

**Отзыв официального оппонента
на диссертационную работу
Буторина Александра Васильевича
“ ИЗУЧЕНИЕ ДЕТАЛЬНОГО СТРОЕНИЯ АЧИМОВСКОГО
НЕФТЕГАЗОНОСНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ
ДЕКОМПОЗИЦИИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЛНОВОГО ПОЛЯ”,**

представленную по специальности 25.00.10 "Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых" на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и имеет 141 страницу текста, включает 69 рисунков и 8 таблиц. Библиография составляет 47 источников.

Ачимовский нефтегазоносный комплекс наряду с нижнесреднеюрскими отложениями, баженовской свитой и доюрским комплексом являются основными объектами прироста активных запасов углеводородов в Западной Сибири. Эффективность изучения ачимовского комплекса с целью его доразведки и разработки в значительной степени определяется возможностями получения необходимой информации из данных сейсморазведки как при отсутствии скважинной информации, так и при наличии глубоких скважин, которые только на этапе разбуривания по эксплуатационной сетке могут дать обеспечить удовлетворительную по детальности модель фациальной изменчивости и гидродинамической связности продуктивных пластов. В настоящее время доминирование горизонтальных стволов существенно уменьшает количество надежной геолого-геофизической информации, получаемой от эксплуатационных скважин, одновременно увеличивая требования к разрешенности и детальности сейсмогеологической модели. Таким образом, максимальное извлечение информации из сейсмического волнового поля является первостепенной задачей для ачимовского НГК, что делает тему диссертации крайне актуальной.

Интерпретация сейсмических данных является областью научно-практической деятельности, от результатов которой критическим образом зависит успех высокорискованных инвестиций от нескольких миллионов до миллиардов евро, что создает колоссальное давление на исследователей, намеревающихся объективно подойти к анализу новых подходов и методик интерпретации. Проблема обостряется тем обстоятельством, что основной научный эксперимент, необходимый для проверки новых технологий интерпретации бурением поисково-разведочных и эксплуатационных скважин, длится годы, а результаты его зачастую авторам подходов либо недоступны, либо доступны в искаженной форме.

Во многих (во всех?) областях прикладных наук последние десятилетия наблюдается отход от классической научной этики в сторону максимально быстрой «продажи» непроверенных результатов. В сейсморазведке этот сдвиг породил немало «технологических пузырей», обогативших их создателей, но в лучшем случае не оправдавших потраченных на них средств заказчиков.

Ситуация усугубляется тем, что технологический бум развития средств интерактивной интерпретации сейсмических данных совпал с эпохой научного геноцида в России. Отечественной школы интерпретации и анализа сейсмических данных не существует. Публикаций, посвященных научному развитию соответствующих технологий, мало, и большинство из них не удовлетворяют критерию научности, представляя, по сути, скрытую рекламу, в которой приводятся в качестве доказательства частные удаchi применения того или иного подхода, но умалчивается о его неудачах и о принципиальных ограничениях применимости, а сравнение с конкурирующими подходами проводится некорректно. Впрочем, последние замечания относятся и к

N 105-10
от 05.06.2018

зарубежным публикациям, хотя в зарубежной литературе достаточно часто публикуются работы критической направленности.

На этом не очень радостном фоне оппонируемая работа смотрится светлым пятном, подкупая своей комплексностью при геолого-геофизическом анализе объекта, которая в определенной степени страхует от ложных выводов. Так, соответствие текстур керна фациальным обстановкам, прогнозируемым по результатам интерпретации сейсмических данных, является сильным подтверждением эвристичности метода. Разнообразие атрибутов, применяемых для количественного описания резервуара также крайне важно и позволяет автору оставаться на позициях объективного исследователя.

Очень добросовестно автор отрабатывает рассматриваемые подходы на математических моделях реальных объектов. Соответствующая глава 3 занимает 24 страницы и, безусловно, украшает диссертационную работу.

В работе присутствует и «профессор долото» в виде подтверждения модели, созданной автором на одном из месторождений 13 горизонтальными скважинами (раздел 5.1.3, рис.65, табл. 8).

Автор обоснованно увлечен технологическим развитием метода спектральной декомпозиции. Тем обиднее историографическое упущение – в работе отсутствуют ссылки на работы И.А.Мушина, который первый в мире еще в 1970-е годы предложил использовать спектрально - временное разложение сейсмических отражений для сеймостратиграфического (сейсмоформационного) анализа и воплотил свои теоретические разработки в эффективно работавшие и работающие на практике компьютерные технологии СВАН-анализа и СФА. Россия (Советский Союз) имеет безусловный приоритет в этом научном направлении и лишь разорвавшая связь времен научное лихолетье 1990х (и то, что И.А.Мушин не уехал из России) ответственно за то, что работы И.А.Мушина не цитируются в том объеме, в котором это должно иметь место.

Задача объективного сравнения новой технологии или методики интерпретации с уже существующими относится, наверное, к самым сложным, поскольку качество получаемых результатов очень сильно зависит от уровня владения применяемой технологией. Не вызывает сомнения, что разработанная автором технология, на высоком научном уровне реализующая метод спектральной декомпозиции и синтезирующая его с RGB смешиванием, а также генерирующая новые атрибуты в виде частотного куба и его производных имеет высокую научно-практическую ценность. Безусловно, представленный подход обеспечивает значительный прирост геологической информации по сравнению со стандартными методами. Однако в дальнейшем хотелось бы продолжить сравнение его результатов с другими подходами углубленной интерпретации (например, с с генерацией объемных сейсмофаций и высокоразрешенных кубов псевдокаротажа, упоминаемой в «Методических рекомендациях по применению сейморазведки 3Д для подсчета запасов», результатами синхронной сейсмической инверсии) для оптимизации выбора технологии, наиболее эффективной в конкретных сейсмогеологических условиях.

Диссертационная работа А.В.Буторина имеет несомненное научное и практическое значение. В ней на основе научных исследований автора, разработки им специализированных алгоритмов значительно усовершенствован метод спектрального анализа отраженных волн. Адаптация новых алгоритмов для решения конкретных геологических задач на этапах поисков, разведки и разработки месторождений ачимовской свиты позволила получить важную новую геологическую информацию, касающуюся детализации литофациальных моделей. Полученные в результате интерпретации сейсмических данных предсказания подтверждены пробуренными эксплуатационными скважинами.

I. Соответствие работы намеченной специальности

В диссертационной работе Буторина А.В. разработаны новые методы углубленной интерпретации сейсмических данных, направленные на уточнение и детализацию геологических моделей, а также получены важные геологические результаты

по детализации литофациальных моделей ачимовской свиты Ноябрьского района. Поэтому работа автора соответствует выбранной специальности.

II. Актуальность проблемы

Эффективная разработка залежей углеводородов ачимовской свиты, минимизация затрат на разбуривание месторождения одновременно с повышением коэффициента извлечения нефти требуют достоверной детальной информации о строении и свойствах слагающих залежи продуктивных пластов. Спектральный анализ является одним из наиболее перспективных методов получения требуемой информации, а RGB смешивание эффективным подходом к одновременной визуализации спектральных атрибутов.

Диссертация посвящена развитию и синтезированию этих методов применительно к наиболее сложным и перспективным для интерпретации объектам. Её актуальность подчеркивается тем, что в условиях разбуривания залежей горизонтальными стволами роль и требования к результатам интерпретации сейсморазведочных данных существенно возрастают. Полученные геологические результаты весьма актуальны для планирования стратегии разведки и разработки исследованных месторождений и Ноябрьского региона в целом.

III. Научная новизна работы

Научную новизну работы, по мнению оппонента, обеспечивают разработанные автором новые подходы к спектральному анализу сейсмических данных, включающие разработку методики расчета цифровых RGB-массивов и алгоритм получения спектральной кривой. Новыми являются полученные с использованием авторских подходов важные геологические данные о локализации наиболее перспективных площадей развития ачимовского комплекса в Ноябрьском регионе, а также прогноз эффективных толщин коллектора на конкретном месторождении.

IV. Практическая значимость работы

Адаптированные и разработанные автором диссертации алгоритмы и подходы апробированы на 13 месторождениях и широко внедрены в схему проведения работ ПАО "Газпром нефть" по конкретным объектам. Предлагаемые разработки в области анализа спектральных данных включены в технологическую стратегию развития Компании ПАО «Газпром нефть».

V. Краткое содержание диссертации

Во введении дано обоснование актуальности постановки научных исследований по теме диссертации, кратко освещена история развития спектрального анализа сейсмических данных (из которой, как отмечалось выше, досадным образом выпали важнейшие для рассматриваемого направления работы И.А.Мушина), приведен краткий реферат выполненной работы.

Первая глава посвящена геологическому обзору, включающему как концептуальную модель строения ачимовской толщи, так и описание строения ачимовской толщи на изучаемом месторождении и ее сейсмогеологическую характеристику.

Комплексный подход к изучению проблемы, включающий региональную геологию, анализ обстановок осадконакопления по данным керн пробуренных на месторождении скважин, разработку инновационных методик интерпретации сейсмических данных и их применение на конкретных материалах, безусловно, заслуживает всяческого одобрения. Недостатком, являющимся продолжением этого достоинства работы, являются неточности в проработке ряда вопросов, являющихся второстепенными с точки зрения основных защищаемых положений.

Так, трудно согласиться с утверждением автора о том, что в 2018 года «нет единого мнения о причинах и условиях формирования самих клиноформных структур пластов».

Интерпретация фотографий керна с использованием последовательности Боума по мнению оппонента местами имеет натянутый характер.

Иллюстрирующие привязку данных ГИС и сейсморазведки рис.10-12 не очень наглядны (нет формы импульса) и содержат (рис.10.12) ошибки в данных ГИС (аномально низкие значения времени пробега по данным АК).

Использование термина палеогеографический анализ для работы с неизохронными в геологическом времени поверхностями также требует комментариев.

Скважина №3 на рис.14 попадает в аналог абиссальной зоны, в то время как по всем другим данным она приурочена к краевой зоне конуса выноса. Вообще, отнесение зоны осадконакопления к абиссали (то есть осадкам, накапливающимся на дне моря глубже 2000 м) вряд ли правомерно, по крайней мере, для зон, примыкающих к кромке шельфа.

Однако эти замечания носят частный характер, не влияют на основное содержание работы, посвященной новым подходам к интерпретации сейсмических данных, и не подвергают сомнению выводы о соответствии автора требованиям, предъявляемым к соискателю ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Неудивительна иллюстрируемая автором на рис.17 низкая геологическая информативность сейсмической инверсии, однако оппонент считает, что на карте распределения амплитуд вдоль рефлектора (рис.16) основные тела – конусы выноса, каналы, все-таки видны неплохо. Жаль только, что вдоль какого рефлектора построена карта, увидеть невозможно – разрез в список иллюстраций не попал. С основными выводами главы о необходимости детализации модели ачимовской свиты по сейсмическим данным и применения для этого нестандартных подходов оппонент полностью согласен.

Вторая глава посвящена теории спектральной декомпозиции волнового поля с применением преобразования Фурье, преобразования Гэбора и вейвлет-преобразования. Обосновывается в качестве наиболее эффективного средства спектрального разложения выбор непрерывного вейвлет-преобразования с использованием импульса Риккера. Для визуализации результатов предложено использовать алгоритм цветового комбинирования RGB. На вход алгоритма подается три различные амплитудно-частотных характеристики, которые могут быть представлены вертикальными, горизонтальными или структурными срезами амплитудных кубов частотных гармоник. В рамках алгоритма каждому срезу присваивается свой цвето-код красного (R), зеленого (G) или синего (B) цвета. При этом интенсивность цвета зависит от значения амплитуды. Отсутствие амплитуды гармоники характеризуется черным цветом, а ее максимальное значение – наибольшей насыщенностью. В результате образуются три цветовых канала, описывающих поведение амплитуд трех заданных гармоник. Далее в рамках алгоритма производится объединение цветовых каналов, таким образом, что выходной срез в каждой точке характеризуется тремя значениями амплитуды, каждому из которых соответствует свой цветовой канал. Цвет полученного на выходе дискрета массива определяется в рамках трехмерного цветового куба, который описывает все цвета путем комбинации красного, зеленого и синего цветового канала.

Отмечается, что не все используемые на практике геофизические пакеты способны отобразить получаемую палитру в полной мере.

Третья глава посвящена исследованию особенностей непрерывного вейвлет-преобразования на модельных данных.

Эта глава является, по нашему мнению, украшением диссертационной работы и нечасто встречающимся в настоящее время примером добросовестного научного подхода к анализируемой проблеме.

Для изучения возможностей интерпретации результатов непрерывного вейвлет преобразования и последующего цветового комбинирования выполнено построение трехмерной модели выклинивающегося пласта с переменной акустической жесткостью. Модель построена таким образом, что в одном направлении происходит изменение мощности клина, а в перпендикулярном ему направлении изменяется его акустическая жесткость, при этом импеданс вмещающей среды выше и ниже клина остается постоянным.

Здесь возникает сомнение в соответствии теоретической модели реальному строению пласта, проиллюстрированному на каротажных данных в гл.1 (рис.10-12), где объект исследования состоит из двух отдельных пластов, мощность которых, мощность перемычки между ними и, вероятно их ФЕС (по приведенным автором данным об изменении ФЕС судить нет возможности) претерпевают значительные изменения от скважины к скважине. К сожалению, автор не обосновывает возможность использования столь сильно упрощенной теоретической модели (на адекватной двухпластовой теоретической модели вряд ли удалось бы выполнить анализ с наглядными результатами из-за избыточного количества параметров модели). В то же время, поскольку реальные пласты расположены достаточно близко друг к другу, исключение из теоретической модели перемычки между ними не должно приводить к существенному искажению выводов, получаемых на моделях.

Очень важным результатом, наглядно обоснованным выполненным моделированием, является возможность получения существенной и достоверной информации о геологическом строении и ФЕС (связанных с акустической жесткостью) пластов, мощность которых существенно меньше четверти длины волны, которая по-прежнему многими специалистами ошибочно рассматривается как фундаментальное ограничения разрешающей способности сейсморазведки. Так, на Рис. 34 мы видим, что методами спектрального анализа в идеальном случае можно оценивать мощность пласта в 4-8 м.

С основным выводом главы о том, что метод спектральной декомпозиции позволяет решать не только задачу пространственной локализации интерферирующих объектов, но и создает предпосылки для использования спектральных характеристик с целью прогнозирования эффективной толщины по доминантному значению гармоник, оппонент согласен.

Четвертая глава работы посвящена практическому применению метода спектральной декомпозиции на реальных материалах.

В данной главе рассмотрены основные подходы к использованию спектральных характеристик на примере реальных сейсмических данных на нефтяном месторождении Ноябрьского района, геологическое описание ачимовской свиты которого представлено в Главе 1 рассматриваемой работы. На конкретных данных обосновывается выбор оптимальных параметров спектрального разложения (непрерывное вейвлет-преобразование, импульс Риккера).

Рассмотрены технологии качественной и количественной оценки объектов ачимовской свиты по результатам спектральной декомпозиции. В ходе анализа эффективности применения спектральных характеристик разработан новый метод представления спектральных данных, который заключается в получении частотного псевдо-куба по анализируемому отражению, который автор назвал атрибутом «спектральная кривая».

Сравнение стандартного и спектрального подходов для визуализации седиментационных тел показывает существенную большую детальность и контрастность тел, выделяемых при спектральном подходе (рис. 42). Вместе с тем сравнение с другими нестандартными подходами (объемной классификацией сейсмофаций, вероятностным прогнозом коллекторов по данным синхронной инверсии, генерации кубов псевдокаротажа) является актуальной задачей для дальнейшего развития рассматриваемой научной тематики.

Надо отметить выполненную в главе глубокую методическую проработку вопроса, позволившую автору сформулировать методические рекомендации, позволяющие наиболее оптимальным образом подобрать частотные гармоники в рамках алгоритма RGB (с. 95).

С помощью линеаризации карт цветового комбинирования автор разработал методику, обеспечивающую загрузку получаемого цветового ряда в большинство современных геолого-геофизических пакетов, что обеспечивает возможность эффективного внедрения подхода в практику работы специалистов – интерпретаторов.

Рассмотрены вопросы объемной визуализации геологических тел и построения карт Кохонена по частотному кубу (оппонент считает карты Кохонена не самым эффективным средством кластерного анализа геофизических данных, но полноту рассматриваемых подходов следует расценить как положительную черту рассматриваемой работы).

В разделе количественной оценки спектральных характеристик показано, что первая главная компонента частотного псевдо-куба с эффективными толщинами оказывается наивысшей из рассмотренных методов и достигает удивительно высокого значения 0.9 (рис. 59), что на наш взгляд является яркой иллюстрацией информативности спектрального метода при использовании для его анализа методов многопараметрического анализа. Именно этот результат целесообразно использовать в первую очередь при планировании разработки месторождения.

Пятая глава работы посвящена анализу геологических объектов ачимовской толщи Ноябрьского региона

1) Для месторождения, изученного с использованием метода спектральной декомпозиции выполнен подбор современных аналогов, а также совместный анализ RGB-карт и каменного материала. При этом оппонент согласен с автором, что полученные в результате спектральной декомпозиции данные хорошо согласуются с фактическим керновым материалом. Успешная апробация выполненных построений бурением горизонтальных скважин выполнена для центральной области месторождения, в пределах которой развивается площадной конус выноса.

По итогам бурения с учетом результатов, описанных в рассматриваемой диссертации, произведено стратегическое планирование дальнейшей разработки продуктивного объекта, направленное на постепенное смещение от разбуренной части в области, не затронутые бурением

2) Региональное картирование перспективных песчаных тел внутри ачимовской толщи в пределах Ноябрьского региона на территории более 180 000 кв.км, которая включает в себя более 20 действующих месторождений ПАО «Газпром нефть». Для формирования базы данных были использованы все имеющиеся сейсмические и скважинные данные – более 20 000 кв.км данных МОГТ 3D, более 1500 профилей МОГТ 2D (как региональной сети профилей, так и детальных съемок), более 1000 поисково-оценочных и разведочных скважин.

На всех месторождениях выполнена интерпретация клиноформных циклов и определены дистальные участки клиноформ, отвечающие ачимовской толще. С привлечением результатов спектральной декомпозиции выполнено картирование аномальных областей, отвечающих песчаным геологическим телам. В качестве результата получен детальный план расположения потенциально продуктивных геологических объектов ачимовской толщи на изучаемых месторождениях Ноябрьского региона. Наличие подобной информации позволяет перейти к оценке ресурсного потенциала и планированию поисково-разведочного бурения.

В заключении диссертации приведены выводы по работе, практически уже затронутые в предшествующих главах. К защищаемым положениям автор отнес следующие выводы

1. Подтверждена связь продуктивных участков ачимовской толщи с развитием локальных турбидитовых систем в относительно глубоководных условиях эпиконтинентального бассейна на основе комплексного изучения геолого-геофизической информации с привлечением спектрального анализа сейсмических данных.

2. Для детального изучения геометрии и внутреннего строения песчаных тел ачимовской толщи является эффективным использование непрерывного вейвлет-преобразования по сигналам Рикера в сочетании с методикой интерпретации "цифрового RGB".

3. При прогнозировании ёмкостных свойств песчаных тел ачимовской толщи обосновано использование локального спектра волнового поля (атрибута "спектральная кривая"), как наиболее информативной характеристики сейсмических данных

С выводами автора оппонент полностью согласен, причем результат прогнозирования эффективной толщины с использованием метода главных компонент по частотному кубу можно отнести к редким по своей убедительности прогнозам.

VI. Замечания

В целом оппонент подтверждает обоснованность подходов, предложенных соискателем. Приведенные в тексте отзыва комментарии, замечания и пожелания не относятся к защищаемым положениям, научной обоснованности, актуальности, научной новизне и практической значимости работы и не влияют на ее общую однозначно положительную оценку.

VII. Выводы

Диссертант выполнил научный цикл исследований, обобщил информацию, получил новые решения для актуальных и практически важных научных задач и продемонстрировал практическое применение полученных им результатов. Прделанную диссертантом работу оправдано рассматривать как завершённый квалификационный научный труд, соответствующий уровню кандидатской диссертации по требованиям ВАК.

Диссертационная работа А.В.Буторина является законченным научным исследованием, направленным на дальнейшее развитие методов геологической интерпретации данных сейсморазведки. Эта работа способствует расширению сферы использования сейсмических данных при решении задач геологии и разработки месторождений нефти и газа.

Основные положения диссертации отражены в опубликованных работах её автора и в автореферате, который полностью соответствует содержанию диссертации. С учетом изложенного считаю, что рассматриваемая диссертационная работа отвечает всем требованиям ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.10, а ее автор, Буторин Александр Васильевич, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени.

Официальный оппонент,
генеральный директор АО «ПАНГЕЯ»
кандидат физико-математических наук,
доцент



Колесов Валентин Валентинович

04.06.2018

11558 Москва у.Молостовых 19-1-325

E-mail kolesov_vv@pfngea.ru

Тел.(сот.) 8 916 687 02 40

Подпись В.В.Колесова заверяю
Ведущий специалист по кадрам АО «Пангея»
04.06.2018 г.

Дедехина О.В.