексом PETROS-3, созданным С.В. Мошкиным по инициативе Т.Г. Петрова [Петров, Мошкин, 2011]. Программа продолжает развиваться и обеспечивает обработку аналитических материалов с использованием 100 алфавитов (разновидностей компонентов) и перевод их в систему RNAT с последующей выдачей результатов в виде последовательности, упорядоченной по автору, или алфавиту со специализацией в соответствии с типом компонента [Чебанов, Петров, 2013].

Промежуточные и окончательные результаты могут выдаваться на стандартные внешние программные средства (Word, Excel).

По направлению исследований вышло свыше 100 публикаций, среди них учебное пособие [Петров, Фарафонова, 2005] и монография [Петров, Краснова, 2010]. Грант РФФИ.

После обсуждения материалов доклада (В.К. Поликарпов, А.П. Савицкий, М.Л. Верба, А.Н. Телегин, А.Г. Марченко, В.П. Кальварская, Н.А. Ворошилов, Н.Н. Ржевский)

НМС отмечает:

- Разрабатываемое в СПбГУ направление в области систематизации химических составов минералов и минеральных составов горных пород состоит в возможности повышения эффективности обработки и интерпретации геолого-геофизических материалов.

- Полученные результаты могут быть использованы при
 - определении названий минералов по их химическому составу,
 - определении горных пород по минеральному составу,
 - характеристике процессов движения вещества (кристаллизация, дифференциация гравитационная, магнитная и др. виды).

- Возможно использование системы для различных пересчетов между данными в весовых, атомных и молекулярных процентах при статистической обработке, а также при кодировании некоторых картографических материалов.

НМС рекомендовано:

1. Материалы доклада Т.Г. Петрова по систематизации химических и минеральных составов с использованием RHAT-кодирования принять к сведению и использовать на практике для определения минералов по химическому составу, состава пород – по минеральному составу, а также при анализе и статистической обработке геолого-геохимических и геолого-геофизических данных. Особенно это относится к программе PETROS-3.

2. Дальнейшее развитие исследований следует связать с уточнением критериев классификации пород и минералов, обращением к геофизическим данным, особенно в области сейсморазведки и исследований потенциальных полей, а также следует связать использование Системы с актуальными практическими задачами отрасли.

1.2. В докладе ОАО «Севморгео» (докладчик Черников К.С.) предложен способ комбинированного учета вариаций магнитного поля Земли (МПЗ) при обработке данных дифференциальных гидромагнитных исследований применительно к решению поисково-разведочных задач в морских условиях (приложение 3).

Чувствительность современной морской магнитометрической аппаратуры составляет сотые доли нТл. Однако погрешность современных гидромагнитных исследований на несколько порядков превышает метрологические характеристики аппаратуры. Более полное использование возможностей аппаратуры связано с проблемами учета широкого круга специфических помех (временные вариации магнитного поля Земли, девиационные погрешности судна, магнитогидродинамические шумы моря и др.), которые значительно ухудшают результаты гидромагнитных исследований. Частотный спектр этих помех часто перекрывает спектр полезного сигнала и фильтрация измеренного поля, оказывается неэффективной, т.к. искажает «полезные» аномалии. По амплитудно-частотным характеристикам вариации МПЗ являются самыми разнообразными, а их некорректный учет оказывает значительное влияние на точность гидромагнитных съемок.

В настоящее время применяется несколько способов измерения вариаций МПЗ:

- стационарными или временными наземными (береговыми) магнитовариационными станциями (БМВС);

- морскими магнитовариационными станциями (ММВС);

- дифференциальными измерениями магнитного поля.

Поскольку каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, то для наиболее полного учета вариаций желательное использование всех вышеперечисленных способов, что не всегда возможно. Вблизи участка работ, как правило, отсутствуют БМВС, создание временной БМВС или установка ММВС связаны с многочисленными проблемами. При дифференциальных измерениях есть риски, обусловленные потерей данных из-за неисправностей одного из магнитометров.

За последнее десятилетие ОАО «Севморгео» приобрело значительный опыт в проведении и обработке дифференциальных гидромагнитных измерений. С целью повышения качества съемок учет вариаций МПЗ в этих работах проводился комбинированным способом:

- косвенным учетом вариаций, полученных из дифференциальных наблюдений;
- прямым учетом вариаций по данным наземных магнитовариационных станций (стационарных или временных, создаваемых на время проведения полевых работ).

При обработке данных использовалось как лицензионное программное обеспечение Geosoft, Inc., CGG-LCT, так и собственные разработки, интегрированные в обрабатывающую систему.

По результатам обсуждения доклада ОАО «Севморгео» (Н.Н. Ржевский, С.А. Кириллов, С.Г. Алексеев, М.М. Авдевич, В.К. Поликарпов, В.О. Леонов, В.С. Цирель, А.И. Рокирянский, А.Н. Телегин, В.Н. Воронович, К.В. Блинов)

НМС отмечает:

- Методика дифференциальных гидромагнитных исследований, разработанная в ОАО «Севморгео», позволяет наиболее корректно учитывать относительно коротковолновую составляющую вариаций магнитного поля Земли (короткопериодные колебания, магнитные бури). Методика предусматривает привлечение данных БМВС, расположенных на значительном удалении (до 1000 км и более) от участка работ. Существенно уменьшает погрешность съемки за счет более корректного учета длинноволновой составляющей вариаций МПЗ (суточные и другие периодические вариации).

- Интеграция различных методов позволила разработать оригинальную технологию комбинированного учета вариаций с использованием метода нестационарной декорреляции. Преимущества разработанной технологии заключаются в возможности максимально корректного использования всех доступных способов учета вариаций, а также позволяет при обработке повысить точность гидромагнитных исследований.

НМС рекомендует:

1. Материалы доклада ОАО «Севморгео» одобрить, принять к сведению.
2. Считать целесообразным применение предложенной технологии в работах, планируемых структурами Минприроды РФ в области морской гидромагнитной съемки.
3. Для широкого практического внедрения технологии ОАО «Севморгео» следует разработать Методические рекомендации по ее применению. Документ может быть представлен на рассмотрение НМС в 2016–17 гг.

1.3. В работе ООО «Газпромнефть НТЦ» (докладчик Буторин А.В.) рассматриваются возможности использования сейсморазведки и данных ГИС для определения моделей строения продуктивных пластов на одном из нефтяных месторождений Западной Сибири (приложение 4).

В настоящее время задачи сейсморазведки в условиях нефтегазовых объектов давно вышли за рамки структурной интерпретации и на основе анализа волнового поля от специалистов в области газонефтяной геофизики требуется решение практических задач, таких как восстановление обстановок седиментации и определение фациальных условий формирования продуктивных пластов. Информация об условиях осадконакопления позволяет судить о наличии перспективных объектов, не вскрытых бурением, об анизотропии известных геологических объектов, что важно при планировании и реализации разработки залежей.

На сегодняшний день существует достаточно большое количество алгоритмов анализа сейсмической информации, призванной в конечном итоге помочь геологам понять внутреннее строение продуктивных пластов. Эти алгоритмы можно разделить на несколько классов: амплитудные атрибуты, сейсмofации, атрибуты когерентности, результаты инверсии и спектральные характеристики. Множество способов анализа определяет многогранность данных, которые получаются на выходе интерпретации волнового поля и отражают степень неопределенности при решении прогнозных задач.

В представленном в докладе произведено сравнение применения сейсмофациального и спектрального алгоритмов анализа волнового поля на примере одного из нефтяных месторождений Западной Сибири, находящегося на начальной стадии разработки. В качестве примера в работе рассмотрен пласт БП₆²⁺³, который слагает характерную для Западной Сибири клиноформную структуру. Для изучения строения продуктивного интервала использовались сейсмические данные МОГТ 3D после суммирования и скважинные данные, представленные графиками АК и стратиграфическими разбивками.

С помощью сейсмофациального анализа, основанного на классификации волнового поля по форме волнового пакета, наблюдаемые изменения волновой картины связывались с различиями в геологическом строении пласта. В основе сейсмофациального анализа лежит применение самоорганизующейся нейронной сети для распознавания и оценки изменения формы сейсмического импульса в изучаемом интервале. Выходными данными выступают карты и кубы сеймоклассов, рассчитанные по различным входным данным (волновое поле и рассчитанные по нему атрибуты).

Другой метод анализа волнового поля основан на изучении спектральных характеристик сейсмических трасс. В основе данной технологии лежит алгоритм непрерывного вейвлет-преобразования (НВП), который позволяет разложить волновое поле на серию кубов амплитуд, описывающих поведение отдельных гармоник. Технология НВП является относительно новой технологией, которая получила широкое распространение в математике и физике.

Применение технологии НВП в сочетании со специализированными алгоритмами визуализации позволяет многократно повысить информативность волнового поля по сравнению со стандартными методами анализа. Интерпретация внутреннего строения целевого пласта выполнялась по набору стратиграфических карт цветового комбинирования, что дало возможность детально восстановить положение целевых объектов внутри пласта.

Скважинная информация позволила стратифицировать волновое поле, то есть определить границы целевого интервала и проследить основные рефлекторы.

На основе детального совместного анализа всей полученной информации в комплексе со скважинными данными о фильтрационно-емкостных свойствах (ФЕС) вскрытых отложений установлено наличие и закартированы на площади несколько типов геологических тел: серия баровых тел, приуроченных к шельфовой части; развитая сеть подводных каналов; система конусов выноса, приуроченных к границе шельфа; крупные конусы выноса, связанные с областями разгрузки устойчивых каналов.

Результат проведенных исследований – детальная модель строения продуктивного пласта БП₆²⁺³, указывающая на достаточно сложную схему его формирования в области активно развивающегося шельфа, что выражается в наличии большого количества обстановок седиментации (баровые тела, каналы, конусы выноса). Все выделенные тела, вскрытые скважинами, характеризуются улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами и нефтяным притоком из интервала пласта БП₆²⁺³. Отсутствие воды при испытании скважин дает основание считать, что изучаемый пласт является полностью нефтенасыщенным.

По результатам обсуждения материалов доклада (С.А. Кириллов, А.Н. Телегин, В.П. Кальварская, И.О. Баяк)

НМС отмечает:

- Представленные в докладе результаты детального анализа волнового поля продуктивного интервала, с применением новейших технологий непрерывного вейвлет-преобразования, позволили построить подробную модель строения пласта, выделить в разрезе основные геологические тела и определить вероятные обстановки их седиментации.

- Проведенный анализ сейсмических данных является одним из важнейших этапов при освоении нефтяных месторождений. От уровня и качества анализа материалов зачастую зависит дальнейшая перспективность всего проекта.

НМС рекомендует:

1. Представленную в докладе ООО «Газпромнефть НТЦ» методику анализа волнового поля с использованием технологии НВП – к публикации и практическому освоению.
2. Разработку вопросов методики анализа волнового поля для характеристики продуктивных горизонтов нефтяных месторождений – к дальнейшему развитию.

1.4. В докладе А.Г. Марченко с соавторами (Группа компаний «Теллур») представлены материалы по комплексированию наземных геофизических и геохимических методов при поисках золоторудных месторождений (приложение 5).

В течение последнего десятилетия поисковые работы, проводимые группой компаний «Теллур» по договорам с различными компаниями (ЗАО «Северстальресурс», ОАО «Полиметалл», ООО «Артель старателей Западная», ЗАО «Аврора-Менеджмент», ООО «Мангазея Майнинг» и др.) и их дочерними предприятиями, были преимущественно нацелены на обнаружение золоторудных месторождений золото-кварцевой и золото-кварц-сульфидной формаций, в которых золоторудные тела представлены кварцевыми, карбонат-кварцевыми жилами, и минерализованными зонами. Основные районы работ – это Восточная Сибирь и Карело-Кольский регион.

Опыт работ группы компаний «Теллур» показывает, что в таких случаях, как правило, эффективным оказывается следующий комплекс методов:

- площадная магнитная съемка;
- площадные электроразведочные поисковые работы методом вызванной поляризации в различных модификациях;
- электрические зондирования ВП, обычно с трехэлектродной установкой АМNB_∞ (ТЗ-ВП) на участках выявленных аномалий поляризуемости и удельного сопротивления;
- геохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния;
- геологическое сопровождение геофизических и геохимических поисковых работ с проведением геолого-поисковых маршрутов, отбором и анализом образцов каменного материала из естественных и искусственных обнажений.

При этом каждый из методов решает свои задачи, а результаты их комплексного применения, дополняя друг друга, ведут к достижению поисковой цели.

Магнитная съемка нацелена в основном на решение структурно-картировочных задач, но в некоторых случаях позволяет выделять зоны пирротиновой и магнетитовой минерализации, которые могут вмещать золоторудные тела или быть сопряжены с ними.

Электроразведка методом ВП с применением аппаратуры и программного обеспечения, разработанных в «Теллуре», позволяет выделять геологические тела и зоны, различающиеся по содержанию электропроводящих включений (сульфидов и других минералов, обладающих электронной проводимостью). Метод ВП является наиболее эффективным при поисках вкрапленного и прожилково-вкрапленного оруденения минерализованных зон, которое может не отличаться от вмещающих пород по электрической проводимости и не фиксироваться другими электроразведочными методами.

В целом же следует отметить, что геофизические методы, прежде всего электроразведка методом ВП, в большинстве случаев позволяют успешно выделять не столько сами золоторудные тела, сколько вмещающие их минерализованные зоны, которые чаще всего характеризуются повышенной поляризуемостью и пониженным электрическим сопротивлением, нередко сопряжены с близрасположенными магнитными аномалиями и градиентными зонами магнитного поля. Хотя в ряде случаев при детальном поиске успешно выделяются отдельные кварц-сульфидные жилы и кварцевые жилы с сульфидизированными зальбандами, геофизика в основном решает задачу выявления потенциально рудовмещающих зон, в то время как для оценки вещественного состава и степени золотоносности этих зон и их локальных фрагментов необходимо применение геохимических методов.

Основной вариант наземных геохимических поисков – это литохимические поиски по вторичным ореолам, которые проводятся по всей площади (оптимальный вариант) либо только на участках выявленных геофизических аномалий и их флангах

Выбор методики геохимических поисков золоторудных объектов зависит, прежде всего, от ландшафтных условий.

Геологическая эффективность поискового комплекса в ряде случаев подтверждена результатами последующих оценочных и разведочных работ с применением бурения.

В результате комплексной интерпретации геофизических, геохимических и геологических материалов вырабатываются конкретные рекомендации по проведению заверочных горно-буровых работ.

В докладе приводятся примеры поисковых работ группы компаний «Теллур» на рудное золото, которые были проведены в последние годы на нескольких участках в Забайкалье и Южной Карелии.

По результатам обсуждения материалов доклада А.Г. Марченко (Н.А. Ворошилов, Н.Н. Ржевский, М.К. Овсов, В.П. Кальварская, К.В. Блинов, В.Н. Воронович, А.И. Рокитянский, В.К. Поликарпов, М.М. Авдевич)

НМС отмечает:

- Геологическая эффективность поисковых работ группы компаний «Теллур» на рудное золото комплексом наземных геофизических и геохимических методов весьма высока при решении структурно-картировочных задач в пределах рудных полей и выделении рудовмещающих минерализованных зон в условиях месторождений золото-кварцевой и золото-кварц-сульфидной формаций, (в том числе при малом содержании сульфидов). Результаты подтверждены последующими геологоразведочными работами с применением бурения в Забайкалье и Карело-Кольском регионе.

- Методические разработки группы компаний «Теллур» и опыт их применения при поисках золоторудных месторождений могут оказаться полезными для многих российских геологоразведочных предприятий.

НМС рекомендует:

1. Одобрить материалы доклада «Опыт комплексирования наземных геофизических и геохимических методов при поисках золоторудных месторождений», представленного группой компаний «Теллур», авторы: д.г.-м.н. А.Г. Марченко, К.В. Блинов, А.И. Рокитянский, д.т.н. К.М. Ермохин.

2. Использовать методические разработки и опыт группы компаний «Теллур» при поисковых работах на рудное золото с вовлечением в состав комплекса (при необходимости) геохимических методов поисков по наложенным ореолам рассеяния (геоэлектрохимические методы и др.), особенно это касается комбинированных условий (сочетание открытых и закрытых территорий). Работы проводить

- группой компаний «Теллур» по договорам с геологоразведочными и горными предприятиями;

- другими геологоразведочными предприятиями при научно-методическом сопровождении разработчиков.

3. Материалы доклада следует опубликовать в профильных журналах.

1.5. В работе коллектива Горного института УрО РАН (Пермь) рассмотрены пути актуализации современных методов обработки высокоточных гравиметрических наблюдений в части повышения их геологической информативности при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых (приложение 6).

В настоящее время произошли принципиальные изменения в аппаратном оснащении гравиметрических исследований, что привело к повышению точности полевых гравиметрических наблюдений. Существенным образом возросли наши знания о форме Земли, создана мировая опорная гравиметрическая сеть, в открытом доступе имеются детальные базы данных о фигуре геоида и рельефе Земли. Учитывая эти факторы, а также современные вычислительные мощности, следует отметить, что нет никаких причин для применения упрощенных формул при вычислении и внесении поправок и редуций в гравиметрические наблюдения.

В докладе представлены научное обоснование и разработка методов вычисления аномалий силы тяжести, адекватных аппаратным, теоретическим и программно-алгоритмическим возможностям современной гравиразведки.

Процедуры обработки гравиметрических данных и вычисления аномалий Буге, описанные в учебниках по геофизике, формализовались в 1920-1930х годах. Параметры формул вычисления аномалий Буге опирались на известные в то время сведения о форме Земли, абсолютном значении силы тяжести и минимизировали вычислительные затраты. Несмотря на допущения и упрощения, эти процедуры с минимальным изменением продолжают использоваться и поныне для решения большого круга геолого-геофизических задач, а также включены в учебники по гравиразведке, Инструкции и ГОСТы.

Предлагаемые в докладе процедуры редуцирования базируются на новых формулах, которые используют установленную в России систему координат ПЗ-90.11 и современные данные о фигуре Земли. Рассматриваемые изменения в процедурах редуцирования минимизируют погрешности, связанные с рельефом местности, кривизной Земли, вертикальным градиентом силы тяжести, эффектом атмосферных масс и разностями в датумах нормальной силы тяжести и высоты пункта. Самое существенное изменение в предлагаемых процедурах редуцирования касается выбора эллипсоида в качестве датума для системы высот, что устраняет необходимость в исправлении косвенного эффекта, обусловленного различием систем высот. Кроме того, предлагается использовать сферический слой при вычислении поправок за промежуточный слой и рельеф, учитывать эллипсообразность Земли при вычислении поправки за высоту и др.

По результатам обсуждения доклада (Н.Н. Ржевский, В.К. Поликарпов, Д.Ф. Калинин, В.П. Кальварская)

НМС отмечает:

- Повышение геологической эффективности гравиметрических исследований невозможно на основе прежних методик наблюдений и упрощенных технологий обработки (вычисление аномалий Буге и др.).
- Коллективом ГИ УрО РАН выполнена исключительно важная работа: разработаны новые алгоритмы и соответствующее программное обеспечение обработки гравиметрических данных с использованием принятого в России земного эллипсоида, современных данных о геоиде и рельефе Земли. Изменения, предложенные в процедурах редуцирования, минимизируют погрешности, связанные с рельефом, кривизной Земли, вертикальным градиентом силы тяжести, эффектом атмосферных масс и разностями в датумах нормальной силы тяжести и высоты пункта.
- Отличительными особенностями разработанной компьютерной технологии определения поправок за влияние рельефа местности при гравиметрических наблюдениях являются: максимально полное использование цифровых картографических данных о рельефе, построение аналитических аппроксимаций рельефа и стохастическое моделирование для оценки точности получаемых результатов. Это качественно новый уровень обработки данных гравиметрических съемок.
- На конкретных примерах показано, что применение предложенных современных процедур обработки позволяет значительно повысить геологическую информативность данных гравиметрических наблюдений и эффективность их использования при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых, что особенно актуально в горной местности.

НМС рекомендует:

1. Продолжить опробование разработанных процедур редуцирования полевых гравиметрических данных и способствовать широкому внедрению полученных результатов.
2. Считать целесообразным для производственного внедрения разработать Методические указания с детальным описанием всех операций по обработке данных с рассмотрением документа на заседании НМС ГГТ в 2015–16 гг.

3. Учитывая исключительную важность разработки с позиций соблюдения культуры обработки данных гравиметрических наблюдений, представленные материалы целесообразно использовать в составе лекционных курсов в вузах соответствующего профиля, а также включить их в состав монографии.

1.6. Доклад И.О. Баюк (ИФЗ РАН), посвящен рассмотрению вопросов теории эффективных сред в современной разведочной геофизике (приложение 7).

В связи с истощением мировых запасов углеводородов в последнее время всё большую роль играет поиск новых решений и подходов, позволяющих повысить достоверность обнаружения залежей углеводородов и интенсифицировать их добычу. Индикаторами углеводородов, как правило, являются особенности физических свойств УВ-содержащих пород, которые выявляются в полевых экспериментах, проводимых в ходе разномасштабных геофизических исследований среды (ГИС, ВСП, сейсмические исследования). В свою очередь, физические свойства пород зависят от минерального состава, пористости, типа порозаполняющего флюида, параметров внутреннего строения породы: формы, ориентации, степени связности пор, трещин, наличия цемента и его типа и т.п.

Теория эффективных сред (ТЭС) дает возможность в аналитической форме связать физические свойства с характеристиками состава и строения пород. Установление таких связей подразумевает создание математической модели физических свойств породы, которая включает: 1) модельную среду – идеализированную среду, отражающую основные черты внутреннего строения породы; 2) параметры модели (например, характеристики формы включений, факторы связности и степени упорядоченности компонент); 3) уравнения связи «физические свойства – параметры модели».

Поскольку различные упругие свойства определяются одним и тем же внутренним строением среды, то такой подход дает возможность создать единую модель для различных свойств, тем самым позволяя прогнозировать одни физические свойства через другие, используя одни и те же параметры модели.

В докладе демонстрируется решение ряда актуальных задач разведочной геофизики, основанных на применении ТЭС к математическому моделированию упругих свойств коллекторов, включая

- определение параметров строения пустотного пространства коллектора по измеренным физическим свойствам;
- определение «неизмеряемых» физических свойств по измеренным;
- восстановление полного тензора упругости анизотропной породы (УВ-содержащего сланца) по ограниченному числу измерений физических свойств, недостаточному для применения традиционных методик;
- построение скоростной модели УВ-содержащих сланцев с учетом их анизотропии для мониторинга гидроразрыва;
- выделение зон трещиноватости в карбонатных коллекторах и их характеристику;
- прогноз физических свойств коллекторов в различных масштабах (апскейлинг физических свойств).

После ответов и вопросов и обсуждения материалов доклада (Н.В. Танинская, А.П. Савицкий, С.А. Кириллов, В.К. Поликарпов)

НМС отмечает:

- В представленной разработке всесторонне и многопланово обоснована роль и назначение теории эффективных сред (ТЭС) в решении ряда актуальных задач разведочной геофизики, основанных на математическом моделировании физических свойств коллекторов.
- Для оптимизации планирования и сопровождения бурения, снижения рисков осложнений и аварий автором предложено считать обязательным создание геолого-гидромеханических постоянно действующих моделей, как необходимого этапа разработки всех месторождений УВ.

- Разработаны и рекомендованы к внедрению комплексы геолого-геофизических и геолого-технических методов исследований, необходимые для формирования геолого-гидрогеомеханических моделей месторождений УВ.

- При обработке и интерпретации полевых сейсмических материалов и данных ГИС предложено использовать математическое моделирование упругих свойств на основе современной теории эффективных сред. При этом

- набор скоростей упругих волн позволяет анализировать эволюцию анизотропных свойств пород в процессе нагружения и определять динамические упругие модули;

- сопоставление статических и динамических характеристик необходимы для решения проблемы «апскейлинга» и калибровки соответствующей теории;

- анизотропная скоростная модель ядра позволяет выявлять возникающие микроразрывы, проследить их развитие при образовании гидроразрывов.

НМС рекомендует:

1. Материалы доклада принять к сведению и использовать на практике при решении задач разведки и разработки на месторождениях УВ.

2. Исследования следует продолжить в практическом направлении с учетом многообразия действующих факторов и взаимосвязей физических полей (влияния давления, температуры, взаимосвязей упругих и электромагнитных свойств и др.).

3. Теорию эффективных сред целесообразно включить в курсы вузов.

4. Для широкого масштабного внедрения геолого-гидро-механических моделей в практику производственных работ при разведке и освоении месторождений УВ основные положения доклада представить в виде нормативного документа (Методические рекомендации, Указания, Руководство и др.).

1.7. В докладе, представленном коллективом авторов: С.А. Тихоцкий, И.О. Баяк, И.А. Гарагаш, А.В. Дубовская, Г.А. Калмыков, Е.Н. Полудеткина, М.Ю. Токарев, И.В. Кузнецов, рассмотрены экспериментальные и теоретические основы геомеханического моделирования при поисках, разведке и проектировании процессов разработки месторождений нефти и газа (приложение 8).

При поисково-разведочных работах и разработке месторождений углеводородов необходимо глубокое понимание физических свойств пород-коллекторов и связанных с ними физических процессов, включая: распространение сейсмических волн различной частоты, поведение пород в процессе бурения, изменение физических характеристик в процессе закачки и откачки флюида (в том числе – при гидроразрыве), фильтрацию пластового флюида и бурового раствора. Всё это требует комплексных экспериментальных исследований ядерного материала и создания соответствующей физико-математической теории. Определяемые в результате физико-механические (упругие) свойства пород позволяют разрабатывать новые методы поиска соответствующих коллекторов и являются основой для геомеханического и флюидогидродинамического моделирования процессов разработки.

В Институте физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН в сотрудничестве со специалистами Геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова и НПО «Союзнефтегазсервис» разработан комплекс экспериментальных и теоретических методов для решения поставленной задачи. Важнейшим элементом комплекса являются экспериментальные исследования упругих и прочностных свойств с использованием установок высокого давления при различных режимах нагружения. В ходе эксперимента проводятся измерения осевой и радиальной деформации образца, набора скоростей сейсмических волн в ультразвуковом диапазоне частот, акустической эмиссии с сопутствующей локализацией возникающих микроразрывов. Определение набора скоростей упругих волн позволяет анализировать эволюцию анизотропных свойств пород в процессе нагружения и определять динамические упругие модули. Таким образом появляется возможность прямого сопоставления статических и динамических упругих модулей, измеряемых одновременно, что необходимо для решения проблемы «апскейлинга» и калибровки соответствующей теории. Определяются пределы прочности. Испыта-

ния проводятся при одноосном, трёхосном и всестороннем сжатии, различных типах флюидонасыщения и поровом давлении. Также проводятся исследования анизотропии горных пород путём изучения разнополяризованных поперечных волн.

Разработана и используется теория эффективных сред (ТЭС), основанная на физико-математическом моделировании пород с заданной микроструктурой, для чего используется широкий комплекс методов изучения микроструктуры, включая: сканирующую электронную микроскопию, микрозондовый анализ, оптическую микроскопию и компьютерную рентгеновскую томографию. Анализ полученных результатов позволяет строить эффективные физико-математические модели коллектора.

В докладе демонстрируется пример применения описанного комплекса исследований к изучению образцов пород баженовской свиты — коллектора нефти нетрадиционного типа.

Оптимизация процессов разработки нефтяных и газовых месторождений, повышение извлекаемости запасов углеводородов, проектирование процессов добычи, включая закачку и активное воздействие на пласт, требуют выполнения флюидодинамического моделирования процессов фильтрации. Такое моделирование в настоящее время стало стандартом при разработке месторождений углеводородов.

Вместе с тем, опыт показывает, что предсказания таких моделей, включая прогноз уровня обводнения, не всегда хорошо соотносятся с наблюдаемыми значениями. Отчасти это связано с несовершенством используемых геологических моделей и неточными оценками фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС). Значение имеет изменение ФЕС в процессе разработки вследствие снижения порового давления и сокращения открытой пористости. В первую очередь возможно снижение проницаемости в ослабленных разломных зонах, которые контролируют значительную долю фильтрации флюидов. Изменившиеся ФЕС коллекторов изменяют и ход процесса разработки, что не учитывается в стандартных флюидодинамических моделях. Большое значение имеет также и изменение напряжённого состояния пластов, что приводит к изменению нагрузки на ствол скважины и может приводить к аварийности.

К настоящему моменту накоплен большой опыт создания статических 3D геомеханических моделей месторождений, учитывающих как региональные тектонические напряжения, так и собственный вес горных пород. Эти модели используются для прогноза эффективного давления и оценки воздействий на ствол скважин.

До последнего времени геомеханическое и флюидодинамическое моделирование месторождений использовались в качестве двух последовательных и независимых этапов. Вместе с тем для адекватного моделирования процессов разработки необходимо сделать такие модели сопряжёнными и постоянно действующими, т. е. постоянно обновлять в процессе разработки как данные о напряжённом состоянии, так и вытекающие из них изменения ФЕС для использования во флюидодинамическом моделировании. В конечном итоге разработана и реализуется технология сопряженного геомеханического и флюидогидродинамического моделирования, в основу которого положена единая постоянно действующая геолого-гидромеханическая модель (ПГГМ).

В результате флюидодинамического моделирования ПГГМ дополняется данными о параметрах течений, давлениях и насыщениях различных флюидных фаз (воды, нефти). Изменение порового давления закладывается в геомеханический симулятор, что позволяет рассчитать изменения напряжённого состояния и деформации среды, что прямо влияет на изменение пористости. Вычисленное таким образом изменение пористости используется для уточнения флюидодинамической модели. Соответствующий цикл должен выполняться многократно в ходе разработки месторождения.

Проведено сопоставление расчётных значений напряжений, полученных в рамках ПГГМ, с аналитической оценкой, полученной на основании эмпирических соотношений, предлагаемых компанией Shell и аналитическими соотношениями для полных напряжений. Получаемые описываемым образом величины главных напряжений в совокупности с данными о скоростях продольных и поперечных волн, пористости и плотности породы затем ис-

пользуются для 1D геомеханического моделирования вдоль ствола скважины с использованием программного пакета MLGeomechanics и технологии Unofactor. Результатом этого моделирования является прогноз оптимальных значений плотности буровой жидкости по скважине, обеспечивающих её устойчивость.

Обсудив материалы представленного доклада (С.А. Кириллов, В.К. Поликарпов, С.С. Крылов, Н.В. Танинская, С.В. Шиманский, А.П. Савицкий),

НМС отмечает:

- При разработке месторождений углеводородов в принятых к использованию технологиях геомеханическое и флюидодинамическое моделирование применяют в качестве двух последовательных и независимых этапов. Вместе с тем, для адекватного моделирования процессов разработки такие модели должны быть сопряжёнными и постоянно действующими. При этом в процессе разработки необходимо постоянно обновлять как данные о напряжённом состоянии, так и вытекающие из них изменения ФЭС для их учета во флюидодинамическом моделировании.

- Решение такой задачи реализуется в научно-исследовательском направлении, разрабатываемым коалицией организаций (ИФЗ РАН им. О.Ю. Шмидта, геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, НПО «Союзнефтегазсервис»). Направление работ является инновационным и имеет исключительную народно-хозяйственную значимость, обусловленную необходимостью повышения качества освоения месторождений нефти и газа с увеличением коэффициента извлечения УВ-сырья из недр.

- Как следует из доклада, в процессе выполненных исследований коллективом соавторов

- разработан комплекс методов для решения поставленной задачи;
- разработаны и используются модели физико-математического моделирования упругих свойств пород с заданной микроструктурой, основанные на теории эффективных сред (ТЭС);
- предложены пути оптимизации процессов разработки нефтяных и газовых месторождений, повышения извлекаемости углеводородов, проектирования процессов добычи на основе данных флюидодинамического моделирования процессов фильтрации;
- опробован и реализован интерактивный подход в решении системы дифференциальных уравнений (уравнения фильтрации и геомеханики), в котором уточнение флюидодинамической и геомеханической модели происходит в ходе чередующихся итераций;
- сформулированы требования к постоянно действующей геолого-гидрогеохимической модели (ПГГМ), включая ее назначение, наполнение, использование;
- определены требования к технологии проводки скважин и возможные коррективы для нормализации бурения.

НМС рекомендует:

1. Отметить высокую научную и народно-хозяйственную значимость направления разрабатываемого РАН, совместно со специалистами Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова и НПО «Союзнефтегазсервис», в области экспериментально-теоретического обоснования и создания технологии геомеханического моделирования при поисках, разведке и освоении нефтегазовых объектов, в целях повышения достоверности формирования моделей залежей углеводородов и интенсификации их разработки.

2. Считать целесообразным

- 2.1. Широкомасштабное использование разработанной технологии на практике структурами Минприроды и частными предприятиями.

- 2.2. Публикацию материалов доклада в профильных журналах.

- 2.3. Представление вытекающих из результатов разработки рекомендаций в нормативном документе (МР, МУ, Руководство).

- 2.4. Включение материалов в лекционные курсы профильных факультетов вузов РФ.

1.8. А.М. Жарковым (ФГУП «ВНИГРИ») представлена в докладе методика поисков и количественной оценки ресурсов УВ в сланцевых формациях Российской Федерации (приложение 9).

Правительство РФ и Руководство Минприроды России придают большое значение изучению и освоению нетрадиционных источников углеводородного сырья, что отражено в Государственной программе РФ «Воспроизводство и использование природных ресурсов», утвержденной в марте 2013 г.

Из нетрадиционных источников нефти и газа сегодня наибольшее внимание привлекает сланцевая нефть и месторождения матричной нефти (с высоким содержанием редких и редкоземельных элементов) – карбонатного аналога сланцевой нефти. За рубежом, в частности в США, наиболее динамично развивается добыча сланцевых УВ. Это обстоятельство обуславливается однотипными условиями разработки сланцевых формаций. Опыта добычи сланцевых УВ в России нет. Понимание проблемы базируется на теоретических разработках российских специалистов и зарубежном опыте.

Основные сланцевые формации, перспективные на содержание УВ, – это доманиковая свита Восточно-Европейской платформы, кумская и худумская – Предкавказья, баженовская свита Западной Сибири и куонамская – Восточной Сибири.

В состав методики поисков нефти и газа в сланцевых формациях входят

1. *Локализация областей развития прогнозных сланцевых формаций* в результате исследований которой получают базовые карты изучаемой формации, структурные карты и карты мощностей сланцевой формации, нижнего и верхнего флюидоупоров.

2. *Определение содержания органических веществ (ОВ) и степени его преобразованности (катагенеза) в выявленных прогнозных сланцевых толщах* для оконтуривания области сланцевой формации, способной генерировать газ в промышленных масштабах.

3. *Изучение структурных и палеоструктурных характеристик прогнозных сланцевых формаций* с целью определения участков, находящихся близко от дневной поверхности, испытавших инверсию (горсты, взбросы) или опускание (грабены, сбросы) в процессе геологического развития, зон выклинивания отложений, закономерностей утонения или наращивания мощностей и связи этих участков сланцевого поля с содержанием органического вещества (ОВ), а так же нарушением сланцевых формаций дизъюнктивной тектоникой.

4. *Изучение литологических особенностей строения прогнозных газсланцевых формаций и их коллекторских свойств.*

5. *Оценка надёжности флюидоупоров, ограничивающих прогнозные сланцевые формации*, которая осуществляется на основе картирования литологического состава отложений, что в итоге, по структурным и литологическим условиям строения из области развития сланцевой формации позволяет исключить участки с не надёжными флюидоупорами.

6. *Определение контура прогнозных газсланцевых полей*, устанавливаемого последовательным исключением из области развития сланцевых формаций участков с содержанием ОВ менее 1%, обладающих пористостью менее 3%, с нестабильными структурными и палеотектоническими условиями, не имеющими в своём составе хрупких компонентов, с ненадёжными по структурно-литологическим свойствам флюидоупорами.

По комплексу полученных данных намечают участки, отвечающие очагам генерации УВ, которые будут выделяться повышенными мощностями сланцевой формации, с максимальными значениями содержания ОВ и надёжными покрывками.

Основываясь на результатах обсуждения материалов доклада (Р.Т. Еганьянц, А.П. Савицкий, С.А. Кириллов, Н.А. Ворошилов, Н.В. Танинская, С.В. Шиманский),

НМС отмечает:

• Из доклада ФГУП «ВНИГРИ» следует, что в Российской Федерации вопрос оценки ресурсов УВ в сланцевых формациях мало проработан и требует большого объема серьезных исследований. Опыт добычи сланцевых УВ в России отсутствует.

- Материалы, представленные в докладе, позволяют сформулировать постановку геологоразведочных задач применительно к объекту исследования – месторождениям сланцевой нефти и спланировать их выполнение с использованием разработанной методики.
- Определен комплекс необходимых геолого-геофизических, геолого-технических и геохимических исследований при нефтегазогеологическом районировании формаций.
- Показаны территории (формации), перспективные по содержанию УВ на наличие месторождений сланцевой нефти.

НМС рекомендует:

1. Исследования, выполняемые ФГУП «ВНИГРИ» в области поисков и оценки ресурсов УВ в сланцевых формациях, считать актуальными и требующими инновационных подходов в решении поставленных геологоразведочных задач. Особенно это должно быть важно для густонаселенных регионов, имеющих развитую инфраструктуру, таких как Башкортостан, Татарстан и республики края Северного Кавказа, где испытывается дефицит добычи УВ из местных источников.
2. Работы по развитию направления целесообразно продолжить, усилив внимание к требованиям по геолого-геофизическому и геолого-геохимическому обеспечению региональных и поисковых исследований применительно к углеводородам в сланцевых формациях и транзитных зонах. Оценить экономические аспекты по поискам и разведке УВ в сланцевых формациях Российской Федерации.

1.9. Доклад К.В. Коваленко (РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина) посвящен системе петрофизического обеспечения моделирования залежей нефти и газа на основе эффективной пористости гранулярных коллекторов (приложение 10).

Представленная разработка выполнена в рамках научно-исследовательского направления, ориентированного на использование динамических фильтрационно-емкостных свойств коллекторов (эффективных параметров пористой среды) в моделировании залежей углеводородов, была начата на кафедре ГИС РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина более десяти лет назад.

Представленная в докладе система петрофизического обеспечения геомоделирования характеризуется широкой областью применимости для решения целого ряда актуальных задач, включающих надежное выделение и оценку сложных коллекторов, расчет их динамических фильтрационно-емкостных свойств с учетом состава матрицы и цемента, синтез данных промысловой и разведочной геофизики, учет фильтрационной неоднородности коллекторов при разработке месторождений углеводородов.

Использование динамических фильтрационно-емкостных свойств коллекторов, их связи с капиллярным давлением в переходной зоне ведет к повышению достоверности геолого-технологических моделей залежей нефти и газа, подсчета запасов и в конечном итоге приводит к повышению эффективности разработки залежи.

Методология построения системы петрофизического обеспечения моделирования разделена на две части: ядро системы и ее функциональную часть. В ядро разработанной системы входят петрофизические модели взаимосвязей фильтрационно-емкостных свойств, обоснование методик интерпретации данных геофизических исследований скважин; методологические принципы развития теории и практики интерпретации; критерии оценки значимости и эффективности научных и практических исследований (оценки погрешностей алгоритмов, область применимости). Функциональной части системы петрофизического обеспечения принадлежат элементы, соответствующие этапам решения отдельных задач 3D геомоделирования и представляющие методики и алгоритмы расчета отдельных параметров.

При разработке системы в области развития методического обеспечения интерпретации данных геофизических исследований скважин были получены результаты, обладающие научной новизной. В их составе:

1. Обоснованы аналитические петрофизические модели эффективной и динамической пористостей гранулярных коллекторов на основе характеристических параметров – характе-

ристик граничных состояний коллектора (коллектор, обладающий максимальной эффективной пористостью и при $K_{п\ \text{эф}} = 0$).

2. Нормированная эффективная пористость введена и обоснована как интерпретационный параметр методов геофизических исследований скважин (ПС, ГК, КНК, ИНК, ГГК-П, АК), что позволило перейти к алгоритмам интерпретации, опирающимся на аналитические петрофизические модели коллекторов, отражающие совокупность условий их образования, залегания и вторичных преобразований.

3. Разработаны алгоритмы определения коэффициента нефтегазонасыщенности по данным метода сопротивлений (КС) и ИННК (ИНГК) на основе характеристических параметров коллектора.

4. Сформулирован принцип петрофизической инвариантности коллекторов, заключающийся в том, что различные пласты, отмечающиеся одинаковым значением нормированной эффективной пористости, имеют одинаковый относительный объем подвижного флюида, а их разностные отношения по характеристическим петрофизическим и геофизическим параметрам совпадают между собой.

5. Применение разработанной системы адаптивной интерпретации данных ГИС при построении геологической модели до проведения гидродинамических расчетов обеспечивает повышение эффективности разработки пласта с учетом его латеральной неоднородности по добываемым характеристикам.

По результатам внедрения описанных в докладе методологических принципов пробурен ряд эксплуатационных скважин со средним дебитом по нефти $177 \text{ м}^3/\text{сут}$ при среднем дебите по месторождению $40 \text{ м}^3/\text{сут}$ (юрские отложения Краснополянинского свода).

В итоге рассмотрения материалов доклада (М.Б. Штокаленко, С.А. Кириллов, И.О. Баяк, В.П. Кальварская)

НМС отмечает:

- Разработанная в РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина Система (автор К.В. Коваленко), нацеленная на увеличение коэффициента извлечения нефти (газа), которая обеспечивается использованием технологий разработки, адекватных геолого-физическим условиям продуктивного пласта, при непрерывном контроле и анализе управления залежью в процессе эксплуатации на основе ее 3D динамической геофлюидальной модели, актуальна, имеет научную ценность и практическое значение в области петрофизического и методического обеспечения интерпретации данных геофизических исследований скважин на месторождениях нефти и газа с целью определения динамических фильтрационно-емкостных свойств при геолого-технологическом моделировании.

- В рамках системы петрофизического обеспечения геомоделирования разработан, успешно опробован и внедрен ряд моделей и алгоритмов. В частности:

- алгоритм применения петрофизической модели эффективной пористости для расчетов по данным геофизических исследований скважин полей коэффициента сжимаемости порового пространства и сжимаемости коллектора для петроэластического моделирования замещения флюидов и акустической жесткости;

- модель связи капиллярного давления с динамическими фильтрационно-емкостными свойствами коллектора и алгоритм расчета нефтенасыщенности в переходной зоне коллектора;

- методики и алгоритмы для расчетов эффективных и фазовых проницаемостей, прогноза коэффициента вытеснения, продуктивности скважин и доли воды в притоке на каждом кванте глубины, что обеспечивает оперативный прогноз начальных дебитов и обводненности продукции при проектировании мест расположения скважин на этапе построения геологической модели до проведения гидродинамических расчетов.

- Предложенная система петрофизического обеспечения является практическим инструментом, позволяющим использовать эффективную пористость для 3D моделирования залежей нефти и газа, обеспечивая переход к динамическим фильтрационно-емкостным

свойствам коллекторов, что повышает информативность 3D геологического моделирования месторождений УВ.

НМС рекомендует:

1. Одобрить результаты научно-исследовательской работы по теме «Система петрофизического обеспечения моделирования залежей нефти и газа на основе эффективной пористости гранулярных коллекторов», выполненной на кафедре ГИС РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. Направление исследований оценить, как актуальное и приоритетное, обладающее научной новизной и высокой практической значимостью.

2. Считать целесообразным развитие работ по петрофизическому моделированию, разработке методик интерпретации с использованием динамических фильтрационно-емкостных свойств коллекторов и технологий оценки прогнозных дебитов и состава притока по геолого-геофизическим данным.

3. Рекомендовать Федеральному агентству по недропользованию внедрение элементов системы петрофизического обеспечения моделирования залежей нефти и газа на основе эффективной пористости гранулярных коллекторов при проведении геолого-технологического моделирования с целью подсчета запасов и подготовки данных для гидродинамического моделирования залежей нефти и газа.

4. На основе полученных результатов разработать Методические рекомендации по использованию динамических фильтрационно-емкостных свойств при геолого-технологическом моделировании для последующего производственного внедрения элементов Системы. Продолжение исследований по направлению считать целесообразным для повышения эффективности освоения ресурсной базы углеводородов.

5. Результаты работы использовать в учебном процессе и при подготовке соответствующей учебной литературы кафедры ГИС РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина.

1.10. В докладе П.А. Рязанцева (ИГ КарНЦ РАН) рассмотрены возможности электромографии при изучении трещиноватости горных пород применительно к разработке месторождения облицовочного камня в Карелии (приложение 11).

Электромография, которая хорошо зарекомендовала себя при исследованиях приповерхностной части геологической среды, оказывается перспективной при определении степени тектонической нарушенности горного массива. Её использование позволяет получить геоэлектрические разрезы удельного электрического сопротивления (УЭС) высокой детальности, на основе которых можно создать модель, описывающую распределение нарушенности в горном массиве и аналитически выделить структурно-однородные блоки.

Выполненные в ИГ КарНЦ РАН исследования основ метода сопротивлений, механизмов образования проводимости различных горных пород и факторов их обуславливающих, а также анализ зависимости УЭС от трещиноватости, позволили установить контрастное проявление явления нарушенности в скальных горных породах по изменению уровня УЭС. В общем виде между трещиноватостью и УЭС для скальных пород имеет вид обратной линейной зависимости. Характерно, что такая картина сохраняется как для показателя удельной трещиноватости, так и для модуля трещиноватости. Наличие такой зависимости позволяет оценивать (на качественном уровне) степень нарушенности горного массива по показателю УЭС, а в дальнейшем определить атрибуты для выделения в них зон трещиноватости по данным электроразведочных методов на постоянном токе. Следует отметить, что эта связь обусловлена рядом факторов и в каждом типе горных пород может проявляться по-разному.

Математическое моделирование разрывных нарушений и аналитическое исследование характеристик распределений УЭС в разрезе позволили выделить критерии определения трещиноватости горного массива по данным электромографии.

1. Трещины горного массива выделяются по характерному распределению аномалий УЭС в геоэлектрическом разрезе.

2. Применяемые поисковые атрибуты напрямую зависят от геоэлектрических параметров среды, а также от типа трещин, геометрии трещин, материала заполнителя.

3. Субвертикальная трещиноватость характеризуется наличием обрамляющих ложных аномалий.

4. Субгоризонтальная трещиноватость на геоэлектрическом разрезе имеет увеличенную область распространения и зависит от соотношений шаг электрода/мощность трещины, УЭС трещины/фоновые УЭС.

5. Наклонная трещиноватость в диапазоне $30^\circ - 70^\circ$ создаёт характерные аномалии, позволяющие её идентифицировать.

Наиболее информативной областью для определения трещиноватости является интервал «контрастности», в верхней трети геоэлектрического разреза. Наиболее эффективными для изучения трещиноватости являются ассиметричные электродные установки.

Практическая апробация электротомографии в 2D и 3D виде на действующих карьерах по добыче облицовочного камня в Республике Карелия, при последующем сопоставлении с результатами горной отработки, продемонстрировала её эффективность в определении нарушенных зон горного массива, подтвердив полученные результаты. На ряде новых объектов применение электротомографии позволило структурировать площадь месторождения, оценить мощность скальной вскрыши, определить место заложения карьера, спланировать процесс его отработки.

По результатам рассмотрения материалов (С.А. Кириллов, И.О. Баяк, В.П. Кальварская, М.Б. Штокаленко)

НМС отмечает:

- Проведённые ИГ Кар НЦ РАН исследования расширяют область применения электротомографии.

- Обоснование параметров идентификации и оценки трещиноватости горного массива в поле на основе применения метода УЭС, позволили применить данную методику в качестве средства изучения трещиноватости, естественной отдельности массивов горных пород и, как следствие, на ее основе решать задачи инженерно-геологических изысканий, а также задачи поисков и разведки месторождений стройматериалов (например, облицовочного камня и др.) с повышением эффективности проводимых работ.

НМС рекомендовано:

1. Считать целесообразным опытное использование электротомографии для выявления и локализации зон трещиноватости горного массива.

2. Продолжить детальные исследования в направлении комплексирования электротомографии с другими малоуглубинными методами геофизики для решения задач инженерной геологии.

1.11. Доклад С.А. Рябовой (Институт динамики геосфер РАН) посвящен исследованию связи вариаций геомагнитного поля с геодинамическими процессами, проходящими в земной коре, на примере центральной части Восточно-Европейской платформы (приложение 12).

Земля с ее внешними геосферами представляет собой единую физическую систему, которая находится в динамическом равновесии. При этом разные геофизические поля постоянно взаимодействуют друг с другом. Взаимодействие и преобразование геофизических полей на приповерхностных участках земной коры представляют особый интерес при установлении природы и механизмов межгеосферных взаимодействий и при определении влияния геофизических полей на среду обитания.

Интенсивность преобразования энергии между геофизическими полями разной природы определяется свойствами среды. Это важно при решении многих практических задач, например таких, как картирование зон с аномальными свойствами (залежи полезных ископаемых, разломы, карстовые пустоты и т. д.).

В докладе проанализированы данные синхронных наблюдений за сейсмическими и магнитными полями на территории Геофизической обсерватории «Михнево», расположенной в центральной части Восточно-Европейской платформы. Район работ характеризуется наличием глубинной тектонической структуры, представленной Нелидово-Рязанской шовной зоной.

Измерения магнитных вариаций выполнялись с помощью феррозондового магнитометра LEMI-018, электронный блок которого осуществляет преобразование данных, получаемых с феррозондового датчика, их обработку и накопление. Регистрация сейсмических колебаний проводилась сейсмоприемниками CM-KB и STRECK EISEN STS-2, сбор и накопление данных реализовывалось с использованием программируемого регистратора QVANTERRA-380.

По результатам наблюдений рассмотрено влияние импульсных геомагнитных возмущений на поле фоновых сейсмических колебаний в земной коре. Установлена количественная зависимость, между амплитудой внезапного геомагнитного импульса и максимальной амплитудой вариации среднеквадратичной скорости колебаний в сейсмическом фоне.

Наличие неоднородностей отчетливо проявляется в амплитуде магнитной индукции.

С целью поиска возможных механизмов преобразования энергии между геомагнитным полем и полем микросейсмических колебаний в работе проверена гипотеза и сделан вывод, что магнитострикция не обеспечивает наблюдаемые в эксперименте амплитуды микросейсмических вариаций.

В результате сравнения сезонных вариаций гидрогеологического режима и годовой цикличности геомагнитных вариаций отмечена значимая корреляция между сезонными вариациями одного из основных параметров магнитного поля – магнитного типпера, и изменением уровня подземных вод в безнапорном горизонте.

На основе обсуждения материалов доклада (А.В. Поляков, М.Б. Штокаленко, В.П. Кальварская)

НМС рекомендовано:

Результаты, представленные в докладе ИДГ РАН, принять к сведению и учитывать

- при проведении исследований, связанных с изучением механизма преобразования геофизических полей, а также определением эволюции Земли в целом;
- при решении ряда практических задач, таких как картирование зон с аномальными свойствами, ранжирование участков разломных зон и земной коры по степени геодинамической активности.

2. Сообщения

2.1. Доклад Н.А. Караева Н.А. ознакомил членов НМС с многоплановыми исследованиями ФГУНПП «Геологоразведка» в области моделирования волновых полей в условиях сложнопостроенных упругих сред (приложение 13).

Насыщение производственных сейсморазведочных работ стандартизированными технологическими комплексами без достаточного обоснования их применения к нетрадиционным сейсмическим объектам часто приводит к многозначной геологической интерпретации сейсмических данных и к ложным представлениям о геологическом строении изучаемых сред, как в региональной, так и в поисковой сейсмике. В последние десятилетия наблюдается существенный подъем научных исследований в направлении обоснования построения эффективных сейсмических моделей сложнонеоднородных средах и в изучении распространения волнового поля в этих моделях.

1. В 2006 году по заданию МПР РФ ФГУНПП «Геологоразведка» успешно были завершены научно-исследовательские работы по базовому проекту **ГН-15**, одним из разделов которого явился **«Кадастр типовых сейсмических моделей и волновых полей сложнопостроенных гетерогенных систем в сопоставлении с реальными сейсмическими данными»**. Ученым Советом (У.С.) ФГУНПП «Геологоразведка» при рассмотрении результатов работ была отмечена высокая значимость исследований в решении проблемы геологической

интерпретации сейсмических данных, в частности при изучении строения земной коры на геотраверсах. С учетом отзывов ведущих специалистов РАН решением У.С. ФГУНПП «Геологоразведка» «Кадастр...» был рекомендован к публикации.

В настоящее время в инициативном порядке (на факультативной основе) авторами завершена работа по существенным дополнениям и доработкам «Кадастра...», фактически преобразованного в «Атлас сейсмических моделей земной коры в изображениях поля рассеянных волн». Свод данных многолетних исследований в этой работе представляет исключительный интерес, как для дальнейшего развития физико-геологических основ сейсмологии сложных сред, так и при геологическом истолковании результатов сейсмических построений, в первую очередь, при расшифровке сейсмических образов в изображениях геологических структур земной коры. Примеры разработок такого рода в мировой практике не известны.

2. В целях повышения достоверности поисков и диагностики коллекторов углеводородов, в ФГУНПП «Геологоразведка» развиваются методы объемного ультразвукового физического моделирования. На этой основе:

а) Созданы принципиально новые объемные фрагментарные физические модели, защищенные тремя патентами, которые отличаются возможностью имитации порово-трещинных моделей при широкой вариации параметров трещинных систем, наиболее адекватных геологическим объектам – коллекторам углеводородов.

б) Ключевой конструктивной особенностью физических моделей являются составные твердотельные модели с включением фрагментарных моделей, что открывает перед моделированием большие перспективы с возможностью тестирования и оптимизации современных 2D- и 3D- сейсмических технологий при поисках и диагностике параметров порово-трещинных коллекторов.

в) Исследованы волновые признаки трещинных и порово-трещинных систем; при тестировании сейсмических технологий на физических моделях установлена высокая информативность поперечных волн для решения задач обнаружения и диагностики объектов, имитирующих слабоконтрастные коллектора.

Результаты методов физического моделирования имеют также большое научно-методологическое значение при апробации и усовершенствовании методов математического моделирования, широко развиваемых в настоящее время. О чем свидетельствует особый интерес к этим исследованиям, проявленный со стороны Центральной геофизической экспедиции (ОАО «ЦГЭ»), которая в настоящее время методами численного моделирования проводит исследования волновых откликов обменных рассеянных волн от систем субвертикальных макротрещин. Получены первые, весьма обнадеживающие результаты по сопоставлению данных математического и физического моделирования.

Комплексное использование обоих направлений может служить базовой основой в развитии методов многоволновой сейсмологии в модификации обменных отраженных волн для сопровождения ГРП, как на этапе проектирования, так и при проведении поисковых сейсморазведочных работ, что позволит повысить достоверность геологического истолкования сейсморазведочных данных и, как следствие, по данным сейсморазведки снизить степень риска при проектировании положения разведочных скважин, в том числе в процессе разработки месторождений нефти и газа.

По результатам обсуждения материалов доклада (И.О. Баяк, С.А. Кириллов, В.П. Кальварская, В.С. Цирель)

НМС рекомендует:

1. Для сохранения имеющегося приоритета в области применения и развития региональных сейсморазведочных работ в сложнопостроенных средах «Атлас сейсмических моделей земной коры в изображениях поля рассеянных волн», автор Караев Н.А. с уточнением рекомендаций по научно-методическому сопровождению глубинных сейсмических наблю-

дений, как основу интерпретации данных сейсмоисследований на опорных профилях, целесообразно подготовить к изданию для последующей публикации.

2. ФГУНПП «Геологоразведка» в творческом содружестве с ОАО «ЦГЭ» продолжить начатые исследования по комплексированию методов физического и численного моделирования в решении важнейшей проблемы по оценке и разработке технологии многоволновой сейсморазведки применительно к локализации сложнопостроенных коллекторов углеводородов с включением тематики в план НИИОКР Федерального агентства по недропользованию на 2016 г.

Принято единогласно.

Секретарь Совета

Т.А. Кудрявцева

**СПИСОК
ПРИСУТСТВУЮЩИХ НА СЕССИИ НМС ГГТ МПР РОССИИ**

21–22 октября 2014 г.

г. Санкт–Петербург

Члены Совета

Кальварская В.П. главный научный сотрудник ФГУНПП «Геологоразведка», д.г.-м.н. (председатель)
 Авдевич М.М., к.г.-м.н.
 Алексеев С.Г. заведующий лабораторией ФГУНПП «Геологоразведка», к.г.-м.н.
 Алексеева А.К. заведующая отделом ФГУП «ИМГРЭ», к.г.-м.н.
 Верба М.Л. главный научный сотрудник ОАО «Севморгео», д.г.-м.н.
 Виноградова И.В. заведующая лабораторией ФГУНПП «Геологоразведка», к.г.-м.н.
 Воронович В.Н. заместитель начальника Севзапнедра
 Ворошилов Н.А. ведущий научный сотрудник ФГУНПП «Геологоразведка», к.г.-м.н.
 Высокоостровская Е.Б. ведущий научный сотрудник ФГУНПП «Геологоразведка», к.г.-м.н.
 Еганьянц Р.Т. заведующий лабораторией ФГУНПП «Геологоразведка», к.г.-м.н.
 Зубов Е.И. ведущий научный сотрудник ЗАО НПП «ВИРГ-Рудгеофизика», к.г.-м.н.
 Иванов А.И. главный инженер ЗАО КЦ «Росгеофизика»
 Иванов Г.И. помощник генерального директора по науке ОАО «МАГЭ», д.г.-м.н.
 Калинин Д.Ф. главный научный сотрудник ФГУНПП «Геологоразведка», д.т.н.
 Караев Н.А. главный научный сотрудник ФГУНПП «Геологоразведка», д.ф.-м.н.
 Кириллов С.А. заместитель генерального директора ОАО «ЦГЭ», д.т.н.
 Краснов А.И. ведущий научный сотрудник ФГУНПП «Геологоразведка», к.г.-м.н.
 Крылов С.С. доцент СПбГУ, к.ф.-м.н.
 Марченко А.Г. заместитель генерального директора ООО «Теллур Северо-Восток», д.г.-м.н.
 Овсов М.К. заведующий лабораторией ФГУНПП «Геологоразведка», к.т.н.
 Поликарпов К.В., к.г.-м.н.
 Половков В.В. начальник отдела ООО «Сейсмо-Шельф», к.г.-м.н.
 Поляков А.В. ученый секретарь ФГУНПП «Геологоразведка», к.г.-м.н.
 Попов Д.А. ведущий геофизик ООО «Сейсмо-Шельф»
 Ржевский Н.Н. генеральный директор ООО «ЭЛКИН», к.г.-м.н.
 Рослов Ю.В. заместитель директора ООО «Сейсмо-Шельф», к.ф.-м.н.
 Савицкий А.П. заместитель директора ФГУНПП «Геологоразведка», к.г.-м.н.
 Танинская Н.В. заведующая отделом ФГУНПП «Геологоразведка», д.г.-м.н.
 Телегин А.Н. профессор НМСУ «Горный», д.г.-м.н.
 Хайкович И.М. главный научный сотрудник ФГУНПП «Геологоразведка», д.ф.-м.н.
 Цирель В.С. начальник отдела ФГУНПП «Геологоразведка», к.т.н.
 Штокаленко М.Б. ведущий научный сотрудник ФГУНПП «Геологоразведка», к.г.-м.н.

Приглашенные

Баяк И.О. ведущий научный сотрудник ИФЗ РАН, д.ф.-м.н.
 Бирин М.В. научный сотрудник ФГУНПП «Геологоразведка»
 Блинов К.В. генеральный директор ООО «Теллур Северо-Запад»
 Буторин А.В. ведущий специалист ООО «Газпромнефть НТЦ»
 Бычков С.Г. заведующий лабораторией Ги УрО РАН, д.г.-м.н.
 Васильев В.В. издательство АВ «VLANI»
 Жарков А.М. заведующий отделом ФГУП «ВНИГРИ», д.г.-м.н.
 Коваленко К.В. доцент РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, к.т.н.
 Кудрявцева Т.А. инженер 1 кат. ФГУНПП «Геологоразведка»
 Леонов О.В. ведущий геофизик ФГУНПП «ПМГРЭ»
 Мазкова М.А. научный сотрудник ФГУНПП «Геологоразведка»

Морозов М.В. ведущий геохимик ООО «Теллур Северо-Восток»
Нугуманова А.А. инженер ФГУНПП «Геологоразведка»
Петров Т.Г. профессор СПбГУ, д.г.-м.н.
Радионова К.Ю. инженер ФГУНПП «Геологоразведка»
Рябова С.А. инженер ИДГ РАН
Рязанцев П.А. младший научный сотрудник ИГ КарНЦ РАН
Рокитянский А.И. исполнительный директор ЗАО «Теллур СПб»
Хмарин Э.К. инженер геофизик ФГУП «ВНИГРИ»
Черников К.С. заведующий лабораторией ОАО «Севморгео, к.г.-м.н.
Шиманский С.В. доцент СПбГУ, к.г.-м.н.
Яновская Ю. А. ведущий геофизик ФГУНПП «Геологоразведка»
Яшина В.Н. научный сотрудник ФГУНПП «Геологоразведка»

**СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ СОСТАВОВ,
А ТАКЖЕ ОТОБРАЖЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ RНАТ – КОДИРОВАНИЯ
(от выявления ошибок до выявления систем рудопроявлений)**

Т.Г.Петров (СПбГУ, Санкт-Петербург)

Тезисы доклада

1. Существует способ кодирования дискретных распределений RНАТ, где R – ранговая формула – невозрастающая по содержаниям последовательность символов компонентов распределения [Петров, 1971], H – информационная энтропия, она же термодинамическая (до константы) энтропия смешения как мера сложности распределения, A – анэнтропия Петрова (1971), она же энтропия разделения [Петров, 2012] как мера малости малых компонентов или чистоты распределения, T – толерантность [Петров, 2007] как мера особой чистоты.

С использованием ранговых формул составлен и издан «R-словарь-каталог химических составов минералов» [Петров, Краснова, 2010], позволяющий по химическому анализу, или по теоретической формуле минерала в 92% случаев определить его название (остальные 8% относятся к полиморфам).

С использованием RНА-кодов *химических* составов проведена систематизация слюд, турмалинов, амфиболов, пироксенов, гранатов, горных пород разного генезиса.

С использованием RНА-кодов *минерального* состава проведена систематизация горных пород как обычных, так и карбонатитов, фоскоритов и других ультраосновных щелочных пород [Краснова и др., 2002]

Энтропийные характеристики – без ограничений на конкретные совокупности элементов или молекул-минералов, будь то рудные, нерудные, воды, газы, нефти – используются для отображения [Петров, 2012; Petrov, 2012]

а) случайных (неупорядоченных в пространстве и времени) собраний анализов для выявления формы полей составов – их однородности, распределения плотностей, выявления аномальных, ошибочных анализов [Петров, Фарафонова, 2005];

б) упорядоченных природой собраний анализов при изучении структуры, выявления центра рудных полей, разрезов, а также процессов эволюции составов, теоретической базой которых является модель разделения-смешения [Петров, 1995; Petrov, 2013].

Работа по методу и по ряду стандартных петрохимических методов обеспечивается программным комплексом PETROS-3, созданным С.В. Мошкиным по инициативе Т.Г. Петрова. [Петров, Мошкин, 2011]. Программа продолжает развиваться. ПК обеспечивает обработку аналитических материалов с использованием 100 алфавитов (разновидностей компонентов) и перевод их в систему RНАТ с последующей выдачей результатов, в виде упорядоченной по автору, или алфавиту последовательности.

Статус метода. Публикаций – свыше 100, среди них учебное пособие [Петров, Фарафонова, 2005] и монография [Петров, Краснова, 2010]. Грант РФФИ.

Литература

1. Краснова Н.И., Петров Т.Г., Балаганская Е.Г., Мутт Ж., Гарсия Д., Ермье Б. Систематизация состава горных пород с помощью языка RНА (на примере глубинных щелочно-ультраосновных и фоскорит-карбонатитовых комплексов)// В кн.: Глубинный магматизм, магматические источники и проблема плюмов. Иркутск. 2002. С. 278–295.

2. Петров Т.Г. Обоснование варианта общей классификации геохимических систем. // Вестник ЛГУ. 1971. № 8. С. 30–38.

3. Петров Т.Г. Проблема разделения и смешения в неорганических системах.// В кн.: Геология. Ред. В.Т.Трофимов, Т.2. МГУ. 1995. С. 18–186.

4. Петров Т.Г., Фарафонова О.И. Информационно-компонентный анализ. Метод RНА. (Учебное пособие). СПб. 2005. 168 с.

5. *Петров Т.Г.* Графическое отображение процессов эволюции составов поликомпонентных объектов любой природы//НТИ. 2012. сер 2 №3 С. 21–31. Англ изд Т. G. Petrov Graphic Representation of the Evolutionary Processes of the Compositions of Multicomponent Objects of Any Nature Automatic Documentation and Mathematical Linguistics, 2012, Vol. 46, No. 2, P. 79–93. © Allerton Press, Inc., DOI: 10.3103/S0005105512020045

6. *Петров Т.Г., Мошкин С.В.* Метод РНА и его реализация в программном комплексе Petros-3. Вычисления в геологии. 2011, №1, С. 50–53.

7. *Krasnova, N., Petrov, T., Korolev N.* The RHA coding of mineral compositions of alkaline rocks exemplified by nepheline syenite family. / In: Deep seated magmatism, its sources and plumes. Proc. of XI Int. Workshop. Irkutsk 2011. P. 234–244.

8. *Petrov Tomas G., Moshkin Sergey V.* RHA(T)-System for Coding of Discrete Distributions and Their Alteration Processes. Proc. The 3rd International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics IMCIC 2012. P. 12–16.

Приложение 3

СПОСОБ КОМБИНИРОВАННОГО УЧЕТА ВАРИАЦИЙ МПЗ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ГИДРОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А.И. Атаков, К.С. Черников (ОАО «Севморгео», Санкт-Петербург)

Тезисы доклада

Чувствительность современной морской магнитометрической аппаратуры составляет сотые доли нТл. Однако погрешность современных гидромагнитных исследований на несколько порядков превышает метрологические характеристики аппаратуры. Более полное использование возможностей аппаратуры связано с проблемами учета широкого круга специфических помех (временные вариации магнитного поля Земли (МПЗ), девиационные погрешности судна, магнитогидродинамические шумы моря и др.), которые значительно ухудшают результаты гидромагнитных исследований. Частотный спектр этих помех часто перекрывает спектр полезного сигнала и фильтрация измеренного поля оказывается неэффективной, т.к. искажает «полезные» аномалии. По амплитудно-частотным характеристикам вариации МПЗ являются самыми разнообразными, и их некорректный учет оказывает наибольшее влияние на точность гидромагнитных съемок.

Наиболее характерные временные вариации, различающиеся по амплитудно-частотным характеристикам, которые необходимо учитывать при выполнении гидромагнитных исследований: суточные, короткопериодные колебания, магнитные бури и «бухты» приведены в таблице.

Таблица

Тип вариаций	Период	Максимальная амплитуда, нТл	Зона возникновения
S_q	24 ч	200	4
S_l	12 ч	10-15	4
D_{pl}	2–4 ч	200-500	1–3
D_{st}	1–3 сут	30-3000	1–4
P_{c1}	0,2–5 с	0,01-0,1	1–4
P_{c2}, P_{c3}	5–45 с	10-20 (1-5)	2 (1-4)
P_{c4}	45–150 с	60	2
P_{c5}	150-600 с	60-600	2
P_{c6}	>600 с	20-30	1
P_{i2}	40-150 с	n*10	2
P_{i3}	150 с	10-100	1

По особенностям прохождения вариаций от внешних источников поверхность Земли в каждом из полушарий может быть разбита на четыре зоны [6]:

- 1) полярная шапка (широта $\varphi = 75^0$);
- 2) авроральный электроджет ($75^0 > \varphi > 60^0$);
- 3) средние широты ($60^0 > \varphi > 3^0$);
- 4) экваториальный электроджет ($3^0 > \varphi = 0^0$).

В настоящее время применяется несколько способов измерения вариаций МПЗ:

- стационарными или временными наземными (береговыми) магнитовариационными станциями (БМВС);
- морскими магнитовариационными станциями (ММВС);
- дифференциальными измерениями магнитного поля.

Поскольку каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, то для наиболее полного учета вариаций желательное использование всех вышеперечисленных способов, однако это не всегда возможно. Вблизи участка работ, как правило, отсутствуют БМВС, создание временной БМВС или установка ММВС связана с многочисленными проблемами, при дифференциальных измерениях есть риски, связанные с потерей данных из-за неисправностей одного из магнитометров.

За последнее десятилетие ОАО «Севморгео» приобрело значительный опыт в проведении и обработке дифференциальных гидромагнитных измерений. С целью повышения качества съемок учет вариаций МПЗ проводился комбинированным способом:

- косвенным учетом вариаций, полученных из дифференциальных наблюдений;
- прямым учетом вариаций по данным наземных магнитовариационных станций (стационарных или временных, создаваемых на время проведения полевых работ).

При обработке данных использовалось как лицензионное программное обеспечение Geosoft, Inc., CGG-LCT, так и собственные разработки, интегрированные в обрабатывающую систему.

В результате проведения этих работ отмечено:

– методика дифференциальных гидромагнитных исследований позволяет наиболее корректно учитывать относительно коротковолновую составляющую вариаций МПЗ (короткопериодные колебания, магнитные бури);

– привлечение данных БМВС, расположенных на значительном удалении (до 1000 км и более) от участка работ, существенно уменьшает погрешность съемки за счет более корректного учета длинноволновой составляющей вариаций МПЗ (суточные и другие периодические вариации).

Интеграция различных методов позволила разработать оригинальную технологию комбинированного учета вариаций с использованием метода нестационарной декорреляции. Преимущества разработанной технологии заключаются в возможности максимально корректного использования всех доступных способов учета вариаций.

Литература

1. Васюточкин Г.С. Циклические геомагнитные вариации и их учет в магниторазведке. Обзор. Рег., разв. и промысл. геофизика. М., ВИЭМС, 1978, 51 с.
2. Глебовский Ю.С., Мишин Л.Н. Магнитные вариации и их учет в современной аэромагниторазведке. //Обзор. Рег., разв. и промысл. геофизика. М., ВИЭМС, 1981, 55 с.
3. Городницкий А.М., Филин А.М., Малютин Ю.Д. Морская магнитная градиентная съемка. – М.: Наука, 2004, 140 с.
4. Логачев А.А. Магниторазведка. Издание 3-е, исправленное и дополненное. – Л.: Недра, 1968. – 295 с.
5. Ривин Ю.Р., Ставров К.Г. Временные вариации геомагнитного поля. //Учет временных вариаций при проведении морской съемки. – М.: ИЗМИРАН. 1984. С. 8 – 29.
6. Семевский Р.Б., Аверкиев В.В., Яроцкий В.А. Специальная магнитометрия. – СПб.: Наука, 2002. – 228 с., 78 ил.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ВОЛНОВОГО ПОЛЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА

А.В. Буторин (ООО «Газпромнефть-НТЦ», Санкт-Петербург)
Тезисы доклада

На сегодняшний день существует достаточно большое количество алгоритмов анализа сейсмической информации призванной в конечном итоге помочь геологам понять внутреннее строение продуктивных пластов. Эти алгоритмы можно разделить на несколько глобальных классов: амплитудные атрибуты, сейсмофации, атрибуты когерентности, результаты инверсии и спектральные характеристики. Множество способов анализа определяет многогранность тех данных, которые получаются на выходе интерпретации волнового поля и отражают большую степень неопределенности при решении прогнозных задач.

В данном исследовании произведено сравнение применения сейсмофациального и спектрального алгоритмов анализа волнового поля на примере одного из нефтяных месторождений Западной Сибири, находящегося на начальной стадии разработки. В качестве примера в работе рассмотрен пласт БП₆²⁺³, который слагает характерную для Западной Сибири клиноформную структуру. Условия седиментации пласта в данном случае определяют возможный спектр перспективных геологических тел: для фондаформенной части более характерны площадные тела, связанные с накоплением шельфовых баров и валов; для более глубоководной части (т. н. ачимовской части циклита) характерны области развития подводных каналов и конусов выноса. Входными данными для изучения строения продуктивного интервала выступали: сейсмические данные МОГТ 3D после суммирования и скважинные данные, представленные графиками АК и стратиграфическими разбивками. Наличие скважинной информации позволяет стратифицировать волновое поле, то есть определить границы целевого интервала и проследить основные рефлекторы.

Сейсмофациальный анализ основан на классификации волнового поля по форме волнового пакета. При этом наблюдаемые изменения волновой картины связываются с различиями в геологическом строении пласта. В основе сейсмофациального анализа лежит применение самоорганизующейся нейронной сети для распознавания и оценки изменения формы сейсмического импульса в изучаемом интервале. Выходными данными выступают карты и кубы сейсмодатумов, рассчитанные по различным входным данным (волновое поле и атрибуты, рассчитанные по нему).

Недостатком метода сейсмофаций является допущение о прямом влиянии целевого объекта на форму отражения. Данное требование не соблюдается для относительно тонких каналов и конусов выноса, чья мощность ниже четверти доминантной длины волны. При мощности объекта ниже вертикальной разрешающей способности отражение носит интерференционный характер, и описывается как первая производная исходного сигнала. При этом изменение мощности такого объекта выражается лишь в амплитуде отражения, но не в его форме. Амплитудные изменения не сказываются на значении ФВК, лежащей в основе классификации, поэтому такие объекты остаются «невидимыми» для сейсмофациального алгоритма анализа.

Другой метод анализа волнового поля основан на изучении спектральных характеристик сейсмических трасс. В основе данной технологии лежит алгоритм непрерывного вейвлет-преобразования (НВП), который позволяет разложить волновое поле на серию кубов амплитуд, описывающих поведение отдельных гармоник. Технология НВП является относительно новой технологией, которая получила широкое распространение в математике и физике. В отечественную геофизику эта технология пришла с большим опозданием, поэтому на данный момент информации о применении НВП достаточно мало.

Особенностью применения НВП является также и способ визуализации полученных данных, который носит название «цветовое комбинирования». В основе цветового комбинирования лежит процесс смешивания трех амплитудных карт по разным гармоникам, каждой

из которых присваивается свой цвет красного, зеленого или синего спектра. Выходная карта в каждой своей точке характеризуется тремя значениями амплитуд, а цвет пикселя определяется в рамках трехмерной цветовой палетки.

Для понимания процессов, обуславливающих появление спектральных аномалий на картах цветового комбинирования, была построена синтетическая трехмерная модель волнового поля в присутствии клина. При этом было отмечено, что в направлении оси абсцисс происходит уменьшение мощности клина, а в направлении оси ординат – изменение акустической жесткости клина. В результате применения НВП и последующего цветового комбинирования было показано, что необходимым условием возникновения аномалий является наличие эффектов интерференции. Таким образом, НВП переводит интерференцию из класса помех (в рамках стандартного анализа) в позитивное явление. При этом дополнительным выводом является отсутствие влияния относительного изменения акустических импедансов клина и вмещающих пород. Появление коллектора или не коллектора в разрезе будет обуславливать одинаковые спектральные аномалии, из чего следует необходимость комплексирования результатов НВП с другими методами анализа или данными ГИС.

Применение технологии НВП в сочетании со специализированными алгоритмами визуализации позволяет многократно повысить информативность волнового поля по сравнению со стандартными методами анализа. Интерпретация внутреннего строения целевого пласта выполняется по набору стратиграфических карт цветового комбинирования. Данный набор позволяет детально восстановить положения целевых объектов внутри пласта.

Единственным недостатком карт цветового комбинирования является необходимость наличия специализированного программного обеспечения, способного осуществлять алгоритм цветового смешивания. Для разрешения данной проблемы автором была разработана методика линеаризации результатов цветового комбинирования, которая заключается в приведении к линейному виду объемной палетки и многомерного спектрального атрибута. Данные задачи были решены автором, что позволило визуализировать карты спектрального смешивания в геологическом ПО, без поддержки технологии цветового смешивания.

Детальный совместный анализ всей полученной информации в комплексе со скважинными данными о фильтрационно-емкостных свойствах (ФЕС), вскрытых отложений, позволил установить наличие и закартировать на площади несколько типов геологических тел: серию баровых тел, приуроченных к шельфовой части; развитую сеть подводных каналов; систему конусов выноса, приуроченных к границе шельфа; крупные конусы выноса, связанные с областями разгрузки устойчивых каналов.

Результатом проведенных исследований является детальная модель строения продуктивного пласта БП₆²⁺³, показывающая достаточно сложную схему его формирования в области активно развивающегося шельфа, что выражается в наличии большого количества обстановок седиментации (баровые тела, каналы, конусы выноса). Все выделенные тела, вскрытые скважинами, характеризуются улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами и нефтяным притоком из интервала пласта БП₆²⁺³. Отсутствие воды при испытании скважин дает основание считать, что изучаемый пласт является полностью нефтенасыщенным.

Таким образом, применение детального анализа волнового поля продуктивного интервала, с применением новейших технологий НВП, позволило построить подробную модель его строения, выделить основные геологические тела и определить вероятные обстановки их седиментации. Проведенный анализ сейсмических данных является одним из первых шагов на пути освоения месторождения, однако от уровня и качества его выполнения зачастую зависит дальнейшая перспективность всего проекта.

ОПЫТ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.Г. Марченко, К.В. Блинов, А.И. Рокитянский, К.М. Ермохин (Группа компаний «Теллур», Санкт-Петербург)

Тезисы доклада

Комплексирование наземных геофизических и геохимических методов при поисках золоторудных месторождений обычно применяется при крупномасштабных и детальных поисковых работах масштабов 1:25 000 – 1:10 000 – 1:5 000.

В течение последнего десятилетия поисковые работы, проводимые группой компаний «Теллур» по договорам с различными компаниями (ЗАО «Северстальресурс», ОАО «Полиметалл», ООО «Артель старателей Западная», ЗАО «Аврора-Менеджмент», ООО «Мангазея Майнинг» и др.) и их дочерними предприятиями, были преимущественно нацелены на обнаружение золоторудных месторождений золото-кварцевой и золото-кварц-сульфидной формаций, в которых золоторудные тела представлены как кварцевыми и карбонат-кварцевыми жилами, так и минерализованными зонами. Основные районы работ – это Восточная Сибирь и Карело-Кольский регион.

Опыт работ группы компаний «Теллур» показывает, что в таких случаях, как правило, эффективен следующий комплекс методов:

- Площадная магнитная съемка.
- Площадные электроразведочные поисковые работы методом вызванной поляризации (ВП) в варианте СГ-ВП, в некоторых случаях – СЭП-ВП.
- Электрические зондирования ВП, обычно с трехэлектродной установкой АМNB_∞ (ТЗ-ВП) на участках выявленных аномалий поляризуемости и удельного сопротивления.
- Геохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния.
- Геологическое сопровождение геофизических и геохимических поисковых работ с проведением геолого-поисковых маршрутов, отбором и анализом образцов каменного материала из естественных и искусственных обнажений.

В итоге проводится комплексная интерпретация всех геофизических, геохимических и геологических материалов.

Геологическая эффективность этого поискового комплекса в ряде случаев подтверждена результатами последующих оценочных и разведочных работ с применением бурения.

При этом каждый из методов решает свои задачи, а результаты их комплексного применения, дополняя друг друга, ведут к достижению поисковой цели.

Магнитная съемка нацелена в основном на решение структурно-картировочных задач, но в некоторых случаях позволяет выделять зоны пирротиновой и магнетитовой минерализации, которые могут вмещать золоторудные тела или быть сопряжены с ними.

Электроразведка методом ВП с применением аппаратуры и программного обеспечения, разработанных в «Теллуре», позволяет выделять геологические тела и зоны, различающиеся по содержанию электропроводящих включений (сульфидов и других минералов, обладающих электронной проводимостью). Метод ВП является наиболее эффективным при поисках вкрапленного и прожилково-вкрапленного оруденения, которое может не отличаться от вмещающих пород по электрической проводимости и не фиксироваться другими электроразведочными методами. Аппаратура ВП, разрабатываемая, производимая и применяемая в группе компаний «Теллур», обеспечивает не только уверенную регистрацию аномальных эффектов от слабоконтрастных рудных объектов, но и возможность их дифференциации по степени минерализации. Комплексирование магниторазведки и электроразведки ВП позволяет, в ряде случаев, различать зоны разного минерального состава (например, отличать зоны пиритизации от зон с магнетитом или магнитным пирротинном).

В целом же следует отметить, что геофизические методы, прежде всего электроразведка методом ВП, в большинстве случаев позволяют успешно выделять не столько сами золоторудные тела, сколько вмещающие их минерализованные зоны, которые чаще всего характеризуются повышенной поляризуемостью и пониженным электрическим сопротивлением, а также нередко сопряжены с близрасположенными магнитными аномалиями и градиентными зонами магнитного поля. Хотя в ряде случаев при детальных работах успешно выделяются отдельные кварц-сульфидные жилы и кварцевые жилы с сульфидизированными зальбандами, геофизика в основном решает задачу выявления потенциально рудовмещающих зон. Для оценки вещественного состава и степени золотоносности этих зон и их локальных фрагментов необходимо применение геохимических методов.

Основной вариант наземных геохимических поисков – это литохимические поиски по вторичным ореолам, которые проводятся по всей площади (оптимальный вариант) либо только на участках выявленных геофизических аномалий и их флангах (более экономичный вариант, но чреватый пропуском рудных объектов, не проявленных в геофизических полях или проявленных неконтрастными аномалиями).

Выбор методики геохимических поисков золоторудных объектов зависит, прежде всего, от ландшафтных условий.

На низкогорных и среднегорных территориях Восточной Сибири, где в элювиально-делювиальных отложениях формируются остаточные ореолы рассеяния, целесообразно проведение литохимических поисков по вторичным ореолам с опробованием мелкозема (фракция <0.5-1.0 мм) из горизонтов В-С почвенного разреза и использованием современных прецизионных и чувствительных методов анализа (ААА, ICP-AES, ICP-MS) для определения содержаний золота и других элементов-индикаторов. При этом возможно смещение вторичных ореолов вниз по склонам на расстояния до десятков – первых сотен метров, что необходимо учитывать при определении положения коренного источника ореола рассеяния. В этом случае помогает совместная интерпретация геохимических и геофизических данных.

В Карело-Кольском регионе, где практически повсеместно распространены покровно-ледниковые отложения, к эффективным инструментам литохимических поисков по вторичным ореолам относится тиллевая съемка, которая нацелена на выявление несмещенных и малосмещенных вторичных ореолов в тонкой фракции (<0.06-0.1 мм) нижних горизонтов донной морены с применением прецизионных и чувствительных методов анализа (ААА, ICP-AES, ICP-MS). Однако опыт проведения работ в Южной Карелии показал, что при наличии большого количества валунов в покровно-ледниковых отложениях использование для опробования переносных мотобуров не всегда позволяет приблизиться к коренному плотнику. В результате этого выявляемые не в нижней, а средней части моренного покрова вторичные ореолы золота и его спутников (Ag, Te, Bi, W, Pb и др.), могут быть смещены от коренного источника на расстояния до сотен метров и более, отсутствуя непосредственно над золоторудной залежью. В таких случаях прогнозируемое положение коренного источника определяется по геофизической аномалии, которая сопряжена с аномалией геохимической или расположена неподалеку от нее по направлению, обратному направлению ледниковой транспортировки обломочного материала.

В результате комплексной интерпретации геофизических, геохимических и геологических материалов вырабатываются конкретные рекомендации по проведению заверочных горно-буровых работ.

Поисковые работы группы компаний «Теллур» на рудное золото были проведены в последние годы на нескольких участках в Забайкалье и Южной Карелии.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

С.Г. Бычков, А.А. Симанов, В.В. Хохлова (Горный институт УрО РАН, Пермь)
Тезисы доклада

В наземной гравirazведке основными исходными данными для получения информации о геологическом строении территорий являются аномалии силы тяжести в редукции Буге. Очевидно, что они должны быть свободны от всех помех негеологического характера. Принятые в настоящее время процедуры обработки полевых гравиметрических данных и вычисления аномалий силы тяжести в редукции Буге формализовались в 1920-1930х годах, когда происходило становление гравirazведки. Методы обработки опирались на известные в то время сведения о форме Земли, абсолютном значении силы тяжести и минимизировали вычислительные требования. Несмотря на допуски и упрощения, эти процедуры с минимальными изменениями продолжают использоваться и поныне для решения большого круга геолого-геофизических задач.

Вычисление аномалий силы тяжести в редукции Буге (Δg_B) согласно «Инструкции по гравirazведке» (1980) осуществляется в настоящее время по формуле $\Delta g_B = g_{\text{набл}} - \gamma_0 + \delta g_{\text{Фая}} - \delta g_{\text{пр.сл}} + \delta g_{\text{рф}}$, где $g_{\text{набл}}$ – наблюдаемое значение силы тяжести в гравиметрическом пункте на высоте H ; γ_0 – нормальное значение силы тяжести; $\delta g_{\text{Фая}} = 0.3086\text{Н}$ – поправка за высоту (свободный воздух или Фая); $\delta g_{\text{пр.сл}} = 0.0419\text{Н}$ – поправка за промежуточный слой с плотностью σ ; $\delta g_{\text{рф}}$ – поправка за влияние окружающего рельефа местности.

В настоящее время произошли принципиальные изменения в аппаратном оснащении гравиметрических исследований. Почти на порядок увеличилась точность определения наблюдаемых значений силы тяжести, существенным образом возросли наши знания о форме Земли, создана мировая опорная гравиметрическая сеть, в открытом доступе имеются детальные базы данных о фигуре геоида и рельефе Земли. Отсюда, с учетом современных вычислительных мощностей, нет никаких причин для применения упрощенных формул при вычислении поправок в гравиметрические наблюдения.

При вычислении аномалий силы тяжести практически нигде не говорится о том, что точки с измеренными и нормальными значениями силы тяжести относятся к разным поверхностям (первые к геоиду, вторые к эллипсоиду). Вычисленные аномалии называют смешанными, и необходим учет косвенного эффекта, т.е. поправки за отклонения геоида от эллипсоида. До появления и широкого использования систем спутникового позиционирования (GPS, ГЛОНАСС), высота относительно геоида была единственным измерением вертикальной координаты пункта, которое можно было установить достаточно точно (т.е., инструментально – нивелировкой). Поэтому практически во всех учебниках используется система высот относительно геоида, в то время как нормальное значение силы тяжести вычисляется на эллипсоиде.

Неучет сферичности Земли при вычислении поправок за промежуточный слой и влияние рельефа ранее объяснялся упрощением вычислительных процедур и незначительностью данной погрешности, несмотря на то, что еще в 1970-1980 гг. разными исследователями предложены формулы вычисления притяжения сферического слоя и показаны погрешности такого упрощения. В отечественной гравиметрической литературе совершенно не оговаривается необходимость учета влияния атмосферных масс, которые включены вместе с массой твердой Земли в нормальное значение силы тяжести и, следовательно, влияние атмосферы необходимо вычесть из нормального значения силы тяжести.

Вычисление аномалий силы тяжести авторами предлагается производить по новым формулам, которые используют установленную в России систему координат ПЗ-90.11 и современные данные о фигуре Земли. Предлагаемые изменения в процедурах редуцирования минимизируют погрешности, связанные с рельефом местности, кривизной Земли, верти-

кальным градиентом силы тяжести, эффектом атмосферных масс и разностями в датах нормальной силы тяжести и высоты пункта. Самое существенное изменение в предлагаемых процедурах редуцирования касается выбора эллипсоида в качестве датума для системы высот, что устраняет необходимость в исправлении косвенного эффекта, обусловленного различием систем высот. Кроме того, предлагается использовать сферический слой при вычислении поправок за промежуточный слой и рельеф, а также учитывать эллипсообразность Земли при вычислении поправки за высоту и др.

Создана компьютерная технология определения поправок за влияние рельефа местности при гравиметрических наблюдениях, отличительными особенностями которой являются максимально полное использование цифровых картографических данных о рельефе, построение аналитических аппроксимаций рельефа и стохастическое моделирование для оценки точности получаемых результатов. Программа решает следующие задачи:

- построение аналитической модели рельефа на основе исходной цифровой модели рельефа с использованием быстрого преобразования Фурье;
- решение прямой задачи (вычисление и суммирование поправок за влияние рельефа);
- оценка точности определения поправок.

Использование оптимального значения коэффициентов Фурье, участвующих в описании рельефа местности, позволяет существенно (приблизительно на порядок) уменьшить время вычисления поправок при сохранении требуемой точности результатов.

Сравнение аномалий силы тяжести, вычисленных по стандартным и предлагаемым процедурам редуцирования на многочисленных теоретических и практических примерах, однозначно свидетельствует о необходимости перехода на новые стандарты вычисления аномалий Буге, поскольку, во-первых, ошибки прежних формул многократно превышают погрешности съемки, и, во-вторых, фиктивные аномалии, создаваемые упрощенными процедурами редуцирования, по размерам и амплитуде соизмеримы с эффектами от искомым геологических объектов.

Необходимо отметить, что в настоящее время нет никаких причин применения упрощенных формул вычисления аномалий Буге. Повышение геологической эффективности гравиметрических исследований невозможно на основе прежних методик наблюдений и технологий обработки.

Приложение 7

РОЛЬ ТЕОРИИ ЭФФЕКТИВНЫХ СРЕД В СОВРЕМЕННОЙ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ

И.О. Баяк (ИФЗ РАН, Москва)

Тезисы доклада

В связи с истощением мировых запасов углеводородов в последнее время всё большую роль играет поиск новых решений и подходов, позволяющих повысить достоверность обнаружения залежей углеводородов и интенсифицировать их добычу. Индикаторами углеводородов, как правило, являются особенности физических свойств УВ-содержащих пород, которые выявляются в полевых экспериментах, проводимых в ходе разномасштабных исследований среды (ГИС, ВСП, сейсмические исследования). В свою очередь, физические свойства пород зависят от минерального состава, пористости, типа порозаполняющего флюида, параметров внутреннего строения породы: формы, ориентации, степени связности пор, трещин, наличия цемента и его типа и т.п.

Теория эффективных сред (ТЭС) дает возможность в аналитической форме связать физические свойства с характеристиками состава и строения пород, перечисленными выше. Установление таких связей подразумевает создание математической модели физических свойств породы, которая включает: 1) модельную среду – идеализированную среду, отражающую основные черты внутреннего строения породы; 2) параметры модели (характеристики формы включений, факторы связности и степени упорядоченности компонент и др.); 3) уравнения связи «физические свойства – параметры модели».

Поскольку различные **физические свойства (упругие и прочностные) определяются одним и тем же внутренним строением среды, то такой подход дает возможность создать единую модель для различных физических свойств среды, тем самым позволяя прогнозировать одни физические свойства через другие, используя одни и те же параметры модели.**

В докладе демонстрируется решение ряда актуальных задач разведочной геофизики, основанных на применении ТЭС к математическому моделированию физических свойств коллекторов. К ним относятся:

- определение параметров строения пустотного пространства коллектора по измеренным физическим свойствам;
- определение «неизмеряемых» физических свойств по измеренным;
- восстановление полного тензора упругости анизотропной породы (УВ-содержащего сланца) по ограниченному числу измерений физических свойств, недостаточному для применения традиционных методик;
- построение скоростной модели УВ-содержащих сланцев с учетом их анизотропии для мониторинга гидроразрыва;
- выделение зон трещиноватости в карбонатных коллекторах и их характеристика;
- прогноз физических свойств коллекторов в различных масштабах (апскейлинг физических свойств).

Приложение 8

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ПЕТРОФИЗИКА КАК ОСНОВА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПОИСКЕ, РАЗВЕДКЕ И ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

С.А. Тихоцкий, И.О. Баяк, И.А. Гарагаш, А.В. Дубовская (ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва), Г.А. Калмыков, Е.Н. Полудеткина, М.Ю. Токарев (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва), И.В. Кузнецов (НПО «Союзнефтегазсервис», Москва)

Тезисы доклада

Задачи поиска, разведки и разработки месторождений углеводородов требуют глубокого понимания физических свойств соответствующих пород-коллекторов и связанных с ними физических процессов, включая: распространение сейсмических волн различной частоты, поведение пород в процессе бурения, закачки и откачки флюида (в том числе – при гидроразрыве), фильтрацию пластового флюида и бурового раствора.

Всё это требует комплексных экспериментальных исследований ядерного материала и создания соответствующей физико-математической теории. Определяемые в результате физико-механические (упругие) свойства пород позволяют разрабатывать новые методы поиска соответствующих коллекторов и являются основой для геомеханического и флюидогидродинамического моделирования процессов разработки. Физико-математическая теория, использующая дополнительно информацию о микроструктуре, получаемую в результате микроскопии, микрозондового анализа и методами рентгеновской томографии, позволяет прогнозировать по результатам полевых и скважинных наблюдений фильтрационно-емкостные и упругие свойства в различных масштабах, т.е. решать проблему «апскейлинга» и «даунскейлинга».

В Институте физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН в сотрудничестве со специалистами Геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова и НПО «Союзнефтегазсервис» разработан комплекс экспериментальных и теоретических методов для решения поставленной задачи.

Важнейшим элементом комплекса являются экспериментальные исследования упругих и прочностных свойств с использованием установок высокого давления при различных режимах нагружения. В ходе эксперимента проводятся измерения осевой и радиальной деформации образца, набора скоростей сейсмических волн в ультразвуковом диапазоне частот,

акустической эмиссии с сопутствующей локализацией возникающих микроразрывов. В результате обработки результатов измерений строятся кривые напряжение-деформация с детальностью 0,1 мкм по деформации или 2,5 кГ по нагрузке. Это позволяет идентифицировать области упругого и неупругого поведения исследуемого керна и вычислять соответствующие упругие модули в зависимости от приложенной нагрузки. Определение набора скоростей упругих волн позволяет анализировать эволюцию анизотропных свойств пород в процессе нагружения и определять динамические упругие модули. Таким образом, появляется возможность прямого сопоставления статических и динамических упругих модулей, измеряемых одновременно, что необходимо для решения проблемы «апскейлинга» и калибровки соответствующей теории. Наличие обновляющейся анизотропной скоростной модели керна позволяет лоцировать положение возникающих микроразрывов и проследивать их эволюцию при образовании магистральной трещины разрыва, что является основой для понимания процессов разрушения, включая гидроразрыв. Строятся томограммы добротности образца. Определяются пределы прочности. Испытания проводятся при одноосном, трёхосном и всестороннем сжатии, различных типах флюидонасыщения и поровом давлении. Также проводятся исследования анизотропии горных пород путём изучения разнополяризованных поперечных волн.

Тем не менее, для решения актуальных задач поиска и разведки месторождений и моделирования процессов разработки недостаточно располагать информацией о физико-механических свойствах пород в ограниченном диапазоне параметров, которая может быть получена в ходе лабораторных исследований. Необходимо располагать возможностью прогнозировать значения упругих и неупругих параметров среды в широком диапазоне пространственных и временных частот, а также – определять фильтрационно-емкостные свойства по данным полевых и скважинных наблюдений. Для этого авторами разработана и используется теория эффективных сред (ТЭС), основанная на физико-математическом моделировании пород с заданной микроструктурой. Необходимость решения поставленной задачи требует глубокого понимания микроскопической структуры и знание минерального состава изучаемых пород. Для этого используется широкий комплекс методов изучения микроструктуры, включая: сканирующую электронную микроскопию, микронзондовый анализ, оптическую микроскопию и компьютерную рентгеновскую томографию. Анализ полученных результатов позволяет строить эффективные физико-математические модели коллектора.

В докладе демонстрируется пример применения описанного комплекса исследований к изучению образцов пород баженовской свиты – коллектора нефти нетрадиционного типа.

Оптимизация процессов разработки нефтяных и газовых месторождений, повышение извлекаемости запасов углеводородов, проектирование процессов добычи, включая закачку и активное воздействие на пласт, требуют выполнения флюидодинамического моделирования процессов фильтрации. Такое моделирование в настоящее время стало стандартом при разработке месторождений углеводородов. При этом используются геологические модели месторождения и фильтрационно-емкостные свойства, полученные по результатам геолого-геофизических исследований и разведочного бурения. Определения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) проводятся, в частности, на основании лабораторных исследований образцов керна и затем интерполируются в межскважинное пространство на основе геологического моделирования, с использованием результатов сейсмической инверсии. Параметры модели, включая ФЕС, также уточняются в ходе разработки путём калибровки предсказаний модели с кривыми дебита и давлений.

Вместе с тем, опыт показывает, что предсказания таких моделей, включая прогноз уровня обводнения, не всегда хорошо соотносятся с наблюдаемыми значениями. Отчасти это связано с несовершенством используемых геологических моделей и неточными оценками ФЕС. Однако важное значение также имеет изменение ФЕС в процессе разработки вследствие снижения порового давления и сокращения открытой пористости. В первую очередь возможно снижение проницаемости в ослабленных разломных зонах, которые контролируют значительную долю фильтрации флюидов. Изменившиеся ФЕС коллекторов меняют и ход

процесса разработки, что не учитывается в стандартных флюидодинамических моделях. Большое значение имеет также и изменение напряжённого состояния пластов, что приводит к изменению нагрузки на ствол скважины и может приводить к аварийности.

С другой стороны, к настоящему моменту накоплен большой опыт создания статических 3D геомеханических моделей месторождений, учитывающих как региональные тектонические напряжения, так и собственный вес горных пород. Эти модели используются для прогноза эффективного давления и оценке воздействий на ствол скважин.

До последнего времени геомеханическое и флюидодинамическое моделирование месторождений использовались в качестве двух последовательных и независимых этапов. Вместе с тем, как ясно из сказанного, для адекватного моделирования процессов разработки необходимо сделать такие модели сопряжёнными и постоянно действующими, т. е. постоянно обновлять в процессе разработки как данные о напряжённом состоянии, так и вытекающие из них изменения ФЕС для использования во флюидодинамическом моделировании. Наиболее строгое решение этой задачи может состоять в решении соответствующей системы дифференциальных уравнений, включающей уравнения фильтрации и геомеханики. Однако такой подход на настоящий момент малоэффективен из-за существенных математических и вычислительных сложностей. Поэтому более привлекательным представляется итеративный подход в котором уточнение флюидодинамической и геомеханической модели происходит в ходе чередующихся итераций.

На рис.1 представлена принципиальная схема сопряжённого геомеханического и флюидодинамического моделирования, реализованная нами с использованием программных продуктов «t-Navigator» (отечественный гидродинамический симулятор компании Rock Flow Dynamics) и FLAC3D (геомеханический симулятор компании Itasca Software, США).

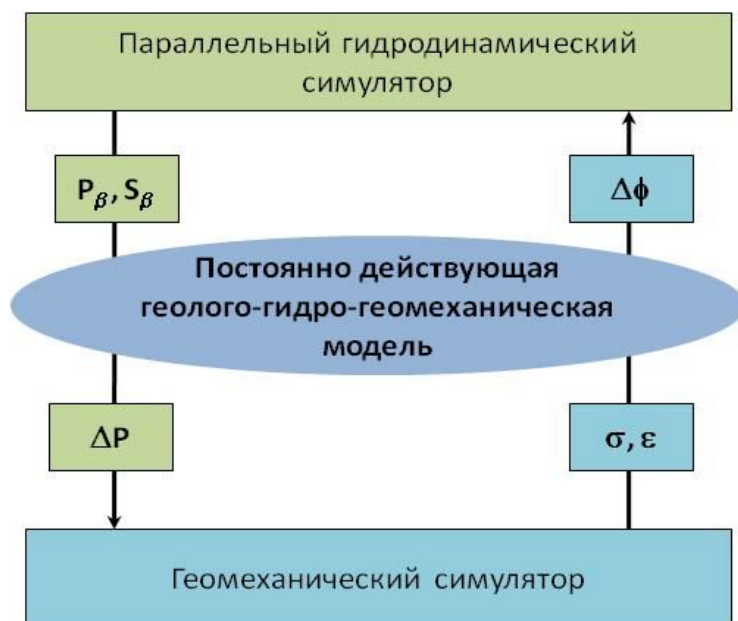


Рис. 1. Принципиальная схема сопряжённого геомеханического и флюидогидродинамического моделирования. Условные обозначения: P_β, S_β - давление и насыщенность флюидной фазы β ; ΔP — изменение давления; σ, ϵ - напряжения и деформации; $\Delta\phi$ - изменение пористости.

В основе процесса лежит единая постоянно действующая геолого-гидро-геомеханическая модель (ПГГМ). На начальном этапе, после создания геологической модели и наделения её фильтрационно-емкостными и физико-механическими свойствами, выполняется «статическое» геомеханическое моделирование — расчёт напряжений и эффективных давлений в среде до начала разработки. Эти параметры могут быть использованы как при проектировании скважин и процессов гидроразрыва, так и при флюидодинамическом моделировании. После начала разработки выполняется калибровка флюидодинамической модели

с тем, чтобы удовлетворить экспериментальным данным по дебитам и давлениям на начальном этапе. В результате флюидодинамического моделирования ПГГМ дополняется данными о параметрах течений, давлениях и насыщениях различных флюидных фаз (воды, нефти). Изменение порового давления закладывается в геомеханический симулятор, что позволяет рассчитать изменения напряжённого состояния и деформации среды, а также прямо влияет на изменение пористости. Вычисленное таким образом изменение пористости используется для уточнения флюидодинамической модели. Соответствующий цикл должен выполняться многократно в ходе разработки месторождения.

Демонстрируются результаты серии модельных расчётов, имитирующих процесс разработки одного из месторождений с последовательным увеличением числа добывающих скважин. Сокращение эффективной пористости составило до 40%, что существенно влияет на интенсивность процесса разработки. Более того, в результате сокращения связанной пористости уменьшается и объём извлекаемых запасов. Наблюдается возрастание главных касательных напряжений и изменение их ориентировки, меняющих также нагрузку на ствол скважины.

Проведено сопоставление расчётных значений напряжений, полученных в рамках ПГГМ, с аналитической оценкой, полученной на основании эмпирических соотношений, предлагаемых компанией Shell и аналитическими соотношениями для полных напряжений. Получаемые описываемым образом величины главных напряжений в совокупности с данными о скоростях продольных и поперечных волн, пористости и плотности породы затем используются для 1D геомеханического моделирования вдоль ствола скважины с использованием программного пакета MLGeomechanics и технологии Unofactor. Результатом этого моделирования является прогноз оптимальных значений плотности буровой жидкости по скважине, обеспечивающих её устойчивость.

Предложенный лабораторный и методический комплекс создает петрофизическую основу для обработки и интерпретации геофизических методов исследования, в первую очередь, сейсмических с целью уточнения геомеханической модели геологической среды путем использования данных геофизических исследований скважин (ГИС), геолого-технологических исследований (ГТИ), исследований керна при бурении параметрических и поисковых скважин. Анализ технологии проводки скважин в сложных горно-геологических условиях показывает наличие аварий и осложнений, возникающих из-за вскрытия зон с напряженно-деформированным состоянием (НДС) геологической среды с режимно-технологическими параметрами, не обеспечивающими противодействие возникновению анизотропной неустойчивости ствола, и образованию, т.н. «вывалов». Это приводит к прихватам, смятию колонн и другим инцидентам. Основными факторами, изменение которых может нормализовать процесс бурения, являются траектория ствола скважины и плотность бурового раствора. При этом необходимо определить оптимальный «коридор» плотности для различных интервалов, вскрываемых бурением. Это необходимо выполнять, как на стадии проектирования, так и непосредственно в процессе бурения. В процессе бурения фактическое НДС может отличаться от заложенного при проектировании. В этом случае необходимо своевременно скорректировать технологию бурения. Существенную роль в получении оперативной информации о геомеханических свойствах среды и ее напряженно-деформированном состоянии могут играть геолого-технологические исследования. Для успешного решения такого рода задач комплекс полевых работ и программно-методическое обеспечение ГТИ должны быть дополнены. ООО НПО «Союзнефтегазсервис» разработана и опробована методика оценки и прогноза возникновения осложнений при проводке скважин на основе использования приемов геомеханического моделирования, основными особенностями которой является использование, наряду с данными ГИС, исследований бурового шлама, включая обвального. Геомеханическая модель геологической среды по месторождению, полученная с использованием результатов строительства поисково-оценочных и разведочных скважин, может использоваться для построения постоянно действующей геолого-технологической модели.

МЕТОДИКА ПОИСКОВ И КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ УВ В СЛАНЦЕВЫХ ФОРМАЦИЯХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.М. Жарков (ФГУП «ВНИГРИ», Санкт-Петербург)

Тезисы доклада

Из нетрадиционных источников нефти и газа наиболее динамично развивается добыча сланцевых УВ. Это обстоятельство обуславливается однотипными условиями разработки сланцевых формаций. Опыта добычи сланцевых УВ в России нет. Понимание проблемы базируется на теоретических разработках российских специалистов и зарубежном опыте.

Территория РФ достаточно изучена и основные сланцевые формации перспективные на содержание УВ известны, это доманиковая свита Восточно-Европейской платформы, кумская и худумская - Предкавказья, баженовская свита Западной Сибири и куонамская - Восточной Сибири.

Методика поисков нефти и газа в сланцевых формациях предусматривает:

1. *Локализацию областей развития прогнозных сланцевых формаций*, которая базируется на изучении разреза отложений осадочного чехла вскрытых скважинами, выделении толщ обогащённых органическим веществом (ОВ), у которых имеются верхние и нижние флюидоупоры. Затем выделенные поверхности прослеживаются по сейсмическим данным и уточняются по разбивкам скважин.

В результате исследований мы получим базовые карты изучаемой формации, структурные карты и карты мощностей сланцевой формации, нижнего и верхнего флюидоупоров.

2. *Определение содержания ОВ и степени его преобразованности (катагенеза) в выявленных прогнозных сланцевых формациях*. На базовых картах сланцевой формации, в точках бурения скважин, определяются значение содержания органического вещества (ОВ) (стандартными аналитическими методами) и составляются карты содержаний ОВ. Участки карты изопохит с содержанием ОВ менее 1% из дальнейшего анализа исключаются как бесперспективные.

На оставшейся области сланцевого поля в точках бурения скважин определяется катагенез ОВ (аналитическими методами) и исключаются из дальнейшего анализа участки, не отвечающие по катагенезу ОВ условиям генерации нефти или газа.

Таким образом, оказывается оконтуренной область сланцевой формации, способная генерировать газ в промышленных масштабах.

3. *Изучение структурных и палеоструктурных характеристик прогнозных сланцевых формаций*, которое осуществляется с целью определения участков сланцевых формаций, находящихся близко от дневной поверхности, испытавших инверсию (горсты, взбросы) или опускание (грабены, сбросы) в процессе геологического развития, зон выклинивания отложений, закономерностей утонения или наращивания мощностей и связи этих участков сланцевого поля с содержанием ОВ, а так же нарушенностью сланцевых формаций дизъюнктивной тектоникой.

4. *Изучение литологических особенностей строения прогнозных газсланцевых формаций и их коллекторских свойств*, по результатам которого следует определить какая часть исследуемого сланцевого поля будет технологически приемлема для разработки, то есть обладала бы минимальными коллекторским потенциалом (не менее 3%), при этом породы должны содержать хрупкую составляющую (не менее 30% от состава формации) для удержания сетки трещин, образующихся при гидроразрыве. Таким образом, как технологически не перспективные исключаются участки сланцевой формации, содержащие примесей карбонатов или кремнистости менее 30% и пористости менее 5%.

5. *Оценку надёжности флюидоупоров, ограничивающих прогнозные сланцевые формации*, которая осуществляется на основе картирования литологического состава отложений. Участки распространения покровов, имеющие в составе пород свыше 20% хрупких составляющих, исключаются, так же исключаются из дальнейшего изучения покровы, обладающие «критической» толщиной, десять и менее метров.

Далее изучается открытость покровов за счёт развития разрывных нарушений с целью исключения из дальнейших исследований районов наиболее интенсивного проявления разрывной тектоники. Вероятность проявления разрывных нарушений картируется величинами первой производной поверхности рельефа по площади. Выбраковываются районы с максимальной напряженностью поверхности рельефа.

В итоге, из области развития сланцевой формации исключаются участки с не надёжными флюидоупорами по структурным и литологическим условиям строения.

6. *Определение контура прогнозных газосланцевых полей* последовательным исключением из области развития сланцевых формаций участков с содержанием ОВ менее 1 %, обладающих пористостью менее 3%, с нестабильными структурными и палеотектоническими условиями, не имеющими в своём составе хрупких компонентов, с ненадёжными по структурно-литологическим свойствам флюидоупорами.

В результате из первоначального поля развития газосланцевой формации выбраковываются участки, отвечающие пяти отрицательным геологическим условиям, несопоставимым с геологическими и технологическими возможностями добычи сланцевых УВ. Предполагается изучение внутренней структуры оконтуренного сланцевого поля с дифференциацией его на очаги генерации УВ, более или менее перспективные районы.

Оценку ресурсов сланцевого газа и сланцевой нефти целесообразно осуществлять методом геологических аналогий, взяв за основу внешние эталоны (американские). Для сравнения следует оценить ресурсы УВ объёмно-генетическим методом.

В практике разработки газосланцевых полей встречаются участки с резко увеличенными притоками, американцы называют их “Sweet Spots” – “Лакомые кусочки”. Геологическая сущность этих участков в российской терминологии - очаги генерации УВ. В американской практике такие участки ищут сейсмическими методами трехкомпонентной (ЗК) сейсморазведки. Этот метод приблизительно в 2 раза дороже метода ЗД. Геологических методик выделения таких объектов пока нет. Тем не менее, по комплексу полученных данных предполагается наметить участки, отвечающие очагам генерации УВ. Они будут выделяться повышенными мощностями сланцевой формации, с максимальными значениями содержания ОВ и надёжными покровками.

Таким образом, по материалам бурения и сейсморазведки изучаются крупные по распространению сланцевые формации, последовательно исключаются из их состава участки, не отвечающие необходимым свойствам, производится нефтегазогеологическое районирование перспективной части формации. Первоначально, в предполагаемых очагах генерации УВ проводится сейсморазведка для определения развития трещиноватых коллекторов, а в последующем осуществляется разведочное бурение с использованием горизонтальных стволов скважин и гидроразрывом пласта. В дальнейшем бурение может распространяться на всю перспективную часть формации.

Приложение 10

СИСТЕМА ПЕТРОФИЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ И ГАЗА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ПОРИСТОСТИ ГРАНУЛЯРНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

К.В. Коваленко (РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, Москва)

Тезисы доклада

Максимальная величина коэффициента извлечения нефти (газа) обеспечивается использованием технологий разработки, адекватных геолого-физическим условиям продуктивного пласта при непрерывном контроле и анализе управления залежью в процессе эксплуатации на основе ее 3D динамической геофлюидальной модели.

Для количественного описания поведения коллекторов в процессе разработки необходимо использовать те коллекторские свойства, которые более тесно связаны с динамикой флюидов (динамические фильтрационно-емкостные свойства или эффективные параметры

пористой среды) и которые позволяют более полно учитывать реальную структуру коллектора – эффективную пористость, а также фазовые и эффективные проницаемости по нефти (газу) и воде. Определение и изучение этих параметров имеет системообразующее значение, поскольку они явным образом присутствуют в дифференциальных уравнениях многофазной фильтрации и моделях эффективной и динамической пористостей. Они же являются базисными параметрами в концепции эффективного порового пространства (Дмитриевский А.Н., Закиров С.Н., Индрупский И.М. и др.) и могут рассматриваться как основа «динамической» петрофизики, которая включает не только параметры, характеризующие движение флюидов, но и изменение этих параметров во времени (Дахнов В.Н., Михайлов Н.Н.).

Использование эффективной пористости в геомоделировании расширяет методологическую основу моделирования свойств коллекторов и позволяет определять распространение динамических фильтрационно-емкостных свойств в межскважинном пространстве, чем существенно повышает информационный потенциал геофизических исследований.

Актуальным стало создание системы петрофизического обеспечения геомоделирования на основе динамических фильтрационно-емкостных свойств гранулярных коллекторов для повышения геологической информативности и достоверности геолого-технологических моделей месторождений нефти и газа.

Следуя академику Страхову В.Н., методологию построения системы разделим на две части: ядро системы и ее функциональную часть. В ядро разработанной системы входят следующие элементы: I. Петрофизическое обеспечение (петрофизическое модели взаимосвязей фильтрационно-емкостных свойств, обоснование методик интерпретации данных геофизических исследований скважин); II. Методологические принципы развития теории и практики интерпретации; III. Критерии оценки значимости и эффективности научных и практических исследований в области интерпретации геофизических данных (оценки погрешностей алгоритмов, область применимости).

Функциональной части системы петрофизического обеспечения принадлежат элементы, соответствующие этапам решения отдельных задач 3D геомоделирования и представляющие методики и алгоритмы расчета отдельных параметров. К ним относятся разработанные и опробованные алгоритмы определения фильтрационно-емкостных свойств коллекторов, нефтегазонасыщенности, эффективных и фазовых проницаемостей, моделирования переходной зоны, капиллярного давления, расчета сжимаемости и прогноза продуктивности и дебитов для разработки месторождений нефти и газа, петроэластического моделирования замещения флюидов, моделирования акустического импеданса.

Система петрофизического обеспечения геомоделирования, основанного на эффективной пористости, объединяет петрофизическое, методическое и интерпретационно-алгоритмическое обеспечение на основе новых методологических принципов: адаптивности и петрофизической инвариантности гранулярных коллекторов. Принцип петрофизической инвариантности коллекторов, заключающийся в том, что различные пласты, отмечающиеся одинаковым значением нормированной эффективной пористости, имеют одинаковый относительный объем подвижного флюида, а их разностные отношения по характеристическим петрофизическим и геофизическим параметрам совпадают между собой.

Показано, что настройка алгоритмов интерпретации методов геофизических исследований скважин на условия измерений конкретной аппаратурой в скважинных условиях и на свойства изучаемого коллектора в условиях его естественного залегания (принцип адаптивности) с использованием характеристических показаний методов геофизических исследований скважин отражают фактический минеральный состав матрицы и цемента, свойства подвижного и остаточного флюида.

Система петрофизического обеспечения геомоделирования реализует два важных аспекта использования эффективной пористости: первое – как одного из ценнейших интерпретационных параметров, определяемых по данным геофизических исследований скважин, второе – как необходимого звена взаимодействия различных нефтегазовых научных дисциплин.

ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

П.А. Рязанцев (Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск)

Тезисы доклада

Электротомография является современной методикой электроразведки на постоянном токе, которая широко используется при изучении месторождений полезных ископаемых, инженерных и геоэкологических изысканиях. При проведении подобных геофизических работ важную роль играют как организация полевых наблюдений, так и дальнейший процесс обработки данных. Эти этапы взаимосвязаны и на каждом из них следует учитывать специфику конкретной геологической обстановки, что отмечено рядом исследователей [Furman et al., 2003; Nimmer et al., 2007; Loke, 2012].

Несмотря на ряд преимуществ электротомографии, в сравнении с классическими методами электроразведки на постоянном токе, практические исследования [Соколов и др., 2010; Nguyen et al., 2005; Adepelumi et al., 2006; Magnusson et al., 2010] свидетельствуют о сложности и неоднозначности интерпретации получаемых результатов. Вследствие этого, возникает необходимость оценить возможности данной методики для изучения нарушенности массива горных пород и выделить особенности, возникающие в процессе обработки и интерпретации. Для решения поставленных задач выполнено моделирование трещиноватости горного массива в поле УЭС, а также анализ и сравнение результатов решения прямой геофизической задачи и измерений в реальных условиях. Полевые работы проводились на действующем карьере по добыче габбродолеритов Другорецкое-3, расположенном в пределах Ропручейской интрузии (Южная Карелия). Выбор объекта обусловлен возможностью прямого наблюдения трещиноватости в стенке карьера.

Проводимые исследования основывались на сопоставлении значений УЭС и положения трещин, полученных в одном интервале горного массива. Для этого на технологическом уступе карьера выполнен профиль электротомографии при помощи электроразведочной аппаратуры «Скала-48», с двумя 24 электродными косами. Измерения проводились дипольной установкой с шагом электродов 2 м, что позволило получить разрез длиной 94 м и глубиной порядка 20 м. Вдоль уступа проводилось картирование крупных трещин, привязанное к пикетажу профиля, для дальнейшего сопоставления геологических и геофизических данных.

В качестве первого этапа исследований на основе визуальных геологических наблюдений и имеющихся петрофизических показателей строилась физико-геологическая модель (ФГМ) в программе Res2dmod [Loke, 2012]. В ФГМ входили следующие элементы (рис. 1): верхняя разуплотнённая часть массива (1000 Ом м; $d=1$ м), область, представляющая уступ (5000 Ом м; $d=6,5$ м), ненарушенный массив (10000 Ом м), шесть крупных вертикальных трещин (1000 Ом м), пара приповерхностных неоднородностей (500 Ом м).

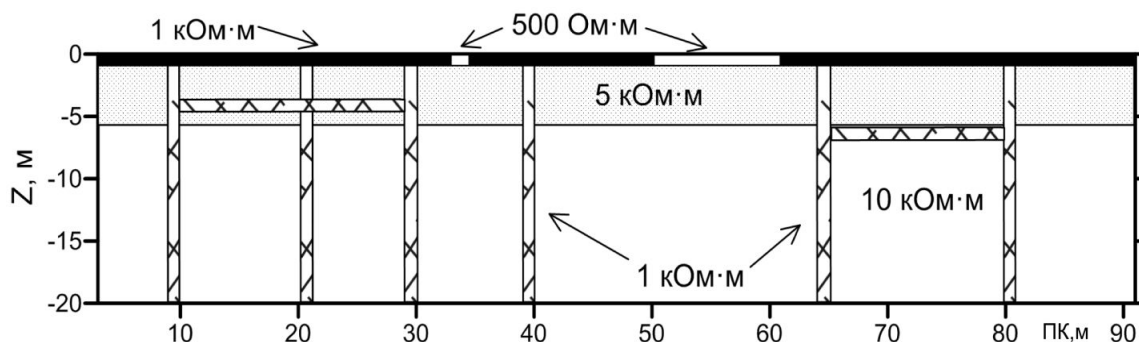


Рис. 1 Физико-геологическая модель уступа на карьере

Решение прямой задачи на основе сформированной модели позволило рассчитать матрицу УЭС, соответствующую указанным геологическим параметрам среды. Далее, по полученным данным, выполнялась двухмерная математическая инверсия и создавалась геоэлектрическая модель. Эта модель сопоставлялась с первоначальной ФГМ, для оценки достоверности выделения трещин методикой электротомографии. Следующий этап заключался в обработке полевых геофизических наблюдений и комплексном анализе синтетического и измеренного разрезов.

В результате моделирования трещиноватости для известной ФГМ (рис. 2А) получен геоэлектрический разрез (рис. 2В), все геологические элементы которого нашли своё отражение в распределении УЭС. При этом отмечается некоторое несоответствие положения границ искомым объектам. Так, например, для вертикальных отдельностей характерно ограничение области определения по глубине. Трещины, заданные как вертикальные маломощные тела, простирающиеся на максимальную глубину на ФГМ, на псевдоразрезе ограничены глубиной 10 м. При этом уровень получаемых УЭС только качественно отражает заданные элементы. Все эти особенности обусловлены рядом факторов, таких как: используемая электродная установка, распределение чувствительности, особенности геометрии искомым объектов, внутренние ограничения электротомографии.

Далее обратимся к экспериментальным данным. На основе сопоставления смоделированного и измеренного набора значений УЭС, отмечается явное сходство формы их распределения в обоих случаях, что свидетельствует о верном подборе ФГМ (рис. 2А,Б). Кроме того, выделяется общая зашумлённость полевых данных, связанная с внутренними неоднородностями горного массива и погрешностями при измерениях. Сопоставляя геоэлектрические разрезы, полученные по результатам инверсии, следует отметить их совпадение по форме распределения блоков УЭС (рис. 2В,Г). Наибольшее совпадение характерно для области высоких сопротивлений, соответствующей ненарушенной части разреза, а также верхней обводнённой области и приповерхностным проводящим телам. Совпадение положения нарушений менее явное. Так трещины, расположенные в пределах центральной высокоомной области на экспериментальном разрезе, проявлены слабо, главным образом устанавливаются по градиенту УЭС. В свою очередь трещины, расположенные по краям разреза, могут быть определены с достаточной степенью достоверности.

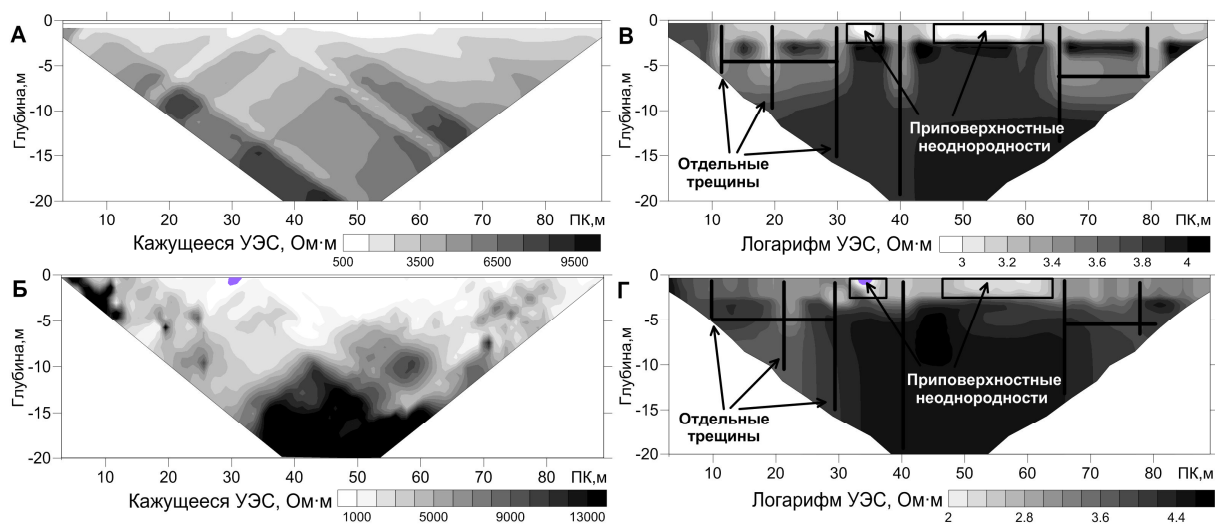


Рис. 2 Геоэлектрические модели вдоль уступа на карьере «Другорецкое-3»:

А – распределение кажущегося УЭС для синтетических данных; Б – распределение кажущегося УЭС для измеренных данных; В – 2D модель, полученная на основе синтетических данных;

Г – 2D модель, полученная на основе измеренных данных

В результате проведённых исследований сделаны следующие выводы:

1. Полевые и синтетические данные в целом согласуются друг с другом, что подтверждает корректность проведённых измерений, а также применимость электротомографии для изучения трещиноватости.

2. Существует наиболее информативная часть геоэлектрического разреза, где соотношение чувствительности, разрешающей способности и уровня помех оптимально для локализации отдельных трещин.

3. Отдельные маломощные трещины в ненарушенном горном массиве слабоконтрастны и выделить их по геоэлектрическим свойствам без опорной геологической информации проблематично.

4. Характерно возникновение ложных аномалий и изменение уровня удельных сопротивлений из-за влияния маломощных проводящих объектов.

5. Учёт прямых наблюдений позволяет наиболее полно использовать возможности электротомографии. Он может выполняться как на стадии интерпретации, так и на более глубоком уровне, за счёт внедрения в механизмы обработки корректирующей геологической информации.

Литература

1. Соколов С.Я., Рязанцев П.А., Климовский А.В., Нилов М.Ю. Геофизические методы изучения породной толщи на объектах облицовочного камня // Горный журнал, 2011. №5. С. 15–19

2. Adepelumi A.A., Yi V.J., Kim J.H., Ako B.D., Son J.S. Integration of surface geophysical methods for fracture detection in crystalline bedrock of southwestern Nigeria // Hydrogeology Journal, 2006. №14. P. 1284–1306

3. Furman A., Ferre P.A., Warrick A.W. A sensitivity analysis of electrical resistivity tomography array types using analytical element modeling // Vadose Zone Journal. 2005. V2. P. 416–423

4. Loke M.H. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys [Электронный ресурс], www.geotomo.com. 2012. 148 p.

5. Magnusson M., Fernlund J., Dahlin T. Geoelectrical imaging in the interpretation of geological conditions affecting quarry operations // Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2010. №3. P. 465–486

6. Nguyen F., Garambois S., Jongmans D., Pirard E., Loke M.H. Image processing of 2D resistivity data for imaging faults // Journal of Applied Geophysics, 2005. №4. P. 260–277

7. Nimmer, R.E., Osiensky J.L., Binley A.M., Sprenke K.F., Williams B.C. Electrical resistivity imaging of conductive plume dilution in fractured rock // Hydrogeology Journal, 2007. V15. №5. P. 877–890.

Приложение 12

СВЯЗЬ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ С ПРОЦЕССАМИ В ЗЕМНОЙ КОРЕ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

С.А. Рябова С. А. (Институт динамики геосфер РАН, Москва)

Тезисы доклада

Земля с геосферами представляет собой цельную, сложную систему. При этом геосферы не выступают как независимые, а находятся под действием как внешних, так и внутренних возмущений, непрерывно взаимодействуют друг с другом, обмениваясь энергией, импульсом и массой [Зецер, 2009]. Однако, конкретные формы и механизмы взаимодействия не так однозначны и слабо изучены. Следует отметить, что интенсивность преобразования энергии между геофизическими полями разной природы определяется свойствами среды. Это особенно актуально при решении многих практических задач, в частности таких, как картирование зон с аномальными свойствами (залежи полезных ископаемых, разломы, карстовые пустоты и др.).

В настоящей работе рассматривается влияние геомагнитного поля вне зависимости от источников и конкретных механизмов его возникновения на амплитудные вариации сейсмических колебаний на среднеширотной геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН, которая расположена в центральной части Восточно-Европейской платформы (54,956°N, 37,766°E).

В ходе исследований было обнаружено, что положительные импульсы при магнитных бурях с внезапным началом (SSC-события) и при внезапных геомагнитных импульсах (SI-события), сопровождающие магнитные возмущения, вызывают повышенные амплитудные вариации фоновых сейсмических колебаний в частотном диапазоне 0,01–0,1 Гц. Кроме того, установлена количественная зависимость между амплитудой внезапного геомагнитного импульса и максимальной амплитудой вариации среднеквадратичной скорости колебаний в сейсмическом фоне.

Оценки позволяют сделать предварительный вывод о том, что механизм преобразования энергии между геомагнитным полем и полем сейсмических колебаний в районе исследований не является магнитострикционным [Лосева, Кузьмичева, Спивак, 2012].

В результате сравнения сезонных вариаций гидрогеологического режима и годовой цикличности геомагнитных вариаций показана значимая корреляция между сезонными вариациями одного из основных параметров магнитного поля – магнитного типпера, и изменением уровня подземных вод в безнапорном горизонте.

Следует отметить, что на всех этапах исследования особое внимание уделяется корректности применения методов обработки и анализа, а также оценке статистической достоверности полученных результатов.

Литература

1. Зецер Ю.И. Энергетика внутренних и внешних геосфер // Проблемы взаимодействия геосфер. Сборник научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2009. С. 9–18.

2. Лосева Т.В., Кузьмичева М.Ю., Спивак А.А. Численно-феноменологическая модель взаимосвязи магнитного поля и микроколебания земной коры в зоне влияния крупной тектонической структуры // Динамические процессы в геосферах. Сборник научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2012. С. 92–98.

Приложение 13

СЕЙСМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ СРЕД

Н.А. Караев (ФГУНПП «Геологоразведка», Санкт-Петербург)

Тезисы сообщения

Повсеместное насыщение сейсмического метода стандартизированными технологическими комплексами без достаточного обоснования их применения к нетрадиционным сейсмическим объектам во многих случаях приводит к многозначной геологической интерпретации сейсмических данных и к ложным представлениям о геологическом строении изучаемой сред, как в региональной, так и в поисковой сейсмике. В последние десятилетия наблюдается существенный подъем научных исследований, как в направлении обоснования построения эффективных сейсмических моделей сложнеоднородных средах, так и в изучении распространения волнового поля в этих моделях.

1. **Региональная сейсмика.** В 2006 году по заданию МПР РФ ФГУНПП «Геологоразведка» успешно были завершены научно-исследовательские работы по базовому проекту **ГН-15**, одним из результатов которого явилось создание **«Кадастра типовых сейсмических моделей и волновых полей сложнопостроенных гетерогенных систем в сопоставлении с реальными сейсмическими данными»**. В постановлении У.С. ФГУНПП «Геологоразведка» отмечена высокая значимость этой работы в решении проблемы геологической интерпретации сейсмических данных при изучении строения земной коры на геотраверсах. С учетом отзывов ведущих специалистов решением У.С. ФГУНПП «Геологоразведка» **«Ка-**

дастр...» был рекомендован для публикации. В последующие годы были продолжены исследования, связанные с усовершенствованием представлений о распространении волновых полей в сложно неоднородных геологических средах. В настоящее время в результате введения существенных дополнений и преобразований кадастра ФГУНПП «Геологоразведка» завершена работа по созданию **«Атласа сейсмических моделей земной коры в изображениях поля рассеянных волн»**. Свод данных многолетних исследований сейсмических моделей и волновых полей, приведенный в этой работе, представляет исключительный интерес, как для дальнейшего развития физико-геологических основ сейсмологии сложных сред, так при геологическом истолковании результатов сейсмических построений и, в первую очередь, при расшифровке сейсмических образов геологических структур земной коры в изображениях поля рассеянных волн. Примеры разработок такого рода в мировой практике не известны.

2. Нефтепоисковая сейсмика. К числу перспективных направлений, связанных с повышением достоверности поисков и диагностики коллекторов углеводородов относятся методы математического и физического моделирования. Успешно развиваемые в ФГУНПП «Геологоразведка» методы объемного ультразвукового физического моделирования, в том числе при поддержке грантов РФФИ, получили известность в организациях нефтепоисковой сейсморазведки. Созданные принципиально новые объемные фрагментарные модели, подтвержденные тремя патентами, отличаются возможностью имитации порово-трещинных моделей при широкой вариации параметров трещинных систем, наиболее адекватных геологическим объектам – коллекторам углеводородов. Ключевой конструктивной особенностью физических моделей является создание составной твердотельной модели с включением фрагментарных моделей, что открывает перед моделированием большие перспективы с возможностью тестирования и оптимизации современных 2D- и 3D- сейсмических технологий при поисках и диагностике параметров порово-трещинных коллекторов. Исследованы волновые признаки трещинных и порово-трещинных систем, а при тестировании сейсмических технологий установлена высокая информативность метода поперечных волн при обнаружении и диагностике объектов, имитирующих слабоконтрастные коллектора. Важно отметить, что результаты методов физического моделирования представляют исключительный научно-методологический интерес при апробации и усовершенствовании развиваемых методов математического моделирования. В этой связи особый интерес к этим исследованиям проявлен со стороны Центральной геофизической экспедиции (ОАО «ЦГЭ»), которая в настоящее время методами численного моделирования проводит исследования волновых откликов обменных рассеянных волн от системы субвертикальных макротрещин. По просьбе ОАО «ЦГЭ» получены первые, весьма обнадеживающие результаты по сопоставлению данных математического и физического моделирования, подготовляемые к публикации.

Комплексное использование обоих направлений может служить базовой основой в развитии методов многоволновой сейсмологии в модификации обменных отраженных волн для сопровождения ГРП, как на этапе проектирования, так и проведения поисковых сейсморазведочных работ, что позволит повысить достоверность геологического истолкования сейсморазведочных данных и, как следствие, снизить степень риска при проектировании по данным сейсморазведки положения разведочных скважин.