

Никульников Алексей Юрьевич

**Технология интерпретации результатов вейвлет-преобразования
сейсмической записи**

Специальность 25.00.10

Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва - 2012

Работа выполнена в Российском Государственном Геологоразведочном Университете имени Серго Орджоникидзе.

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических наук
Ермолаева Галина Михайловна

Официальные оппоненты: кандидат геолого-минералогических наук,
Жемчужников Евгений Глебович

доктор технических наук,
Кириллов Сергей Александрович

Ведущая организация ООО «Геофизическое партнерство»

Защита состоится 15 ноября 2012 года в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.121.07 при Российском Государственном Геолого-разведочном университете им. Серго Орджоникидзе по адресу: 117997 Москва ул. Миклухо-Маклая д.23, аудитория 4-73.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГРУ.

Автореферат разослан «15» октября 2012 г.

ный секретарь
диссертационного совета доктор
физико-математических наук



А.Д. Каринский

Актуальность

В настоящее время запасы углеводородов уникальных и крупных месторождений на территории Российской Федерации и стран СНГ выработаны уже более чем на 50 %. В этих условиях все большую роль приобретает освоение небольших залежей с трудно извлекаемыми запасами. Учитывая сложность геологического строения природных резервуаров, недостаточный объем геолого-промысловой информации, ухудшенные фильтрационные и емкостные свойства, требуется применение современных подходов к извлечению дополнительной информации из геофизических данных.

Развитие методики прогноза флюидонасыщенности нефте-газовых месторождений с использованием атрибутивного анализа сейсмических данных и повышение геологической эффективности сейсмических методов являются актуальными задачами геологоразведочных работ. Их решение в значительной степени зависит от совершенствования существующих и создания новых, более надежных математических методов обработки и интерпретации сейсмических данных. Следствием этого является необходимость применения наиболее прогрессивных алгоритмов вейвлет-преобразования сейсмической записи. Существующие методы спектрального разложения, основанные на преобразовании Фурье, вследствие алгоритмических особенностей их выполнения, имеют некоторые ограничения. Поэтому использование алгоритма вейвлет-преобразования является ключевым моментом повышения эффективности и информативности спектрального разложения сейсмического сигнала. Актуальное значение приобретают новые методы интерпретации полученных результатов.

Объекты исследований

Объектами исследований являлись:

- экспериментальная модель песчаного тела, учитывающая структуру реальных тонких песчаных пластов осадочного комплекса;
- данные сейсморазведки 3D ряда площадей Западной Сибири и Латинской Америки.

Цель исследования

Развитие методических и экспериментальных основ прогноза коллекторов по результатам обработки данных вейвлет-преобразования и анализа корреляционных свойств между сейсмическими атрибутами, определяющих предлагаемую технологию интерпретации.

Задачи исследования

1. Анализ существующих алгоритмов вейвлет-преобразования.
2. Разработка технологии интерпретации результатов частотно-временного вейвлет-преобразования сейсмических данных.
3. Интеграция результатов частотно-временного вейвлет-преобразования сейсмических данных в существующие стандартные комплексы интерпретации данных сейсморазведки.
4. Повышение эффективности прогноза коллекторских свойств на основе атрибутного анализа и результатов спектрального разложения с помощью анализа нелинейных зависимостей между сейсмическими атрибутами.

Защищаемые положения

1. Вейвлет-преобразование в сочетании с технологией цветового смешивания (RGB-смешивание) результатов анализа сейсмических данных на разных частотах, позволяет точнее определять пространственное положение тонких пластов и линз по сравнению с исходными амплитудами.

2. Интерпретация результатов вейвлет-преобразования обеспечивает независимую количественную оценку эффективной нефте-газонасыщенной мощности тонких пластов по сейсмическим данным, что немаловажно при изучении сложно построенных природных резервуаров при небольшом количестве скважин.

3. Комплексный анализ корреляционных связей сейсмических атрибутов в сочетании с результатами вейвлет-преобразования повышает эффективность и надежность геологической интерпретации сейсморазведки 3D.

Научная новизна

1. Типизация разрезов на основе данных вейвлет-преобразования атрибутов сейсмической записи позволяет решать задачу прогноза газонасыщения в песчаных пластах.

2. Использование результатов вейвлет-преобразования совместно с атрибутивным анализом и технологией цветового смешивания обеспечивает детальное изображение сложных геологических объектов в пространстве.

3. Применение алгоритмов нелинейного регрессионного анализа для поиска зависимостей результатов вейвлет-преобразования и ФЕС коллекторов в скважинах позволяет прогнозировать свойства пластов в межскважинном пространстве.

Методы исследования и фактический материал

В основу работы положены научные результаты многолетних теоретических и экспериментальных разработок ряда исследователей. Практическая реализация алгоритма вейвлет-преобразования и анализа нелинейной регрессии выполнена в рамках программного комплекса Transform.

Выполнено 2D моделирование клиноформного песчаного пласта с целью обоснования эффективности применения вейвлет-преобразования при прогнозе эффективной нефте-газонасыщенной мощности геологических объектов и других ФЕС.

Проведен анализ взаимосвязи сейсмических атрибутов с флюидонасыщенностью резервуаров углеводородов по фактическому материалугеологическому строению нефтегазовых месторождений различного строения.

Для анализа корреляционных связей между атрибутами применен алгоритм нелинейного регрессионного анализа.

Практическая значимость результатов

1. Выполнена оценка эффективности алгоритмов спектрального разложения и обоснование использования вейвлет-преобразования, в частности использованного алгоритма и программного обеспечения на его основе.

2. Разработаны методические основы использования вейвлет-преобразования в технологии интерпретации сейсмических данных с целью прогноза коллекторских свойств продуктивного пласта.

3. Обоснованы новые возможности и эффективность прогноза коллекторских свойств залежей нефти и газа, существенно повышающие точность интерпретации данных сейсморазведки.

4. Выполнено внедрение методики вейвлет-преобразования в существующую технологию интерпретации данных сейсморазведки.

Реализация работы в производстве

Результаты проведенной работы по прогнозу фильтрационно-емкостных свойств получены в сейсмогеологических условиях северо-востока Западной Сибири и Латинской Америки. Апробация работы проводилась на материалах сейсморазведки МОВ ОГТ 3D по трем лицензионным участкам. Объектами исследований являлись газонасыщенные отложения сеноманского и туронского комплексов, а так же отложений верхнего карбона. Автор доказывает, что предложенный алгоритм анализа результатов вейвлет-преобразования и сейсмических атрибутов позволяет в значительной степени повысить

детализацию исследуемых объектов по сравнению со стандартной интерпретацией.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения общим объемом 105 страниц, включая 39 рисунков и список литературы.

Личный вклад автора

Лично автором диссертации был проведен основной объем исследований. Проанализировано большое количество публикаций как зарубежных, так и отечественных исследователей, посвященных спектральному анализу сейсмической записи, сформулированы основные защищаемые положения диссертации, составляющие ее научную новизну и ценность. Автором разработана оригинальная методика интерпретации результатов вейвлет-преобразования. При анализе полученных результатов были применены современные методы регрессионного анализа. Проведенная интерпретация сейсмических данных по авторской методике показала хорошие результаты.

Благодарности

Автор выражает благодарность научному руководителю, доценту кафедры геофизики, кандидату геолого-минералогических наук Ермолаевой Галине Михайловне за помощь на всех стадиях выполнения работы, профессору, доктору физико-математических наук Никитину Алексею Алексеевичу, сделавшего ценные замечания по диссертации.

Автор благодарит коллектив ООО «Геофизические Системы Данных» за интересные идеи, советы и поддержку при написании диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.

Современное состояние запасов и темпов освоения месторождений углеводородов обуславливает необходимость существенного повышения разрешенности и точности методов сейсморазведки для изучения продуктивных пластов мелких залежей и доизучения старых площадей, что достигается с помощью динамической обработки данных сейсморазведки 3D. В настоящее время именно динамическая обработка является ведущим направлением

развития новых методов и алгоритмов камеральных сейсморазведочных исследований.

Прогноз коллекторских свойств на основе оптимизированного комплекса сейсмических атрибутов является современной важной темой исследований. Задача оптимизации сейсмических атрибутов стоит в том, чтобы обосновать выбор некоторого количества, желательно физически осмысленных и связанных с коллекторскими свойствами, атрибутов сейсмической записи. Развитие методики прогноза флюидонасыщенности при поиске и разведке, а также эксплуатации нефте-газовых месторождений с использованием атрибутного анализа и повышение его геологической эффективности являются актуальными задачами. Существуют многие подходы к прогнозу коллекторских свойств с помощью атрибутного анализа. Количество вовлеченных в анализ атрибутов сейсмической записи достигло двух сотен. Одновременно повышаются плотность сейсмической съемки, количество скважин с прямыми определениями коллекторских свойств, требования к качеству прогноза при все более возрастающей сложности геологических условий нефте-газовых месторождений, где используется атрибутный анализ. В настоящее время, несмотря на широкое применение атрибутного анализа для прогноза коллекторских свойств, качество прогноза невысоко. В то же время, этот способ представляется наиболее перспективным. Ряд проблем, связанных с повышением качества прогноза требует максимально быстрого разрешения. Разработанные в последние годы технологии вейвлет-преобразования позволяют изучать спектральные характеристики сейсмической записи, сохраняя при этом детальную привязку исследуемых объектов во времени. Такие технологии успешно применяются ведущими геофизическими компаниями для выделения песчаных линз и каналов.

Основным достоинством спектрального разложения на основе вейвлет-преобразования является то, что оно позволяет интерпретатору выявить в сейсмическом волновом поле хорошо известные из теории эффекты зависимости пиковой частоты сейсмического сигнала от временной мощности тонкого пласта

и контролировать таким образом поведение тонких пластов-коллекторов мощностью менее $\frac{1}{4}$ длины сейсмической волны. Так же, важным свойством вейвлет-преобразования является возможность выделять амплитудные эффекты сейсмической записи с частотой.

1. Алгоритмы вейвлет-преобразования.

Вейвлеты представляют собой особые функции в виде коротких волн с нулевым интегральным значением и с локализацией по оси независимой переменной (t или x), способных к сдвигу по этой оси и масштабированию (растяжению/сжатию). Любой из наиболее часто используемых типов вейвлетов порождает полную ортогональную систему функций. В случае вейвлет-анализа (декомпозиции) сигнала в связи с изменением масштаба вейвлеты способны выявить различие в характеристиках процесса на различных шкалах, а посредством сдвига можно проанализировать свойства процесса в различных точках на всем исследуемом интервале.

Грубую классификацию алгоритмов вейвлет-анализа можно сделать, выделив непрерывное (CWT — ContinuousWaveletTransform) и дискретное (DWT — DiscreteWaveletTransform) вейвлет-преобразования. Получить набор вейвлет-коэффициентов в случае дискретного преобразования быстрее, и оно дает достаточно точное представление о сигнале при меньшем объеме получаемых в результате данных. Непрерывное преобразование требует больших вычислительных затрат, но, вместе с этим, позволяет детальнее рассмотреть структуру сигнала. Вследствие бурного развития вычислительной техники большое количество вычислений при выполнении математических алгоритмов не является серьезным недостатком. Поэтому при выборе алгоритмов спектрального анализа нестационарных сигналов (в первую очередь сейсмической записи), исходят из их эффективности. Основное отличие вейвлет-преобразования от преобразования Фурье заключается в том, что оно обеспечивает двумерную развертку одномерного сигнала. При этом частота и

координата (время) рассматриваются как независимые переменные, что дает возможность анализа сигналов сразу в двух пространствах.

Исходя из выше сказанного, наиболее подходящим алгоритмом для спектрального разложения сейсмической записи является CWT. Как правило, частотный состав сигнала крайне неоднороден по времени. Соответственно, низкочастотный анализ сигнала должен производиться на больших интервалах, а высокочастотный – на малых. Для этого применяется частотно-временная модификация вейвлет-преобразования (TFCWT), которая достигается применением частотно-временного оконного преобразования Фурье:

$$\hat{f}(\omega, \tau) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} F_W(\sigma, \tau) \hat{\psi}(\sigma \omega) e^{-i\omega\tau} \frac{d\sigma}{\sigma^{3/2}}.$$

Данная операция позволяет получить семейства частотных спектров, локализованных во времени, но в пределах постоянной ширины окна, а, следовательно, также с постоянным значением и частотного, и временного разрешения.

Исходными данными для последующего анализа результатов вейвлет-анализа являются частотно-временные амплитудные спектры. На рис. 1. приведен пример спектралсейсмической трассы.

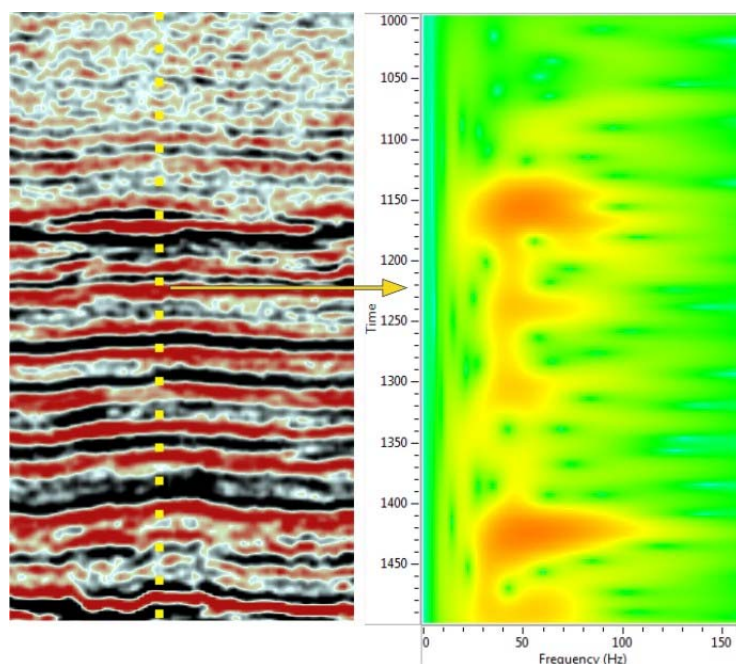


Рис. 1. Пример частотно-временного амплитудного спектра сейсмической трассы.

2. Анализ и интерпретация результатов вейвлет-преобразования.

Обычно сейсмические данные имеют ширину спектра порядка 60-80 Гц. Таким образом, сейсмическая запись содержит энергию отраженных волн большого диапазона частот. При определенных условиях, особенно при сложном стратиграфическом строении и малоамплитудных разрывных нарушениях, полезно иметь представление об амплитуде сигнала на конкретных частотах. Эти амплитуды напрямую связаны с распределением физических свойств в разрезе. Анализ результатов вейвлет-преобразования позволяет разделять амплитудные изменения по частоте, тем самым поняв истинное распределение акустических свойств резервуаров углеводородов.

Существует несколько основных способов интерпретации результатов вейвлет-преобразования. Первый способ заключается в трансформации амплитуд в частотный диапазон (другими словами, результатом являются кубы частот, где по направлению Z отображены амплитуда или фаза в диапазоне от 1 до 100 Гц). Такой объем называется «тюнинг кубом». По отдельности эти результаты трудно интерпретируемы, особенно количественно. Анализ тюнинг-куба оптимизируется с помощью цветового смешивания (RGB), что предоставляет возможность интерпретатору оценить резервуар надежнее, в некоторых случаях давать количественную оценку его характеристикам (рис. 2). Так же, этот подход позволяет выделять структуры при наличии на территории исследований тонких песчаных газо- и нефтенасыщенных линз и каналов.

Второй способ позволяет определить временную мощность пластов. Карта временной мощности легко получается из атрибута частоты первого амплитудного пика на спектре для каждой трассы. Простое арифметическое преобразование этого атрибута позволяет получать карты временной мощности. Данный результат является независимым измерением мощности пластов, тем самым снижая геологические риски. Этот подход является особенно актуальным вместе с моделированием и/или кроссплотингом расчетных мощностей с данными бурения.

Данные подходы позволяют детально рассматривать строение продуктивных интервалов. Особенно это актуально в условиях развития сложных геологических структур, состоящих из тонких пластов, линз и палеорусел.

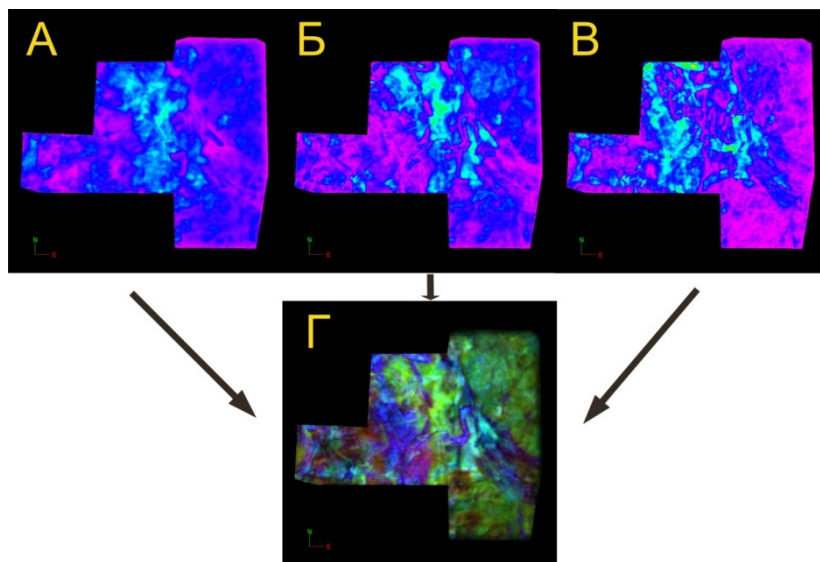


Рис. 2. Анализа результатов вейвлет-преобразования. а) амплитуды на частоте 20 Гц; б) амплитуды на частоте 40 Гц; в) амплитуды на частоте 60 Гц; г) результат RGB-смешивания.

Полноценная интерпретация данных вейвлет-преобразования невозможна без качественной и количественной параметризации полученных результатов. Описанные выше методики интерпретации отвечают этим требованиям и позволяют получать ценную информацию о строении геологических объектов из сейсмической записи.

2.1. Сейсмическое моделирование характеристик тонкого пласта.

Специальные методики анализа результатов вейвлет-преобразования предоставляют новые возможности для изображения и картирования тонких пластов и геологических нарушений с помощью данных 3Д сейсморазведки.

Теория спектрального анализа заключается в том, что отражение от тонкого слоя имеет характеристику в частотном диапазоне, которая описывает

его временную мощность. Например, простой однородный тонкий слой имеет предсказуемую и периодическую последовательность пиков в амплитудном спектре суммарного отражения от кровли и подошвы этого пласта. Сейсмическая трасса обычно включает в себя отражения от множества геологических объектов. Эта интерференционная система включает в себя множество единичных отражений, каждое из которых имеет свое уникальное выражение в частотном диапазоне (Рис. 3).

Амплитудный спектр показывает отношение интерференционного отражения и акустических свойств единичных пластов, которые входят в это отражение. Изменчивость толщины пласта рассчитывается через амплитудные максимумы, которые определяются локальными изменениями мощности породы. Эффект амплитудного спектра позволяет интерпретатору быстро и эффективно определять и картировать локальные изменения мощности пластов в пределах съемки 3Д.

Разница в частоте отражения между амплитудным спектром, рассчитанным в большом (рис. 3) и коротком окне (рис. 4) очевидна.

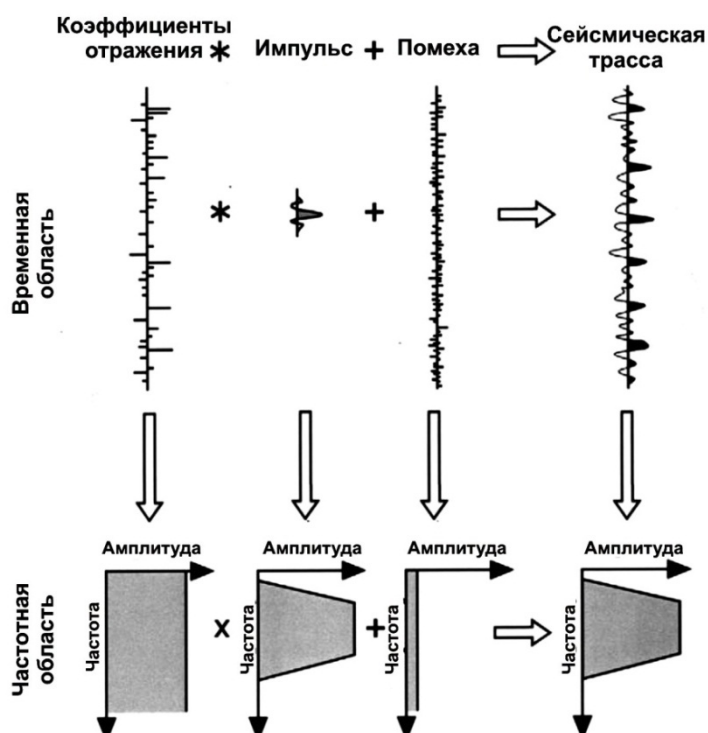


Рис. 3. Модель сейсмической трассы. Переход в частотную область по всей длине. (Partika 1999)

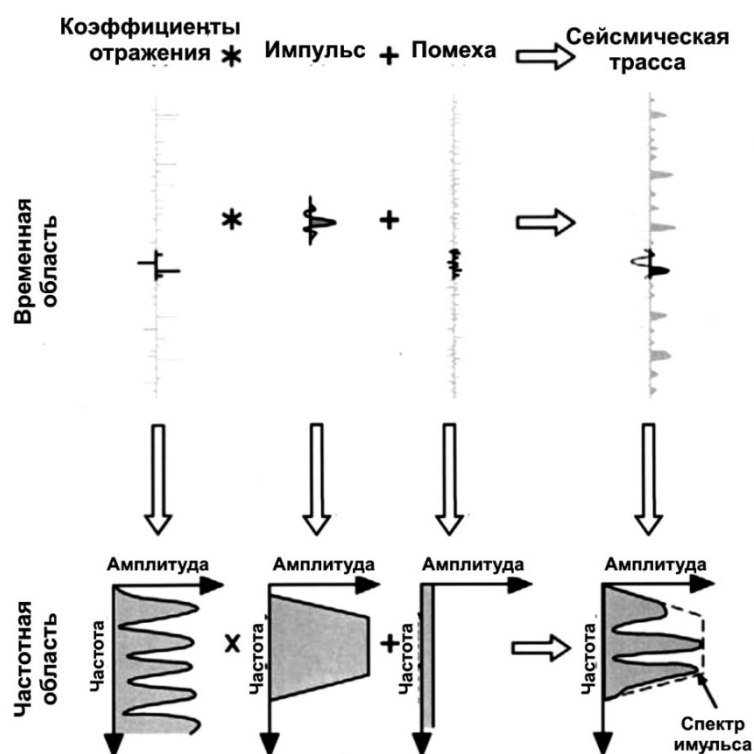


Рис. 4. Модель сейсмической трассы. Переход в частотную область с использованием короткого временного окна (Partika 1999).

Преобразование в большом окне характеризуется спектром близким к импульсу, в то время как преобразование в коротком включает в себя только модель локальной интерференционной системы отражений от кровли и подошвы одного пласта, тем самым показывая реальное распределение акустических свойств и мощности геологического слоя.

За исключением нескольких случаев, большое окно анализа включает в себя множество изменений геологической среды, которые статистически придают случайный характер интерференционным моделям от тонких слоев. Результирующий спектр в широком окне является "плоским", повторяющим спектр сигнала. Свертка исходного импульса с коэффициентами отражения множества границ создает амплитудный спектр, который имеет сходство со спектром импульса.

Отклик в узком окне зависит от акустических свойств и мощности слоев, входящих в это окно. Чем короче окно, тем проще выявить особенности строения пласта. В таком коротком окне акустические характеристики горной

породы влияют на отраженный импульс, трансформируя его в периодическую систему максимумов спектра в области Фурье. Результирующий амплитудно-частотный спектр показывает геологическую картину в пределах выбранного окна.

Свойство наложения отражений от тонких пластов может быть проиллюстрировано с помощью простой модели клина (рис. 5). Временное отражение состоит из двух пиков одинаковой, но противоположной амплитуды. Кровля клина отмечена отрицательным коэффициентом отражения, а подошва положительным. Мощность клина изменяется от 0 до 50 метров. При свертке геологической модели с импульсом (8-10-40-50 Гц) происходит эффект наложения, вызванный изменением в мощности. Отражения от кровли и подошвы разделяются при большой мощности и накладываются в одно отражение при истончении клина.

Амплитудный спектр (рис. 6) был рассчитан в коротком окне. Временная мощность клина определяет период максимумов амплитудного спектра в зависимости от частоты. $t=1/P$, где P (Гц) - период максимумов амплитудного спектра от частоты, и t (с) - мощность пласта.

Даже относительно низкочастотная компонента, такая как 10 Гц может определять изменчивость мощности тонкого пласта. Данная схема демонстрирует применение этого подхода к очень простой модели с двумя отражающими границами. Усложнение модели отражения приведет к более сложной интерференционной модели.

В районах, плохо охарактеризованных данными бурения, подобная информация, извлеченная из сейсмической записи, позволяет существенно дополнить картину строения геологических объектов и понизить геологические риски при дальнейшем изучении природного резервуара.

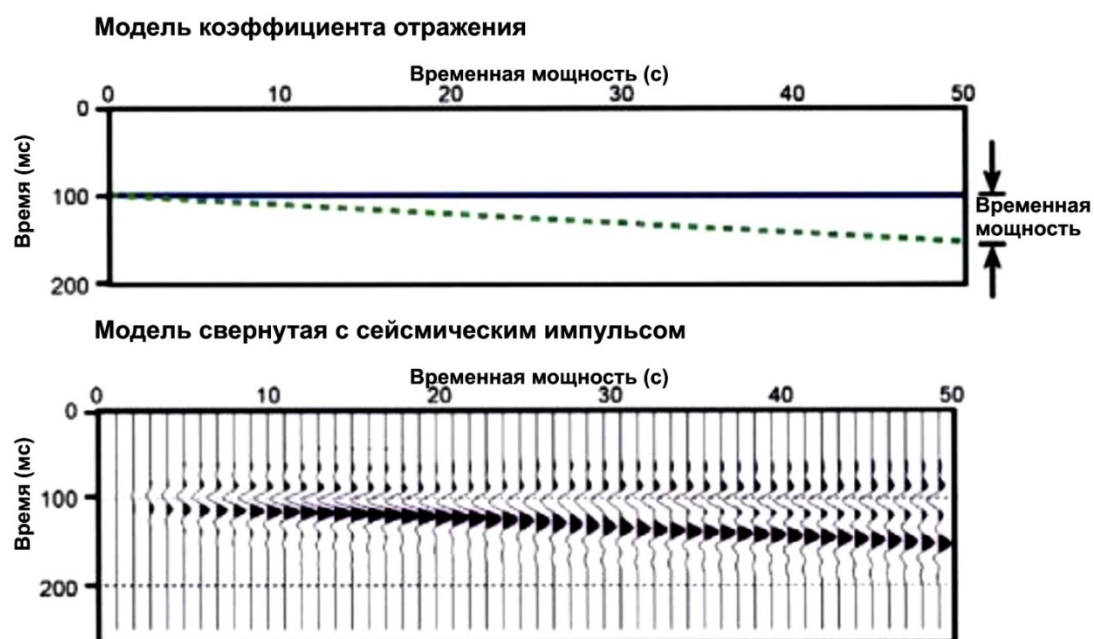


Рис. 5. Сейсмическая модель клиноформного пласта.(Partika 1999)

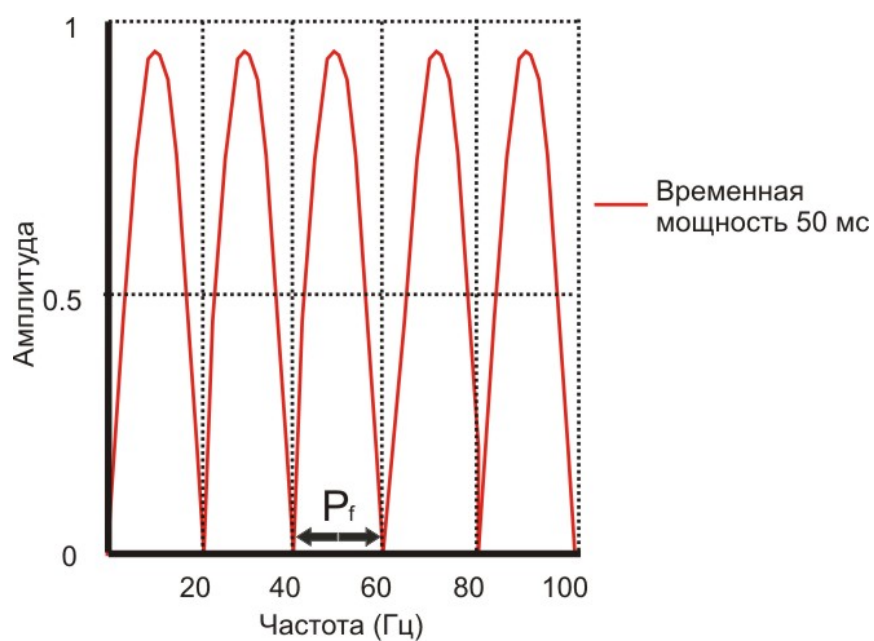


Рис. 6. Амплитудно-частотный спектр сейсмической модели.

2.2. Визуализация и анализ результатов спектральной декомпозиции с помощью RGB-смешивания.

Исходными данными для последующего анализа результатов вейвлет-преобразования являются частотно-временные амплитудные спектры. На рис. 7. приведены примеры спектров двух сейсмических трасс, полученных в разных сейсмофациальных районах изучаемой площади.

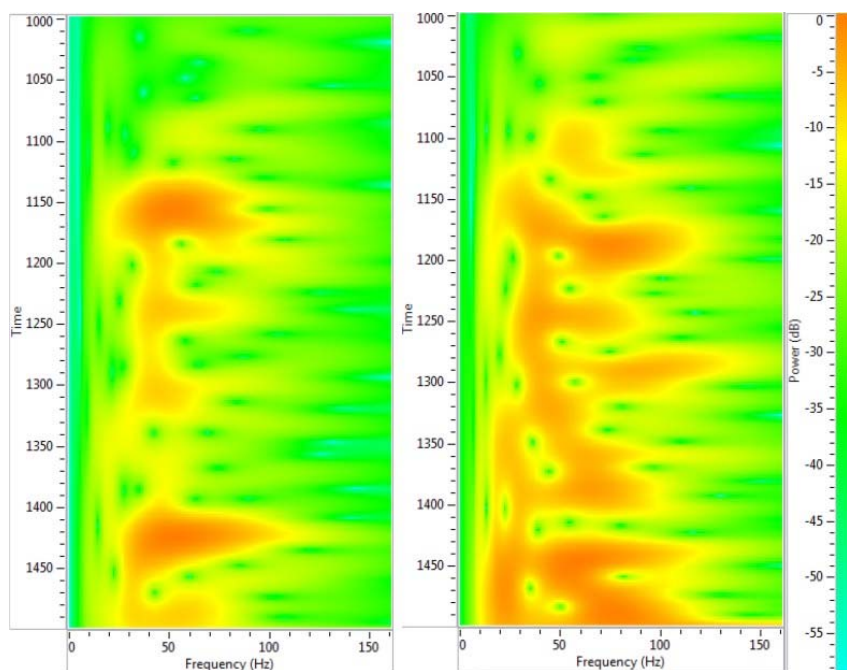


Рис. 7. Частотно-временные амплитудные спектры сейсмической записи.

На следующем этапе полученное представление сейсмической трассы трансформируется в так называемый «тюнинг куб». Это название подразумевает сейсмический куб амплитуд, включающий в качестве четвертого измерения - частоту. «Четырёхмерное» представление сейсмических данных после спектральной декомпозиции позволяет выполнять детальный анализ полученных результатов. На рис. 8. показаны сечения «тюнинг куба» вдоль интерпретируемого горизонта. Как видно из данной иллюстрации, в центральной части исследуемой площади распределение амплитуд на разных частотах варьируется. Тем более, картина совершенно иная по сравнению с абсолютными амплитудами (рис 8А). Это вызвано тем, что в отличие от изображений, полученных с помощью вейвлет-преобразования, здесь в значения амплитуд

вносит вклад весь диапазон частот сейсмической записи. Низкие частоты, не отражающие физических свойств тонкого пласта, «фонят». Из-за этого выделение системы тонких каналов на подобных данных затруднено.

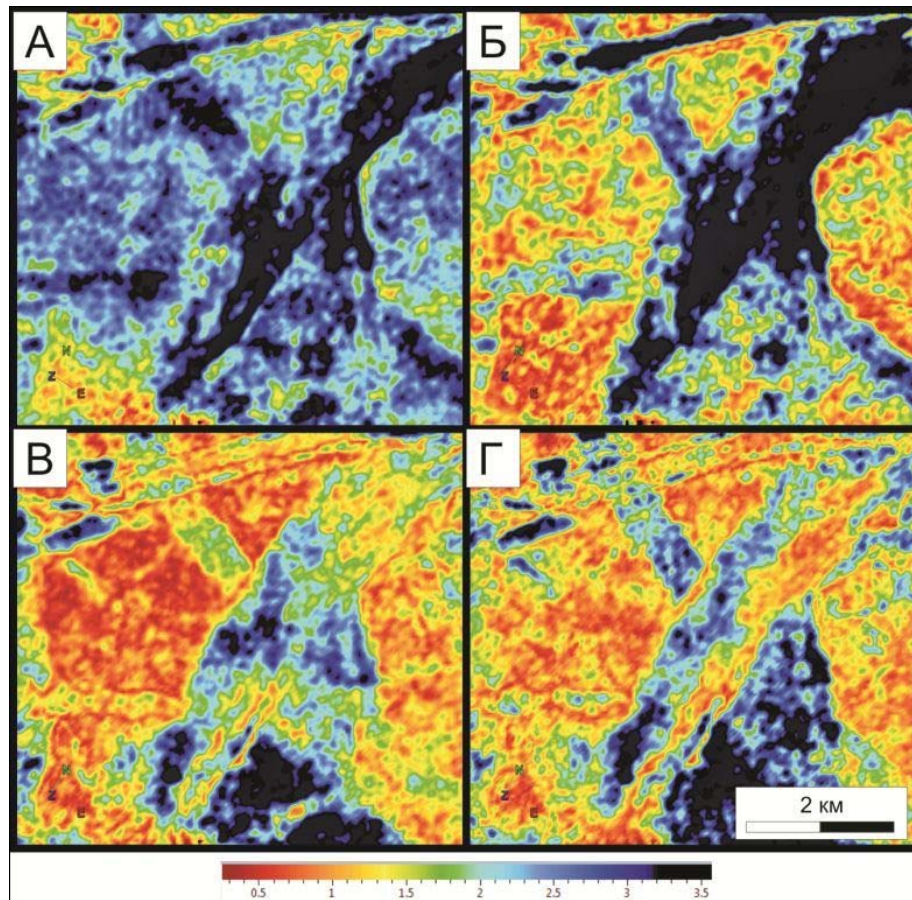


Рис. 8. Значения амплитуд куба данных 3D: А – абсолютные (исходные) амплитуды; Б – амплитуды после вейвлет-преобразования на 60 Гц; В – амплитуды после вейвлет-преобразования на 100 Гц; Г – амплитуды после вейвлет-преобразования на 140 Гц.

Для удобства визуализации и дальнейшей интерпретации результатов вейвлет-преобразования используется алгоритм RGB-смешивания, позволяющий одновременно визуализировать три сейсмических атрибута. Амплитуды в каждой точке анализируются исходя из преобладания той или иной компоненты, рассчитывается значение цвета пикселя в красно-зелено-синем спектре. Результатом является карта смешанных амплитуд трех частот в каждой конкретной точке (рис. 9). Как видно из данной иллюстрации, на результате RGB смешивания цветом четко выделяются три зоны, в которых преобладают

следующие цвета: красный, зеленый и синий. Красный цвет характеризует области повышенных значений амплитуд на низкой частоте (60 Гц), зеленый средней (100 Гц), а синий соответствует высоким значениям амплитуд на верхней частоте (140 Гц). Также, важную роль играет возможность выделения границ распространения геологических тел, приуроченных к смене преобладающего по энергии атрибута.

Интерпретация подобных изображений в первую очередь носит качественный характер. Стоит отметить, что различные линименты, выделенные на картах, полученных с помощью RGB смешивания результатов вейвлет-преобразования, а так же дифференциация исследуемой области по принципу преобладания амплитуды той или иной частоты имеет вполне обоснованный физический и геологический смысл. Выявление различий в мощностях исследуемого отражающего горизонта, несмотря на отсутствие количественных оценок, играет немаловажную роль при детальном изучении сложно построенных, неструктурных резервуаров. В этих случаях атрибутивный анализ на основе вейвлет-преобразования является незаменимым средством картирования высокопродуктивных сейсмофаций приливно-отливных каналов и баров. На рис. 10 схематично приведены результаты интерпретации.

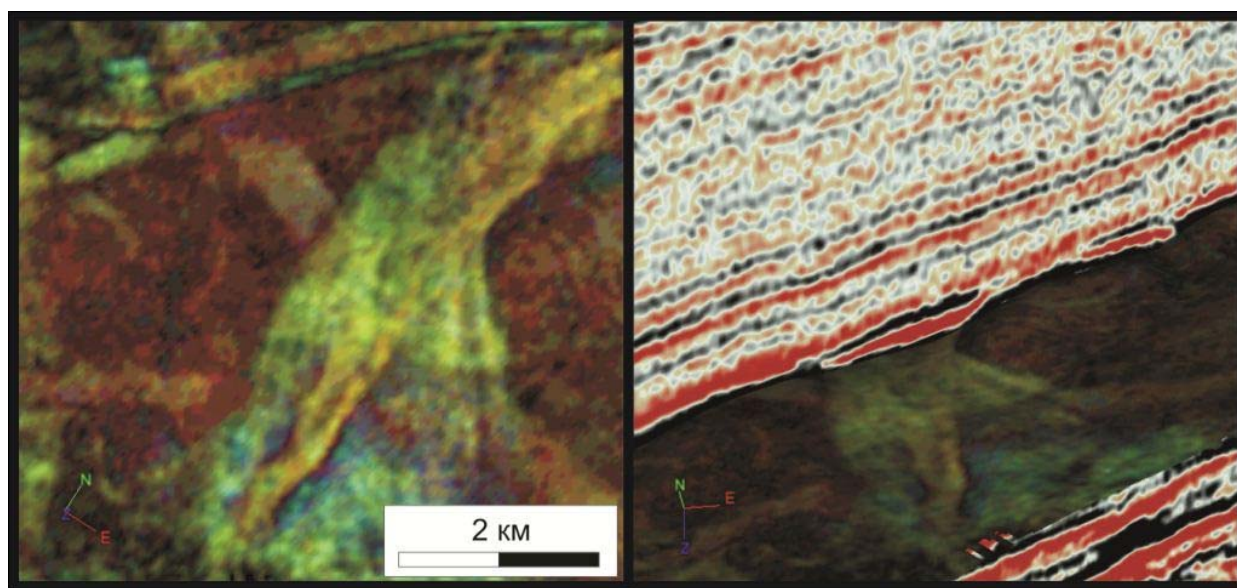


Рис. 9. Результат RGB-смешивания амплитуд сейсмической записи после вейвлет-преобразования.

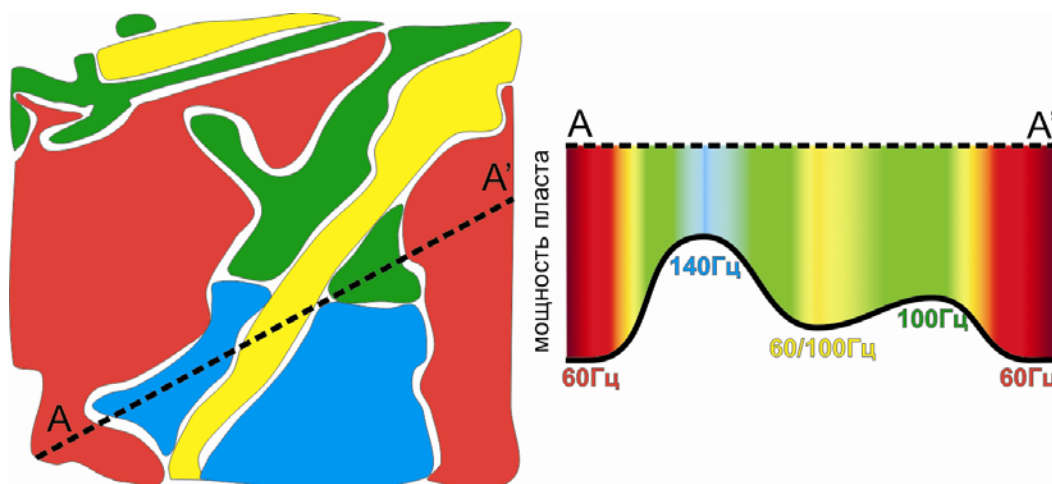


Рис. 10. Схематичное представление результатов интерпретации данных вейвлет-преобразования.

2.3. Типизация геологического разреза с помощью атрибутивного анализа.

По данным многих исследователей туронские продуктивные отложения имеют региональное распространение, однако их изучению уделялось недостаточно много внимания. К наиболее изученным из них относятся газовые залежи газсалинской пачки Южно-Русского, Заполярного, Харампурского, Новочасельского, Тэрельского и Ленского месторождений.

Ресурсная база залежей достаточно высока. Начальные запасы газа по категориям C_1+C_2 превышают 1,3 трлн.м³, что позволяет рассматривать их как потенциальные источники промышленной добычи углеводородного сырья.

Учитывая сложность геологического строения туронских газовых залежей, недостаточный объем геолого-промысловой информации, ухудшенные фильтрационные и емкостные свойства, требуется применение современных подходов к извлечению дополнительной информации из сейсмических данных, что определяет актуальность применения новейшего алгоритма вейвлет-преобразования.

В данном случае, анализ был проведен для горизонта Т2 туронского комплекса с целью выделения участков пласта с повышенными фильтрационными и емкостными свойствами. На предварительной стадии

работы были выделены три атрибута, исходя из их геологической представительности: акустический импеданс, пористость и амплитуды на 60 Гц после вейвлет-преобразования. Конечной целью являлось выделение геологических тел по данным сейсморазведки, соответствующих участку пласта с искомыми физическими свойствами. На первом этапе был произведен корреляционный анализ значений всех трех атрибутов. Априорно известно, что газонасыщенный песчаный пласт имеет низкий акустический импеданс и высокую пористость, однако для более детального анализа необходим третий атрибут. Как правило, амплитудные аномалии на высоких частотах связаны с наличием углеводорода в пласте, поэтому третьим компонентом атрибутного анализа была выбрана амплитуда на частоте 60 Гц, как наиболее представительная для данного отражения.

Классификация облака точек в трех измерениях с помощью метода наименьших квадратов наглядно показывает эффективность применения результатов вейвлет-преобразования при анализе сейсмических атрибутов. Именно амплитуды на единичной частоте позволили разделить близкие по значениям импеданса и пористости типы коллекторов, что демонстрирует рис. 11а. Карта типов геологического разреза, исходя из данной классификации, представлена на рис. 11б.

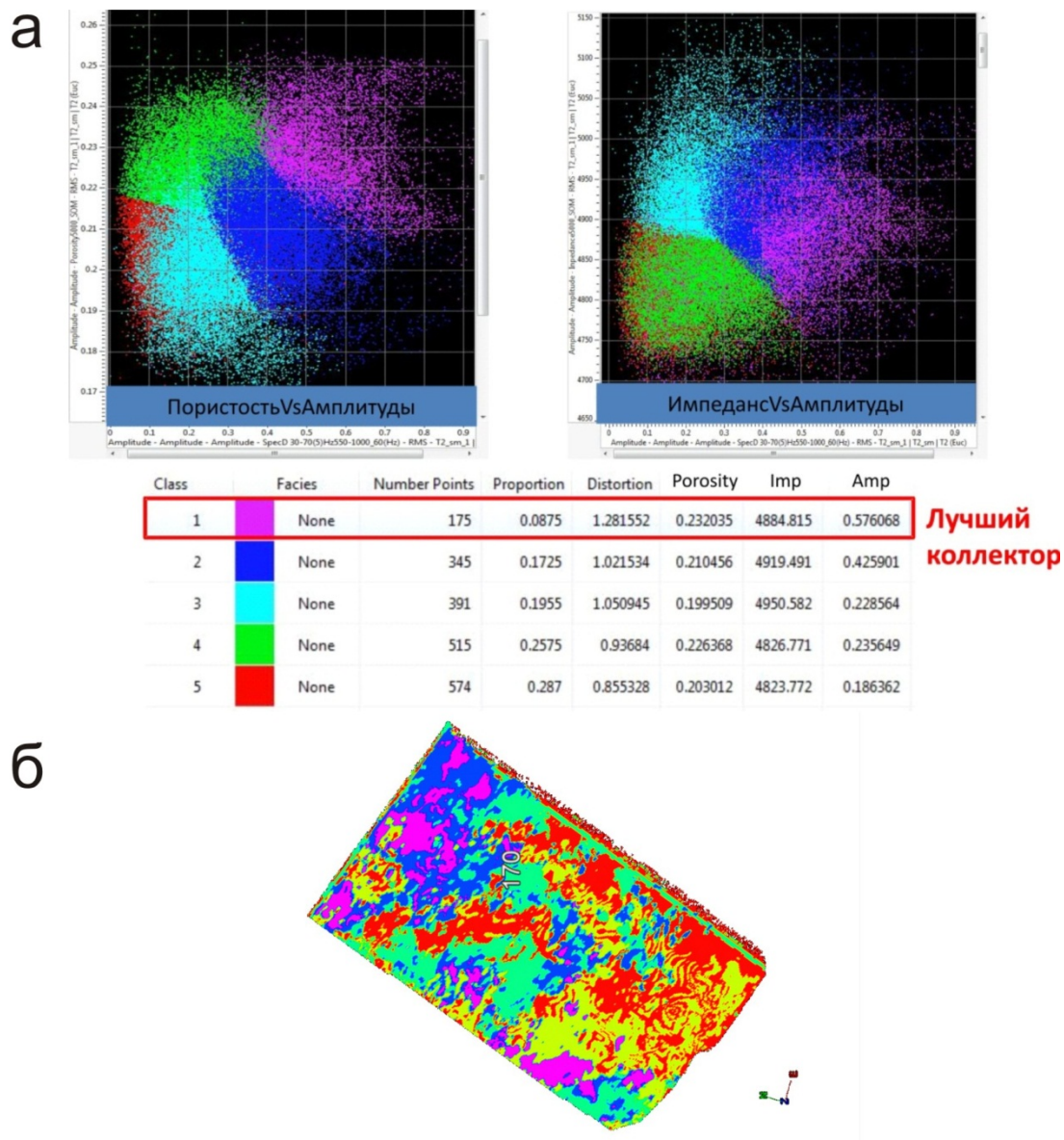


Рис. 11. Классификация точек в трехмерном пространстве атрибутов.

3. Статистический анализ атрибутов сейсмической записи.

Еще на заре становления геологии некоторые геологи пользовались математическими методами. Такие науки о Земле, как геохимия, геофизика и геология требуют прочного математического фундамента. Для анализа геологических процессов с помощью сейсмических атрибутов необходимо использовать все возможности современного статистического аппарата. В некоторых практических случаях моделирование геологических процессов линейными уравнениями дает удовлетворительный результат и может

использоваться для анализа и прогнозирования физических свойств горной породы. Однако в силу многообразия и сложности физических процессов ограничиться рассмотрением лишь линейных регрессионных моделей невозможно. Многие зависимости не являются линейными по своей сути, и поэтому их моделирование линейными функциями, безусловно, не даст положительного результата.

Одномерная статистическая обработка результатов измерений имеет смысл лишь только для однородных совокупностей. Подобный анализ как правило применяется для точечной оценки погрешности среднего значения, а также выделения аномальных значений.

Во многих геологических задачах изучают два взаимосвязанных свойства множества геологических объектов. Такой анализ проводится на основе двумерной статистической модели. Основным приложением статистического анализа является уравнение линейной регрессии, позволяющее решать несколько практических задач. Первоначальное уравнение описательное, потому что часто важен сам факт линейной зависимости и ее аналитическое выражение. Но наибольшая эффективность уравнения заключается в возможности прогнозирования значения одной случайной величины, если известно значение другой.

Дальнейшим развитием двумерной статистической модели служит многомерная статистическая модель, которая состоит из совокупности множества сопряженных случайных величин (называемых многомерными случайными векторами) и выражается матрицей свойств размером $k \times n$:

$$\begin{vmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{vmatrix}$$

где n - число наблюдений; k - число свойств.

В основе многомерной статистической модели лежит гипотеза о том, что измеренные значения являются независимыми случайными величинами (векторами), т.е.

строки матрицы можно располагать в любом порядке. Однако между столбцами матрицы связь может присутствовать. Вряд ли задача некоторые из измерений могут быть неслучайными величинами, например, заранее заданными пространственными или временными координатами, что не является препятствием для статистической обработки. В матрице по диагонали находятся единицы, а в остальных полях – собственными коэффициентами корреляции. Методика расчета корреляционных моментов и коэффициентов корреляции такая же, как в двумерной статистической модели.

Во многих случаях возникает необходимость изучить зависимость одной случайной величины от множества других случайных величин.

Многофакторная зависимость обычно выражается уравнением множественной линейной регрессии:

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k + b,$$

где $x_1, x_2, \dots, x_k$ – свойства; $a_1, a_2, \dots, a_k, b$ – постоянные коэффициенты.

Одним из распространенных и эффективных способов обработки многомерных статистических данных является метод главных компонент, суть которого заключается в линейном преобразовании исходных данных в независимые величины, несущие смысловую геологическую информацию.

Многомерные случайные величины изображают в многомерном признаковом пространстве облаком точек.

Предполагается, что облако имеет форму, близкую к многомерному эллипсоиду. Преобразование исходных данных сводится к переносу и вращению системы координат в признаковом пространстве. Начало координат переносится в центр тяжести облака, а поворот осуществляется таким образом, чтобы осимногомерного эллипсоида совпали с осями координат. Оси эллипсоида ранжируются по длине, и та координатная ось, которая совпадает с наиболее длинной осью эллипсоида, называется первой, следующая по длине – второй и т.д. Новые координаты точек

облака после переноса и вращения системы координат называются главными компонентами, которые и дали название методу.

На рис. 12 приведен пример анализа данных вейвлет-преобразования на различных частотах и атрибута пористости по методу главных компонент. Анализ матриц факторных нагрузок и корреляционных связей позволяет говорить, что наиболее информативным является первый фактор, в который больший вклад делают амплитуды на 50 и 55 Гц. Это свидетельствует о том, что амплитуды на данных частотах имеют максимальную корреляцию с данными пористости пласта. Такая тесная связь говорит о фактическом отображении литологических свойств пласта на атрибутах амплитуды 50 и 55 Гц.

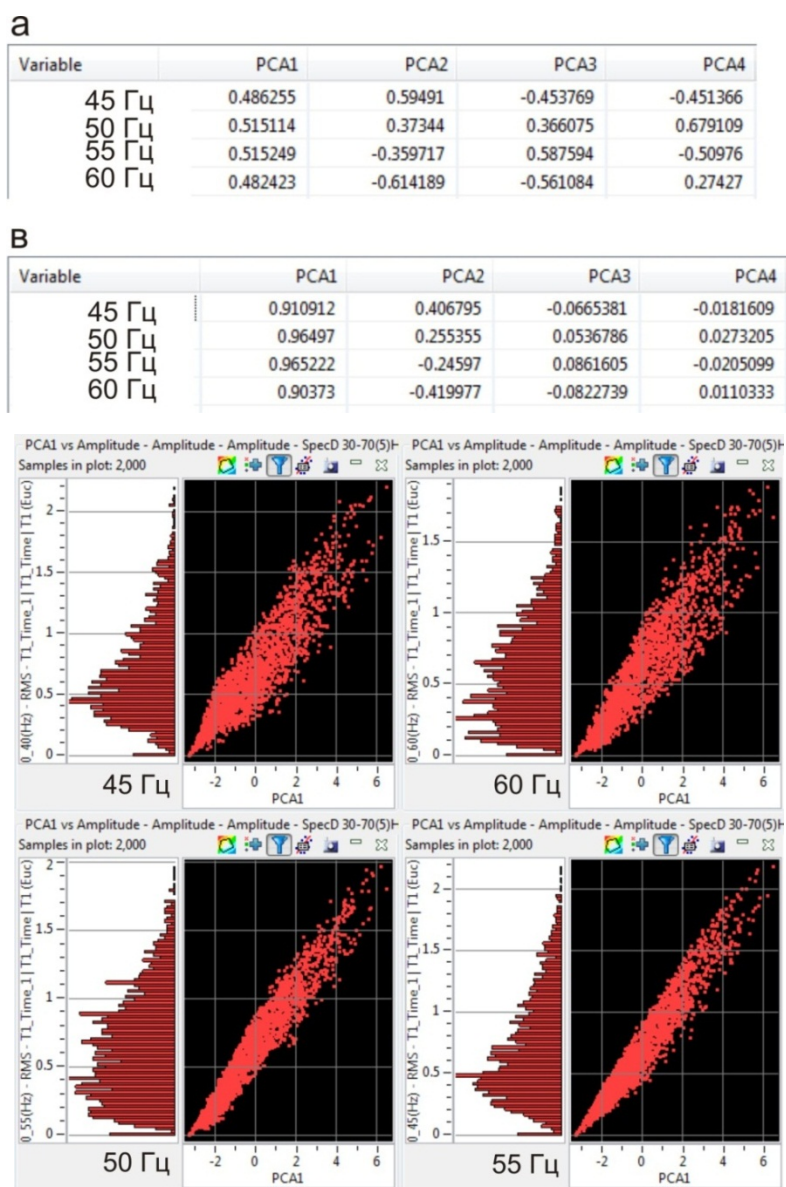


Рис. 12. Таблица факторных нагрузок (а) и коэффициентов корреляции (в) компонент анализа, а так же изображение анализируемых данных в оси первой компоненты.

Заключение

Автором предложена методика прогнозирования свойств залежей углеводородов, базирующаяся на применении вейвлет-преобразования сейсмических данных.

1. Частотно-временная модификация вейвлет-преобразования является наиболее надежным способом спектрального разложения сейсмической записи.

2. Результаты вейвлет-преобразования позволяют давать количественную характеристику природным резервуарам исходя из представления сейсмической записи в частотно-временной области.

3. Технология RGB-смешивания энергии единичных частот позволяет в значительной степени повысить надёжность определения положения стратиграфических элементов геологической среды в пространстве.

4. Использование результатов вейвлет-преобразования совместно с сейсмическими атрибутами при типизации геологического разреза позволяет надежнее выделять зоны с различными фильтрационно-емкостными свойствами.

5. Применение регрессионного анализа для данных вейвлет-преобразования и других сейсмических атрибутов дает возможность получения дополнительной информации в процессе интерпретации для прогноза нефтегазонасыщенности.

В заключение следует отметить, что полученные с помощью вейвлет-преобразования данные, позволяют существенно дополнить картину строения природных резервуаров. Достоинством методики является возможность получения как количественной, так и качественной характеристики изучаемых объектов. Таким образом, комплексный последовательный подход к совместной интерпретации данных сейсморазведки с использованием последних разработок алгоритмов вейвлет-преобразования повышает достоверность прогноза свойств залежей.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Никульников А.Ю., Применение спектральной декомпозиции для повышения эффективности совместной интерпретации данных сейсморазведки 3D и ГИС: Международная научная конференция «Молодые – наукам о Земле» – М., 2011
2. Никульников А.Ю., Применение атрибутного анализа сейсмических данных с использованием результатов спектральной декомпозиции: Геоинформатика, М.,1., 2012
3. Никульников А.Ю., Применение спектральной декомпозиции сейсмической записи с целью картирования тонких стратиграфических элементов осадочных пород: Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, М.,11., 2012

Другие опубликованные работы автора:

1. Никульников А.Ю., Определение скоростей распространения упругих продольных волн по данным детальной сейсморазведки 2Dс учетом скважинных данных ГИС: Международная научная конференция «Молодые – наукам о Земле» – М., 2008
2. Никульников А.Ю., Геологическая эффективность применения миграции сейсмограмм до суммирования на примере месторождений Западной Сибири: Международная научная конференция «Геоперспектива – 2009» - М., 2009
3. Зимирева В.Л., Славкин В.С., Никульников А.Ю. Влияние учёта неоднородностей ВЧР на динамические характеристики сейсмической записи в условиях Западно Сибирского НГБ: Технологии сейсморазведки, М.,2., 2010
4. Лобанов А.М., Филатов В.Г., Петров А.В., Овсепян М.Л., Гласко Ю.В., Беспрозванный П.А., Зиновкин С.В., Никульников А.Ю., Филатов Г.В., Интропродолжение и эпигенетическоемагнитоминералообразование в нефтегазоразведке: М., 2009