

На правах рукописи

Сулова Наталья Дмитриевна

**МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ТИПОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА И ПРОНИЦАЕМОСТИ
КОЛЛЕКТОРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОЙ И ЗАПАДНОЙ
СИБИРИ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ**

25.00.10 Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2012

Работа выполнена на кафедре сейсмометрии и геоакустики геологического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор Ампилов Юрий Петрович

Официальные оппоненты: Верчеба Александр Александрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, РГГРУ имени Серго Орджоникидзе, геологоразведочный факультет, декан

Яковлев Иван Валерьевич, кандидат физико-математических наук, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: Закрытое акционерное общество «Пангея»

Защита состоится 18 апреля 2012 года в 14 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 501.001.64 при Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова по адресу: 119234, г. Москва, Ленинские горы, МГУ, геологический факультет, ауд. 308.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке геологического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (ГЗ МГУ, зона «А», 6 этаж).

Автореферат разослан «15» марта 2012 года.

Учёный секретарь
диссертационного совета:



Никулин Борис Александрович

Общая характеристика работы

Настоящая диссертационная работа посвящена разработке методик регионального прогнозирования нефтегазоперспективных типов геологического разреза венд-рифейских отложений на юго-западе Сибирской платформы (Восточная Сибирь) и локального прогнозирования фильтрационных свойств нижнехетских коллекторов Большехетского вала на северо-востоке Западно-Сибирской платформы (Западная Сибирь) по данным сейсмически 2D и 3D.

Актуальность проблемы

Изучение геологического строения основных нефтегазоперспективных венд-рифейских отложений на территории Восточной Сибири по данным сейсморазведки является сложной задачей и требует новых методических подходов для повышения надежности результатов. При проведении региональных работ эти подходы предназначены, прежде всего, для прогнозирования типов геологического разреза и выявления перспективных площадей для дальнейших поисково-разведочных работ.

Макроописание типов геологического разреза, помимо качественных литофациальных и гранулометрических особенностей, включает и количественные параметры – скорость распространения упругих колебаний, плотность, жесткость, пористость, проницаемость, эффективную толщину, удельную емкость, гидропроводность, продуктивность.

Типизация разреза должна быть выполнена таким образом, чтобы каждый тип существенно отличался от других наиболее значимыми для последующего прогноза свойствами.

Методика составления типовых геологических разрезов нефтегазоносных территорий любого уровня по данным бурения скважин и комплексу ГИС хорошо известна (Методические указания ВНИГНИ, 1984; Фортунатова Н.К., 1985).

Проблема заключается в прогнозе типов разреза в экстра- и интерполяционном пространстве, которая решается геофизическими методами, прежде всего, сейсморазведкой.

Для представительного описания изучаемого разреза необходима интегральная сейсмическая параметризация, с помощью которой можно определить физические образы типов геологического разреза с заметным различием характеризующих их параметров, в том числе и фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) коллекторов.

Наиболее полное представление об интегральной и устойчивой характеристике геологического разреза из современных разработок дает спектрально-временной анализ (СВАН) (Мушин И.А. и др., 1983, 1990).

На базе СВАН разработана технология качественного и количественного прогнозирования типов геологического разреза и параметров ФЕС коллекторов – комплексный спектрально-скоростной прогноз (КССП) (Копилевич Е.А. и др., 1990; Копилевич Е.А., Мушин И.А., Давыдова Е.А., 2002; Копилевич Е.А., Мушин И.А., Давыдова Е.А., Афанасьев М.Л., 2010). Впервые было показано, что различные типы карбонатного и терригенного разреза лучше всего отображаются в волновом поле в виде различных спектрально-временных образов (СВО).

Методика прогнозирования закономерностей распределения различных типов нефтегазоперспективных пород по региональным профилям разработана на основе адаптации технологии КССП к сложным сейсмогеологическим условиям венд-рифейских отложений. Разработка методики прогнозирования представляется особо актуальной научной и практической проблемой, решение которой дает возможность обоснованно размещать дальнейшие поисково-разведочные работы сейсморазведки МОГТ, параметрические и поисковые скважины, что в свою очередь напрямую связано с обеспечением загрузки нефтью трубопроводной системы «Восточная Сибирь - Тихий океан» (ВСТО).

Актуальность разработки методики локального прогнозирования фильтрационных свойств нижнехетских коллекторов на примере крупного Ванкорского месторождения, расположенного на северо-востоке Большехетского вала, объясняется необходимостью повышения точности и надежности определения коэффициента проницаемости в межскважинном пространстве. В большинстве случаев используется интерполяция этого петрофизического параметра (линейная или нелинейная) по данным бурения, ГИС и испытания скважин. Применение интерполяции приводит к большим погрешностям и существенному понижению геологической эффективности, особенно на стадии разведки и начала эксплуатации (Копилевич Е.А., Мушин И.А., Давыдова Е.А., 2003; Козлов Е.А., 2006; Ставинский П.В., Сурова Н.Д., Яценко В.М., 2008).

Цель работы

Повышение геологической и экономической эффективности геологоразведочных работ на нефть и газ в Восточной и Западной Сибири на основе разработки и внедрения новых методик регионального прогнозирования нефтегазоперспективных венд-рифейских отложений и локального прогнозирования фильтрационных свойств нижнехетских коллекторов с использованием данных сейсморазведки 2D и 3D.

Основные задачи исследований:

- разработка методики регионального прогнозирования типов геологического разреза венд-рифейских отложений Восточной Сибири на базе технологии комплексного спектрально-скоростного прогноза (КССП) (Копилевич Е.А., Мушин И.А., Давыдова Е.А., Афанасьев М.Л., 2010);
- разработка методики локального прогнозирования фильтрационных свойств коллекторов (коэффициента проницаемости) на базе КССП в пределах Ванкорского месторождения для нижнехетских отложений;
- опробование разработанных методик по региональным профилям на юго-западе Сибирской платформы в объеме 6668 пог. км и в пределах куба объемом 370 км² сейсморазведки МОГТ 3D на Ванкорском месторождении;
- геологический анализ и обоснование полученных результатов

Личный вклад автора

Все основные результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью, получены автором лично или при ее непосредственном участии.

Автор участвовала в разработке методик регионального прогнозирования типов геологического разреза венд-рифейских отложений Восточной Сибири и фильтрационных свойств нижнехетских коллекторов на Ванкорском месторождении. Автор лично выполнила сейсмическое и СВАН-моделирование, построила разрезы и схемы типов геологического разреза вендских и рифейских отложений по 5-ти региональным сейсмическим профилям; куб и карту коэффициента проницаемости нижнехетских коллекторов Ванкорского месторождения.

Научная новизна исследований:

- разработана методика регионального прогнозирования типов геологического разреза сложно построенных венд-рифейских отложений Восточной Сибири, обеспечившая получение новой геологической информации о местонахождении нефтегазоперспективных зон, в пределах которых необходимо проводить дальнейшие геологоразведочные работы;
- разработана методика локального прогнозирования фильтрационных свойств нижнехетских коллекторов на северо-востоке Западно-Сибирской платформы в пределах крупного Ванкорского месторождения
- предложены новые модели распределения типов геологического разреза венд-рифейских отложений по региональным профилям на юго-западе Сибирской платформы с инверсным расположением нефтегазоперспективных типов венда и рифея

- впервые построены куб и карта коэффициента проницаемости нижнехетских коллекторов Ванкорского месторождения с повышенными значениями этого параметра на склонах Ванкорской структуры

Практическая значимость работы:

Выполненные исследования и полученные при этом результаты позволяют более достоверно осуществлять региональный прогноз нефтегазо-перспективных зон венд-рифейских отложений Восточной Сибири и локальный прогноз фильтрационных свойств нижнехетских коллекторов Большехетского вала на примере крупного Ванкорского месторождения (на северо-востоке Западной Сибири), что является основанием для оптимизации процесса поисков, разведки и эксплуатации месторождений углеводородов (УВ).

Точность и надежность локального прогноза коэффициента проницаемости нижнехетских коллекторов Ванкорского месторождения подтверждены данными последующего бурения 17-ти скважин со среднеквадратической погрешностью 11-21% от абсолютных значений, что в ~1,5-2 раза точнее интерполяционных значений этого петрофизического параметра геологической модели, построенной только по данным бурения, ГИС, изучения керна и испытания скважин.

Полученная новая информация позволила установить 6 нефтегазоперспективных зон в вендских отложениях и 6 в рифейских, а также выявить расположение повышенных значений проницаемости в пределах Ванкорского месторождения.

Защищаемые положения:

1. Разработана методика регионального прогнозирования типов геологического разреза венд-рифейских отложений восточной Сибири, основанная на количественном спектрально-временном анализе данных сейсморазведки и ГИС, позволяющая выявлять зоны развития нефтегазоперспективного разреза.

2. Разработана методика прогнозирования проницаемости нижнехетских коллекторов Западной Сибири, на примере Ванкорского месторождения, основанная на количественном спектрально-временном анализе данных сейсморазведки и ГИС, с использованием которой возможно определение наиболее значимых нефтегазовых объектов.

3. Получена новая геологическая информация о местоположении нефтегазоперспективных зон в венд-рифейских отложениях в пределах юго-запада Сибирской платформы и зон развития наиболее проницаемых нижнехетских коллекторов Ванкорского месторождения.

Апробация работы и публикации:

Основные положения диссертации изложены в докладах на отечественных и международных научно-практических геолого-геофизических конференциях, совещаниях и форумах в городах Москве 2008, 2009, 2010 и 2011 гг.; Ялте, 2010г.; Перми, 2010г.; Сочи 2011г.

Результаты проведенных исследований опубликованы в 2-х статьях в журналах «Геофизика» и научно-техническом вестнике ОАО «НК «Роснефть».

Объем работы

Диссертация состоит из введения, 4-х глав и заключения, содержит 153 страницы текста, включая 10 таблиц, иллюстрирована 44 рисунками. Список использованной литературы включает 115 наименований.

Работа выполнена на кафедре сейсмометрии и геоакустики МГУ имени М.В. Ломоносова за время обучения в аспирантуре с 2009 по 2012 гг. под руководством доктора физико-математических наук, профессора Ю.П. Ампилова, которому автор выражает глубокую благодарность.

Автор признателен заведующему кафедры сейсмометрии и геоакустики геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова М.Л. Владову за содействие и поддержку в работе над диссертацией.

Автор благодарит сотрудников ФГУП «ВНИГНИ»: доктора геолого-минералогических наук, профессора Е.А. Копилевича; заместителя директора по научной работе, доктора геолого-минералогических наук Н.К. Фортунатову; заведующего сектором оценки перспектив нефтегазоносности Восточной Сибири и республики Саха (Якутия), кандидата геолого-минералогических наук В.Н. Ларкина; доктора технических наук И.А. Мушина за большую помощь в процессе работы над диссертацией и консультации.

В процессе проведения исследований автор сотрудничал с Б.К. Фроловым, Г.А. Белоусовым, А.Б. Городковым, П.В. Ставинским и М.В. Яценко, которым выражает искреннюю признательность за помощь и ценные советы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, определена цель и сформулированы основные задачи.

Глава 1 Состояние проблемы

В настоящей главе рассмотрены существующие различные подходы к изучению неоднородности потенциально нефтегазопродуктивных отложений в межскважинном пространстве по данным сейсморазведки, разработанные в нашей стране и за рубежом. Так же изучены результаты, полученные при проведении региональных сейсморазведочных работ МОГТ 2D в юго-западной части Сибирской платформы, и имеющиеся к настоящему моменту результаты детальных сейсмических исследований МОГТ 3D на Ванкорском месторождении.

Все способы и методы решения различных задач прогнозирования геологического разреза (ПГР) традиционно основаны на использовании упругих параметров среды. К ним относят методы, основанные на использовании амплитуд сейсмической записи – «яркое пятно», AVO (Стоун Ч.Б., 1980; Кондратьев И.К., Бондаренко М.Т., 1996; Барышев Л.А., 2001; Воскресенский Ю.Н., 2002; Козлов Е.А., 2006); либо псевдоакустических скоростей – ПАК, VELOG, PEAM (Гогоненков Г.Н., 1981); псевдоакустических жесткостей – ПАРМ и ПАРМ-коллектор (Дубровский З.Д., 1985; Колесов В.В., 2002); стохастическая инверсия фирм ЦГЭ, Fugro-Jason, Hampson-Russell, генетическая инверсия Schlumberger; эффективных коэффициентов отражения – ЭКО-PEАПАК, ЭПМ (Берилко В.И., Рудницкая Д.И., 1985); ПРОНИ-фильтрации (Митрофанов Г.М. и др., 2001); эффектов поглощения отраженных волн и дисперсии скоростей – ПДС (Раппопорт М.Б., 1986).

Широко известны также программно-методические комплексы ПГР использующие амплитудно-энергетические и скоростные параметры, а также форму сейсмической записи в сочетании с геологической информацией – ИНТЕРСЕЙС, КИНГ, ЗАЛЕЖЬ, ПРИПЯТЬ, структурно-формационной интерпретации (СФИ) (Мушин И.А. и др., 1987) и способ псевдо-литологического каротажа (ПЛК) (Крылов Д.Н., 1982).

Технология КССП комплексирует СВА со скоростью (V_{пак}) с использованием современных математических средств – статистических, спектрально-корреляционных алгоритмов, искусственных нейронных сетей (ИНС) позволяет учитывать изменение формы импульса волны и скорость его распространения при изменении упругих свойств среды.

Способов определения фильтрационных свойств, продуктивных отложений в межскважинном пространстве по данным сейсморазведки, в настоящее время практически не существует. Это связано с тем, что с целью прогнозирования геологического разреза по данным сейсморазведки использовались, в основном, скорости, жесткости (импедансы), временные толщины, не коррелирующиеся с фильтрационными свойствами коллекторов, которые обусловлены не столько

объемами пустотного пространства (емкостью), сколько его структурой – системой сообщающихся пор, трещин, каверн, т.е. проницаемостью (Асташкин Д.А., 2004; Козлов Е.А., 2006). Наилучшим образом задаче прогноза фильтрационных свойств коллекторов соответствует технология КССП.

В течение длительного времени районирование Сибирской платформы по нефтегазоперспективным территориям выполнялось, в основном, по структурно-тектоническим критериям и литологофациальной информации по данным бурения. В межскважинном пространстве учитывались результаты кинематической интерпретации данных сейсморазведки, а также грави- магнито-электроразведки. Многочисленные работы Трофимука А.А., Конторовича А.Э., Суркова В.С., Мигурского А.В., Старосельцева В.С., Баженовой Т.К., Шеина В.С., Мельникова Н.В. и других исследователей позволили разработать региональную модель геологического строения Сибирской платформы. На основе разработанной модели в период с 1969-2010 гг. удалось открыть 30 крупных месторождений УВ, 20 из которых (67%) были обнаружены в XXI веке.

Применительно к конкретным задачам прогноза различных типов геологического разреза венд-рифейских отложений по региональным профилям на юго-западе Сибирской платформы геологические результаты наиболее полно и информативно рассмотрены в работах последнего десятилетия. В диссертационной работе они изложены в хронологическом порядке (Старосельцев В.С.; Мельников Н.В. и др., 2002; Мельников Н.В. и Константинова Л.Н., 2004, 2006; Горюнов Н.А. и др., 2005; Мельников Н.В. и др., 2008; Масленников М.А., 2009; Ефимов А.С. и др., 2009; Попелуха Г.Ф., 2009; Маргулис Л.С. и др., 2009; 2011; Фортунатова Н.К. и др., 2009; Самсонов В.В. и др., 2010; Вальчак В.И. и др.; Ситников В.С. и др., 2011).

Новые методические подходы к оценке перспектив нефтегазоносности рифейских отложений Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции реализованы в работе Н.К. Фортунатовой и др., 2009г. В качестве инструмента для стратификации и разработки модели геологического строения рифейских отложений использована формационная модель, созданная авторами для оценки перспектив нефтегазоносности.

Актуальные исследования по выявлению особенностей геологического строения и перспектив нефтегазоносности рифейского комплекса пород юго-запада Сибирской платформы провели В.И. Вальчак и др. в 2011г. Авторами выделено 10 структурно-вещественных зон и определены наиболее приоритетные зоны для дальнейшего проведения детальных работ.

В.В. Самсонов и др., 2010г. утверждают, что в нефтегазовой геологии происходят существенные изменения - привычной гравитационной моделью формирования углеводородных скоплений уже нельзя объяснить разнообразие условий их распространения. Несмотря на то, что основные разведанные запасы нефти и газа сосредоточены в антиклинальных ловушках, ведущие значение при формировании ресурсов приобретают нетрадиционные ловушки в неизвестных ранее зонах. С одной стороны это значительно расширяет диапазон условий, в которых могут быть обнаружены промышленные скопления углеводородного сырья, а с другой диктует необходимость совершенствовать методику регионального и локального прогнозирования, уменьшая значение интерполяции и экстраполяции геологической информации, и увеличивая роль определения необходимых данных по геофизическим, особенно сейсмическим работам.

В сравнении с Сибирской платформой считается, что Западно – Сибирская имеет более простое геологическое строение. Одним из основных нефтегазовых объектов в нижнемеловых отложениях северо-восточной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, в том числе и в пределах Большехетского вала, является нижнехетский горизонт. Вопросами геологического строения, историко-тектонического развития и особенностям нефтегазоносности Большехетских впадин и вала посвящено много работ (Найденов Л.Ф. и др., 2010; Бородкин В.Н. и др., 2011; Сурикова Е.С., Калинина Л.М., 2011). Однако по-прежнему остается актуальным задача прогноза неоднородности целевых отложений в двух- и трехмерном пространстве на уровне построения геологических моделей, в том числе и наиболее крупного газонефтяного Ванкорского месторождения.

С целью уточнения геологической модели С.А. Измайлова, В.А. Кринин 2007 г. использовали палеогеографические реконструкции, в основу которых положен анализ лито-фациальных обстановок, выделение их генетических и морфологических признаков, определение состава осадков, как в областях размыва, так и в пределах бассейнов седиментации.

Непосредственно на территории диссертационных исследований в пределах Большехетского вала на Сузунском и Ванкорском месторождениях Пономаренко З.Ф., Давыдовой И.В. и Конторовичем А.А. в 2011г. проведена реконструкция фациальных обстановок формирования коллекторов на основе изучения кернового материала и каротажных диаграмм.

После начала эксплуатации в 2009 году, коллектив авторов Р.О. Ошмарин и др., в 2010 году создал геологическую модель для мониторинга разработки и сопровождения бурения Ванкорского месторождения. Авторы акцентировали

внимание на важности определения проницаемости в трехмерной модели без стохастического подхода.

Глава 2 Методика регионального прогнозирования типов геологического разреза венд-рифейских отложений по данным сейсморазведки.

Разработанная методика основана на технологии КССП. В диссертации, приведены аналитические выражения для СВА, представляющих собой отношение энергии высоких частот и больших времен к энергии низких частот и малых времен, а также произведение удельной частоты спектральной плотности на средневзвешенные и максимальные частоты и времена.

Блок схема разработанной методики представлена на рис.1. Процесс определения типов геологического разреза в межскважинном пространстве по СВА и Упак состоит из 6-ти основных этапов. Разработанная методика опробована на пяти региональных профилях – южному участку «Алтай – Северная Земля», «скв. Мадринская 156 – пос. Кежда», «Батолит», «скв. Лебяжинская 2 – скв. Чуньская 120» и «скв. Светлая 1 – скв. Хошонская 256», общим объемом 6668 пог. км.

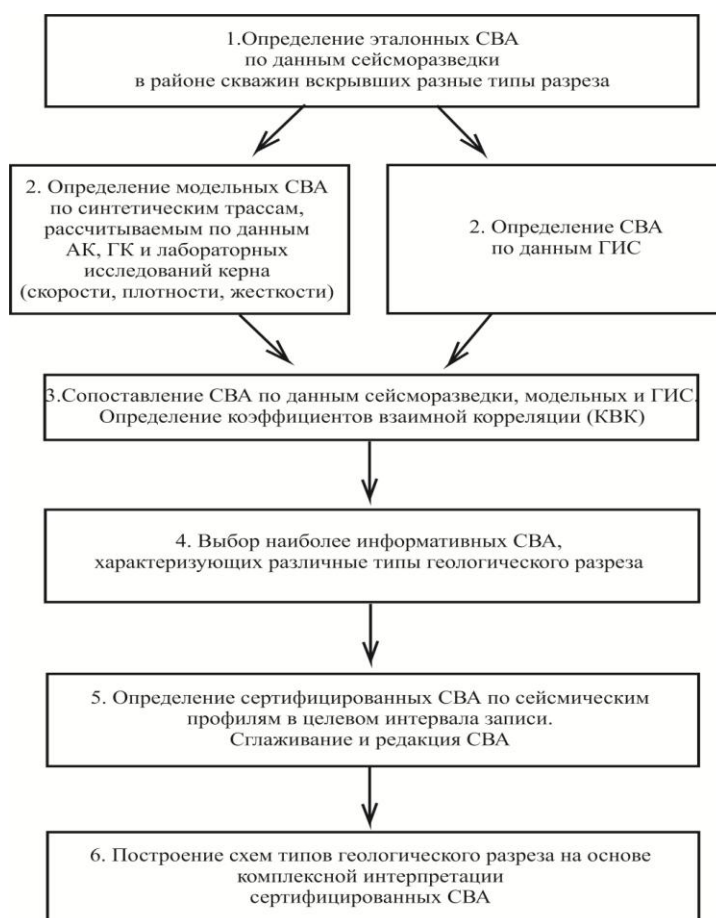


Рис.1. Блок-схема методики комплексного определения типов геологического разреза в межскважинном пространстве

Временной интервал изучения вендских отложений принят равным временной мощности (Δt) между опорными ОГ Б и ОГ R₀, приуроченными, соответственно, к кровельной части вендских отложений и поверхности рифея. Для рифея временной интервал составляет ОГ R₀+80мс, что приблизительно соответствует 200 м потенциально продуктивной толще рифейского разреза.

На первом этапе определяются СВА и оптимальные параметры расчета: $f_{нач}$, $f_{кон}$ - начальная и конечная частоты, F - ширина фильтра; n- количество фильтров, L (Level) – уровень отсечки спектра.

По графикам изменения СВА сертифицированы:

для венда: СВА₂ (F=40, L=0,1), СВА₃ (F=60, L=0,1), СВА₅ (F=50, L=0,2),

СВА₆ (F=30, L=0,2) и V_{ПАК};

для рифея: СВА₂ (F=70, L=0,2), СВА₃ (F=60, L=0,1), СВА₅ (F=40, L=0,2).

Разница сертифицированных СВА и V_{ПАК} между типами геологического разреза (Δ) составила для венда $\Delta=(1,8\div 9,0)\sigma$, где σ - среднеквадратическая оценка разброса СВА и V_{ПАК} для одного типа разреза, а для рифея по СВА - $\Delta=(2,1\div 8,3)\sigma$. Соответственно, доверительная вероятность (P) разделения типов геологического разреза по сертифицированным атрибутам составляет P=0,8-0,99, т.е. полученный результат достаточно надежен.

На втором этапе определяются СВА для модельных синтетических СВАН-колонок, которые рассчитываются по данным бурения и ГИС (АК, ГТКп). Кроме этого, **на третьем этапе** определяются СВА по кривым ГИС (АК, ГК).

Применительно к венд-рифейскому интервалу сейсмической записи на региональных сейсмических профилях, КВК синтетических и сейсмических трасс составляет 0,75-0,81; КВК синтетических и сейсмических СВАН-колонок 0,79-0,91; КВК СВА_{мод} и СВА_{гис} со СВА сейсморазведки 0,75-0,89. Разница сертифицированных СВА_{мод}, СВА_{гис} между типами геологического разреза примерно такая же, как и СВА сейсмических. Следовательно, разделение СВА сейсмических по типам геологического разреза венд-рифейских отложений полностью подтверждается результатами СВАН-моделирования и СВАН-ГИС, и на этом основании может считаться надежным.

На четвертом выбираются наиболее информативные СВА, которые подтверждаются по моделированию и по кривым ГИС. Другими словами выбираются те атрибуты, надежность применения которых подтверждена сейсмическим СВАН-моделированием (СВА_{мод}) и ГИС (СВА_{гис}).

На пятом этапе сертифицированные сейсмические СВА и V_{ПАК} определены по всем трассам региональных сейсмических профилей во временном венд-рифейском интервале, сглажены, отредактированы и комплексно проинтерпретированы с

применением кластеризации по алгоритму К-средних по А.В. Петрову и двумерной энтропийной фильтрации в окне «живой» формы.

На шестом этапе проводится построение разрезов и схем типов геологического разреза. Комплексный анализ СВА, $V_{\text{ПАК}}$ базируется на классификации атрибутов с целью выделения однородных областей. Критерием оптимальности комплексной интерпретации сейсмических атрибутов является попадание эталонных точек (скважин) одного типа разреза в соответствующие однородные зоны комплексного атрибута (кластеры).

Типизация вендских терригенных отложений выполнена по данным бурения 27 близкорасположенных скважин с использованием петрофизических параметров и дебитов флюида. Терригенный венд контрастно разделяется на 3 типа разреза, существенно отличающиеся по эталонным признакам – средним параметрам ФЕС, плотности пород-коллекторов и дебиту газа и воды.

Главная отличительная особенность выполненного районирования типов геологического разреза вендских отложений с использованием разработанной методики заключается в прогнозе тех «изменений в разрезах венда, которые используются в практике геологоразведочных работ» (Мельников Н.В., 2009) и являются конкретным обоснованием дальнейших поисково-разведочных работ на лицензионных участках.

Прогноз типов геологического разреза рифейских отложений выполнен с использованием в качестве эталонной информации формационную модель, разработанную Н.К. Фортунатовой и др., 2009, и отражающую непрерывную последовательность изменения параметров рифейских толщ, вскрытых скважинами и «на основе теоретических формационных латеральных рядов карбонатных формаций». По значениям коэффициента карбонатности ($K_{\text{карб}}$) выделено 3 эталонных типа геологического разреза рифейских отложений, соответствующих: I тип - Юрубченской структурно-формационной зоне с $K_{\text{карб}}=0,3\div 0,86$; II тип - Куюмбинской структурно-формационной зоне с $K_{\text{карб}}=0,3\div 0,5$; III тип – Имбинской, Тайгинской, Западно-Непской и Южно-Чуньской структурно-формационным зонам с $K_{\text{карб}}<0,15\div 0,3$. В полосе региональных сейсмических профилей находится 25 глубоких скважин, в районе которых проведена сертификация спектрально-временных и псевдоакустического атрибутов.

Сопоставление прогнозных схем типов геологического разреза вендских терригенных отложений и верхней 200-метровой толщи рифея свидетельствует об инверсном местоположении I и II типов геологического разреза. Другими словами там, где по рифейским отложениям прогнозируется I и II тип, по вендским отложения – III тип (рис.2).

Результаты применения разработанной методики в комплексе с имеющимися региональными представлениями могут быть использованы для построения более детальной региональной геологической модели, а также целесообразного и обоснованного планирования дальнейших поисково-разведочных сейсмических работ и бурения скважин.

Таким образом, проведенные исследования по региональному изучению венд-рифейских отложений с использованием новой методики показали ее высокую эффективность, полученную на стандартном сейсмическом материале, что и является основанием для рекомендации по внедрению этой методики при проведении геологоразведочных работ в Восточной Сибири.

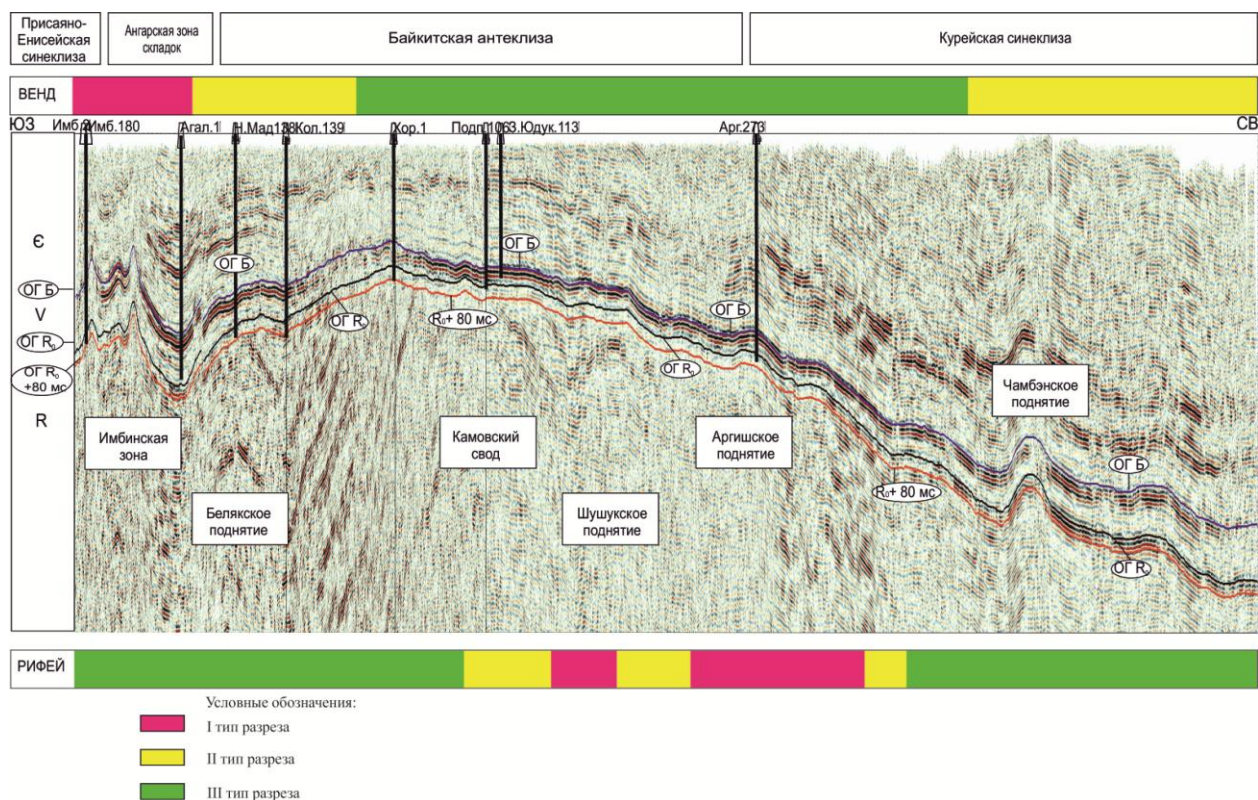


Рис.2. Прогноз типов геологического разреза вендских и рифейских (200м) отложений по региональному профилю «Алтай-Северная Земля» (временной сейсмический разрез ОАО «Енисейгеофизика»)

Глава 3 Методика локального прогнозирования фильтрационных свойств нижнехетских коллекторов

Разработанная методика основана на технологии КССП. Спектрально-временные атрибуты сейсморазведки 2D, синтетических сейсмических трасс, являющихся результатом сейсмического моделирования, а также кривых ГИС названы, соответственно, сейсмическими модельными и скважинными СВА. Спектрально-временные атрибуты СВАН-колонок трасс сейсмического куба названы

объемными спектрально-временными сейсмическими атрибутами – ОССА, которые аналогичны СВА, только в трехмерном пространстве. В диссертации приведены математические выражения ОССА в виде двойных интегралов и расчетные алгоритмы. Блок-схема разработанной методики представлена на рис.3.



Рис.3. Блок схема методики определения коэффициента проницаемости коллекторов

На первом этапе определяется жесткостная модель целевого интервала разреза по данным АК, ГГКп и лабораторным исследованиям керна, проводится сейсмическое и СВАН-моделирование с расчетом синтетических сейсмических трасс по эталонным скважинам. Синтетические и экспериментальные сейсмические трассы в районе скважин взаимно коррелируются с определением КВК и таким образом выясняется степень сейсмического отображения реальных геологических моделей. При $KVK > 0,7$ в целом можно считать, что исходный временной куб вполне пригоден для дальнейшей интерпретационной обработки.

Этап первый предусматривает выбор параметров и определение модельных (СВАмод) и скважинных атрибутов, т.е. непосредственно по отфильтрованным кривым ГИС (СВАгис), с целью установления факта наличия корреляционной связи сейсмических модельных СВАмод и СВАгис - естественного аналога сейсмической записи - кривых ГИС – с проницаемостью ($K_{пр}$).

Параметры проведения СВАН и расчета СВА и ОССА энергетических частотного и временного спектров СВАН-колонки, такие же, как и при типизации разреза: временной интервал СВАН(Δt), начальная низкая частота (f_n) и меньшее время спектров (t_n), конечные (высокая и большее) частота и время (f_k и t_k), ширина фильтра (F), количество фильтров(n), величина отсечки нестабильных меньших значений спектральной плотности в % от максимума (Level).

По максимальным КВК этих трех совокупностей спектрально-временных атрибутов (СВАмод, СВАгис, ОССА) выбирают сертифицированные ОССА.

Оптимальным был выбран временной интервал $\Delta t = +40$ мс вниз от ОГ кровли Нх-III-IV и сертифицированы ОССА₁(40;0,1), ОССА₃(50;0,1), ОССА₄(70;0,2). Сертифицированные ОССА взаимно коррелируются с Кпр, после чего проводится анализ результатов с окончательной сертификацией ОССА по наибольшим КВК.

Эталонные Кпр – обучающая информация более высокого класса, с которыми коррелировались ОССА - получены на основе усовершенствованной методики определения Кпр по результатам скважинных исследований – гидравлических единиц потока (HFU) (Яценко В.М., 2008).

На этапе втором устанавливаются регрессионные зависимости и оцениваются КВК СВАмод и СВАгис с ОССА, которые составили соответственно 0,78 и 0,88. Сертифицированные ОССА определяются по всем трассам временного куба (3D) и сглаживаются, после чего снова коррелируются с Кпр и установлением КВК, поскольку сглаживание атрибутов может повлиять на КВК в эталонных точках (скважин).

На третьем этапе проводится выбором архитектуры искусственных нейронных сетей (ИНС).

На четвертом этапе по рассчитанным сертифицированным ОССА проводится комплексная интерпретация с использованием ИНС. Вполне приемлемый КВК сертифицированных атрибутов и Кпр, равный 0,87 получен при архитектуре ИНС: число слоев 2, нейронов 17 и 11; число итераций 5000. При этом КВК тестирования составил 0,79.

В целом новые данные о распределении Кпр (рис. 4) в трехмерном пространстве заключаются в том, что повышенные значения Кпр преимущественно сосредоточены на склонах Ванкорского поднятия, что хорошо согласуется с условиями осадконакопления, тектоникой и соответственно образованием коллекторов (Каледа Г.А., 1985; Конторович В.А. и др., 2011).

На пятом этапе анализируются полученные результаты, которые свидетельствуют об успешной реализации принципиальной возможности

прогнозирования проницаемости коллекторов по данным сейсморазведки с применением разработанной методики.

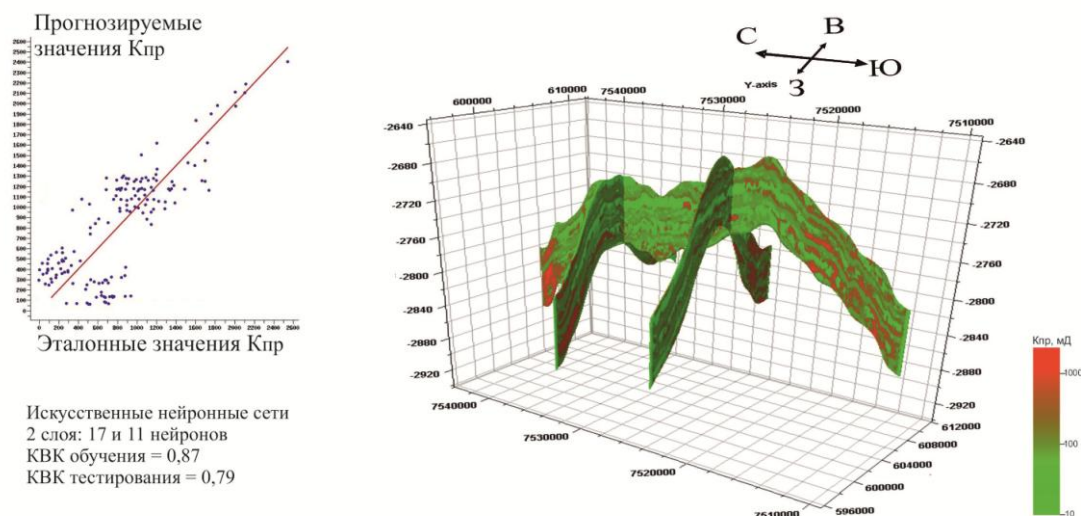


Рис.4. Вертикальные сечения куба коэффициента проницаемости ($K_{пр}$) нижнехетских пластов Нх-III-IV и график обучения нейронной сети

Глава 4 Геологическое обоснование полученных результатов.

Геологическое обоснование полученных результатов по региональному прогнозированию типов геологического разреза венд-рифейских отложений и детальному, объёмному определению проницаемости нижнехетских коллекторов выполнено с использованием имеющихся геологических моделей и детальных исследований по составу и условиям образования целевых комплексов пород.

Основные результаты выполненных в диссертации исследований приведены на разрезах по 5-ти региональным профилям и двух схемах типов геологического разреза терригенных вендских и верхней части (200м) карбонатных рифейских отложений.

Нефтегазоперспективный I тип геологического разреза венда прогнозируется на юго - западе профиля «Алтай - Северная Земля» в пределах Ангарской складчатой и Имбинской зон; а также на востоке профиля «Батолит» на территории Непско-Ботуобинской антеклизы и склонах Камовского блока. II тип геологического разреза терригенных вендских отложений развит в пределах Беляжского и Чамбэнского поднятий Байкитской антеклизы на профиле «Алтай - Северная Земля»; на Чадобецком поднятии и северо-востоке в Присяяно-Енисейской синеклизе на профиле «скв. Мадринская 156 – пос. Кежма»; на восточной части профиля «Батолит»

в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы и на пересечении профилей «скв. Светлая 1 – скв. Хошонская 256», «Алтай - Северная Земля» в Ангаро-Котуйском грабен-рифте.

Зоны развития I и II типов геологического разреза терригенных вендских отложений образуют подобие полукольца в ареалах гранитизации фундамента, в зонах отсутствия рифейских отложений и непосредственного контакта с вендским осадочным комплексом. Объясняется это региональным размывом фундамента, при котором основным поставщиком кластического материала для пород-коллекторов являлись изверженные породы, главным образом, гранитоиды. На склонах выступов фундамента формируются делювиально-аллювиальные, дельтовые и русловые песчаные отложения большой мощности, формирующие ловушки для скоплений УВ (Ларкин В.Н., 2011).

Сопоставление схемы типов геологического разреза терригенных вендских отложений со схемой распространения пород-коллекторов нижневендского терригенного комплекса юга Сибирской платформы, построенной Л.С. Маргулисом и др., 2009г. свидетельствует о практическом совпадении трех из четырех зон. Прогнозируемые I и II типы геологического разреза совпадают с областями развития нижневендских песчаников с благоприятными коллекторскими свойствами и мозаичным распространением песчаников.

Нефтегазоперспективные I и II типы геологического разреза верхней части рифейских отложений (200м) прогнозируются на северо-востоке профиля «Алтай - Северная Земля» в пределах Камовского свода – Шушукского и Аргишского поднятий; Присаяно-Енисейской синеклизы на профиле «скв. Мадринская 156 – пос. Кежда»; Шушукского и Камовского блоков Байкитской антеклизы и Катангской седловины на профиле «Батолит»; восточной части профиля «скв. Лебяжинская 2 – скв. Чуньская 120», в пределах Ванаварского залива Курейской синеклизы.

В плане I и II типы геологического разреза верхней части (200м) рифейских отложений образуют крупную зону размером около 53000 кв. км в центре площади на пересечении 3 региональных профилей в районе скв. Аргишская 273.

Распределение I и II типов геологического разреза верхней части рифейских отложений сопоставлено с последними новыми результатами исследований 2011г., выполненных В.И. Вальчаком и др., по выявлению особенностей геологического строения и перспектив нефтегазоносности рифейского комплекса пород юго-западной части Сибирской платформы. На карте структурно-вещественного районирования рифейского комплекса центральная зона развития I и II типов геологического разреза соответствует, в основном, второй по приоритетности Чуньско-Таймуринской

зоне (V), в малой степени первой по приоритетности Каменско-Юрубченско-Огневской зоне (III) и третьей по приоритетности Учаминской зоне (VI).

Нефтегазоперспективная центральная зона развития I и II типов геологического разреза рифейских отложений может представлять собой новое месторождение ЮТЗ Куюмбинского типа.

Отличительные особенности формирования Ванкорского месторождения и влияние латеральной фациальной изменчивости целевых отложений на ФЕС коллекторов подробно изложено в работах 2007-2011гг. С.А. Измайлова, В.А. Кринина, 2007; П.В. Ставинского и др., 2009; З.Ф. Пономаренко, И.В. Давыдовой и А.А. Конторовича, 2011.

Формирование песчаных тел – коллекторов продуктивных пластов Nх-III-IV нижнехетского продуктивного горизонта проходило в мелководной части морского бассейна с широким развитием барьерных островов. Пласт Nх-III-IV представляет собой сложный баровый комплекс, сформированный при неоднократных и незначительных колебаниях уровня моря в условиях прерывистого развития трансгрессий и регрессий.

Для этих отложений характерна значительная изменчивость по площади, обусловленная фациальным замещением русловых отложений пойменными. В северной части месторождения преимущественно вскрыты осадки фаций морских заливов, открытого моря, гребней штормовых волн, присутствие фаций барьерных островов проблематично, хотя и не исключено.

Таким образом, отличительные особенности геологического строения нижнехетских отложений Ванкорского месторождения, установленные различными авторами в 2007-2011гг., свидетельствуют о генетически обоснованном вертикальном и горизонтальном изменении физических свойств коллекторов мелководно-морского происхождения. Параметры ФЕС уменьшаются к своду структуры и увеличиваются на крыльях (П.В. Ставинский, 2009), особенно в юго-восточном и восточном направлениях. Такое распределение ФЕС, в целом соответствует основополагающим выводам Г.А. Каледы, 1985 для геологических сред с подобной историей формирования.

Анализ распределения коэффициента проницаемости нижнехетских коллекторов в трехмерном пространстве (кубе), полученного с использованием разработанной для этого методики (глава 3), позволяет сделать вывод о полном соответствии изменения фильтрационных свойств коллекторов в кубе изложенным выше результатам геологических исследований. На вертикальных и горизонтальных сечениях куба коэффициента проницаемости выделяются зоны, характеризующиеся повышенными значениями коэффициента проницаемости, в том числе и на своде поднятия, в

пределах контура нефтегазоносности, которые должны учитываться при размещении эксплуатационных скважин, как вертикальных, так и горизонтальных (наклонных).

Заключение

Основные результаты диссертационных исследований заключаются в следующем:

1. Разработана методика регионального прогнозирования типов геологического разреза венд-рифейских отложений юго-запада Сибирской платформы.

Результаты прогнозирования типов геологического разреза венд-рифейских отложений по пяти региональным профилям общим объёмом 6668 пог км, характеризуются достаточной надёжностью на основе сейсмического СВАН и ГИС моделирования с достоверной вероятностью разделения типов разреза по спектрально-временным атрибутам 0,8 – 0,95.

2. Разработана методика локального прогнозирования фильтрационных свойств нижнехетских коллекторов Большехетского вала на примере Ванкорского месторождения.

В результате применения новой методики впервые получено трехмерное распределение коэффициента проницаемости пластов Нх-III-IV, которое подтверждено данными последующего бурения 17-ти скважин с точностью примерно в 1,5-2 раза лучшей, чем по геологической модели, построенной с интерполяцией скважинных фильтрационных параметров.

Получена новая геологическая информация о распространении коэффициента проницаемости в трехмерном (куб) и двухмерном пространстве (карта, горизонтальные сечения) с выделением зон с улучшенными фильтрационными свойствами коллекторов.

3. Закартированные типы геологического разреза венд-рифейских отложений, а также куб и карта коэффициента проницаемости нижнехетских коллекторов представляют собой новую научную и прикладную информацию, которая может быть использована для постановки поисковых сейсморазведочных работ и бурения, прежде всего, в центральной части с целью открытия нового крупного месторождения УВ Куюмбинского типа.

4. Полученные результаты позволяют рекомендовать разработанные методики к широкому производственному внедрению, а также выполнению на их основе поисковых сейсморазведочных работ МОГТ 2D и бурения на выявленных зонах наиболее нефтегазоперспективных типов геологического разреза венд-рифейских отложений.

На Ванкорском месторождении куб и карта коэффициента проницаемости нижнехетских коллекторов могут быть использованы для расположения эксплуатационных скважин, как вертикальных, так и наклонных и горизонтальных, что принесет значительный экономический эффект.

Список опубликованных работ по теме диссертации:

Издания из перечня ВАК:

1. Ставинский П.В., Сулова Н.Д., Яценко В.М. Новые данные о проницаемости нижнехетских коллекторов Ванкорского месторождения. - Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть», №4, 2008. – с.19-23
2. Копилевич Е.А., Сулова Н.Д. Методика прогнозирования фильтрационных свойств коллекторов по данным сейсморазведки (на примере Ванкорского месторождения). – Геофизика, №1, 2012 – с.20-26

Другие издания:

3. Сулова Н.Д. Новый способ прогнозирования гидропроводности коллекторов в межскважинном пространстве. - XV Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов - 2008», МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, апрель 2008.
4. Сулова Н.Д. Спектрально–временное прогнозирование ФЕС (коэффициента проницаемости) коллекторов в межскважинное пространство на примере одного из месторождений Западной Сибири. Международная научная конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов - 2009», МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, апрель 2009.
5. Сулова Н.Д. Комплексное спектрально-временное прогнозирование ФЕС коллекторов на примере одно из месторождений Западной Сибири. - Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Молодые в геологии нефти и газа», ФГУП «ВНИГНИ», Москва, февраль 2010.
6. Сулова Н.Д. Прогнозирование фильтрационно-емкостных свойств нижнехетских коллекторов на примере одного из месторождений Западной Сибири. - I Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Геология в развивающемся мире» с элементами молодежной научной школы, ПГУ, Пермь, апрель 2010.
7. Сулова Н.Д. Прогнозирование фильтрационно-емкостных свойств коллекторов с использованием инновационной технологии КССП на примере одного из месторождений Западной Сибири - III Международная научно-исследовательская

конференция молодых ученых «Перспективы развития нефтегазовой отрасли», Ялта, декабрь 2010.

8. Сулова Н.Д. Прогнозирование типов геологического разреза вендских отложений Восточной Сибири с использованием инновационной технологии комплексного спектрально-скоростного прогнозирования (КССП). - Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Молодые в геологии нефти и газа», ФГУП «ВНИГНИ», Москва, март 2011.

9. Сулова Н.Д. Прогнозирование коллекторских свойств продуктивных отложений на основе инновационной сейсмической технологии. - 1 Российский нефтяной конгресс, Москва, март 2011.

10. Сулова Н.Д. Прогнозирование типов геологического разреза вендских отложений с использованием инновационной технологии комплексного спектрально-скоростного прогнозирования (КССП) на территории Восточной Сибири – X Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле», РГГРУ, Москва, апрель 2011.

11. Сулова Н.Д. Прогнозирование типов геологического разреза и проницаемости на территории Восточной и Западной Сибири. - I Международная научно-практическая конференция для геологов и геофизиков «Сочи–2011». Проблемы геологии и геофизики нефтегазовых бассейнов и резервуаров, Сочи, май 2011.

12. Сулова Н.Д., Копилевич Е.А., Ларкин В.Н., Афанасьев М.Л. Прогнозирование нефтегазоперспективных зон отложений венда и рифея в Восточной Сибири на основе инновационной геофизической технологии. - II Международный форум Нефть и газ Восточной Сибири, Москва, ноябрь 2011.