

На правах рукописи

Белоусов Григорий Александрович

**Технологии сейсмоформационного районирования
слабоизученных осадочных бассейнов по типам геологического
разреза**

Специальность 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных
ископаемых

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 2012

Работа выполнена в ФГУП ВНИИ ГНИ.

Научный руководитель доктор технических наук,
профессор Мушин Иосиф Аронович

Официальные оппоненты: Давыдова Елена Александровна
доктор технических наук,
Начальник Управления
ОАО «НК «Роснефть»

Воскресенский Юрий Николаевич
кандидат технических наук,
профессор РГУ нефти и газа имени
И.М. Губкина

Ведущая организация ОАО «Центральная Геофизическая
Экспедиция»

Защита состоится 21 июня 2012 года в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.121.07 при Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе по адресу: 117977 Москва ул. Миклухо-Маклая д.23 аудитория 4-73.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского Государственного Геологоразведочного Университета.

Автореферат разослан « ___ » мая 2012 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
доктор физико-
математических наук



А. Д. Каринский

Общая характеристика работы

Настоящая диссертационная работа содержит результаты исследований по разработке и совершенствованию технологии интегрированного сейсмоформационного паспорта для решения задач районирования слабоизученных осадочных бассейнов по типам геологического разреза.

Под интегрированным сейсмоформационным паспортом (ИСФП) понимается собранная по исследуемой территории совокупность всех прошедших редактирование сейсмических трасс временных или/и мигрированных глубинных сейсмических разрезов, построенная в виде линейной последовательности по нарастанию или убыванию временной или глубинной мощности целевого интервала разреза, а также по характеризующей эту последовательность трасс совокупности сейсмоформационных и сейсмофациальных параметров и сейсмических атрибутов. Вследствие своей линейной структуры ИСФП обеспечивает непосредственное выявление латеральных рядов типов разреза, сейсмоформаций, сейсмофаций, сейсмоциклических толщ и других геологических тел на основе развитых средств сейсмостратиграфического и сейсмоформационного анализа.

Актуальность проблемы.

Наращивание геолого-геофизической изученности территорий России является важнейшим фактором, определяющим экономический рост страны – признанного мирового лидера в нефтегазовой области.

Однако на уровне современной изученности РФ существуют еще гигантские слабо изученные территории (Восточная Сибирь и др.) и акватории (арктические, северные и восточные), требующие геологического изучения и районирования.

Наряду с этим, и по старым нефтегазоносным районам к слабо изученным следует отнести отложения глубоких интервалов разреза – палеозоя, кембрия и докембрия, венда и рифея. И здесь задача изучения и районирования этих древних отложений остается такой же актуальной, как и многие годы назад [Давыдова Е.А., Копилевич Е.А., Мушин И.А., Фролов Б.К., Колесов В.В. и др.].

Решение задач районирования традиционными методами требует огромных финансовых вложений и, наряду с этим, значительного времени. Поэтому особую актуальность в последнее время приобретают инновационные технологии, способствующие сокращению времени и экономических затрат на решение этих задач. Именно такой и является инновационная технология ИСФП.

Основные защищаемые положения

1. «Интегрированный сейсмоформационный паспорт» (ИСФП), включающий все имеющиеся по бассейну сейсмические трассы, упорядоченные по единым структурным и динамическим критериям, обеспечивает надежное выделение основных типов геологического разреза и является наиболее полной сейсмической характеристикой нефтегазоносного бассейна.
2. Технология районирования относительно слабоизученных территорий и акваторий на основе ИСФП реализуется путём:
 - сбора и упорядочиванием всех имеющихся на территории сейсмических трасс по единым структурным критериям даже при использовании мало детальных структурных карт региональных этапов ГРР;
 - выделения типов разреза при помощи СВАН-технологий и корреляционной матрицы ИСФП по пересекающим эти типы региональным сейсмическим профилям, детальность наблюдений на которых не уступает поисковой и разведочной.
3. Применение технологии районирования по типам геологического разреза на основе ИСФП территорий Западной Сибири, Дальнего Востока, а также акваторий Чукотского и Южно-Китайского морей по материалам различной плотности – от региональных до детальных наблюдений 3D – свидетельствует о её геологической эффективности на различных этапах ГРР.

Цель и задачи работы.

Целью настоящей работы является исследование и разработка технологии интегрированного сейсмоформационного паспорта (ИСФП) для решения задач районирования слабоизученных осадочных бассейнов по типам геологического разреза.

С момента создания технологии ИСФП, в разработке которой автор принимал непосредственное участие, проводилась ее апробация на реальных сейсмических материалах, полученных в различных регионах РФ и при ГРР разной степени детальности: рекогносцировочных, региональных, поисковых и разведочных (3D).

Геологическая эффективность этого эвристического опробования ИСФП имела существенную «флуктуацию»: в некоторых регионах районирование территорий по ИСФП полностью соответствовало традиционному геологическому районированию по всей совокупности геолого-геофизических данных, в других такое соответствие не достигалось.

Анализ этих разнородных ситуаций показывал, что причинами снижения эффективности применения ИСФП могут служить:

- сложное геологическое строения обследуемого региона (бассейна), в частности, неоднородность седиментации в различных его частях,

- существенное влияние конседиментационного и постседиментационного тектогенеза, нарушающего и осложняющего морфологию и внутреннюю структуру седиментационных тел,
- неблагоприятные соотношения степени сложности строения изучаемых осадочных толщ и плотности реализуемых на практике сетей сейсмических профилей и т.п.

В связи с этим в ходе дальнейшей разработки технологии ИСФП возникла необходимость провести целенаправленные исследования для обеспечения ее устойчивой эффективности в самых разных сейсмогеологических условиях.

Задачи исследований, охватывающие практически все основные характеристики ИСФП и их обоснование, состояли в следующем:

1. Построить объемную сейсмогеологическую модель для исследований ИСФП, с целью получения определённых результатов исследования паспорта.
2. Исследовать геологические (структурные) и сейсмические характеристики (критерии), используемые для формирования ИСФП, так как, взятая за эталон, методология СЕМ всегда использует для построения типовых моделей совокупность критериев.
3. Выполнить обоснование необходимых объемов сейсмических данных (трасс), достаточных для построения ИСФП и последующего картирования типов геологического разреза.
4. Исследовать помехоустойчивость ИСФП, так как сейсмические данные по регионам характеризуются обычно различным качеством, в частности, иногда и непригодным для построения ИСФП.
5. Исследовать возможности оптимизации выделения границ типов разреза по интегрированному сейсмоформационному паспорту.
6. Проанализировать возможность использования технологии ИСФП для улучшения качества сглаживания различных сейсмогеологических параметров и атрибутов.

Решения перечисленных задач исследований ИСФП и результаты их апробации на модельном (математические и натурные модели) и экспериментальном материалах составляют основное содержание настоящей работы.

Личный вклад.

Автор участвовал в разработке идеологии и технологий районирования слабо изученных осадочных бассейнов по сейсмическим данным. В рамках пакета «SFP» автором самостоятельно проведена разработка программной реализации всех используемых в рамках описываемой технологии ИСФП программных комплексов. Им выполнена разработка трёхмерной сейсмогеологической модели карбонатного резервуара, на которой исследования и апробация методики ИСФП также проведена автором

самостоятельно. Также автором разработана и внедрена методика выделения типов разреза с использованием корреляционной матрицы КВК.

Комплекс работ, связанный с апробацией методики ИСФП на экспериментальном материале: по одному из месторождений Западной Сибири, на месторождении КНР, а также на акватории Анадырского залива,- также выполнен автором самостоятельно.

Научная новизна.

Настоящая диссертация является первым комплексным научным анализом технологии «Интегрированного сейсмоформационного паспорта», уже вошедшей в практику геологической интерпретации сейсмических данных.

Можно считать доказанным, что технология ИСФП является помехоустойчивой к регулярным и нерегулярным шумам при уровне сигнал/помеха, равном и более 3.

Показано, что выделение типов геологического разреза с использованием технологии ИСФП можно производить с использованием двух, принципиально разных подходов: 1 - визуально-интерактивного, с использованием арсенала СВАН-процедур, и 2 - по корреляционной матрице ИСФП. Совместное применение двух этих технологий в комплексе обеспечивает, как правило, более уверенное и обоснованное решение этой задачи.

К новым результатам также относятся разработанные в диссертации алгоритмы процедур сглаживания по ИСФП любых сейсмогеологических атрибутов и параметров, позволяющих наиболее детально (по сравнению с традиционным площадным сглаживанием по схемам и картам) подчеркнуть исследуемые объекты и типы геологического разреза.

Практическая значимость исследований.

В результате выполненных исследований разработана СВАН-ориентированная технология «Интегрированного сейсмоформационного паспорта», позволяющая районировать осадочные бассейны при крайне слабой их изученности, что имеет принципиально важное практическое значение при изучении бассейнов Восточной Сибири, республики Саха, северных и восточных акваторий.

При помощи средств технологии ИСФП выполнено районирование бассейнов Чукотского моря и установлено резкое различие в перспективах возможной нефтегазоносности отдельных частей Чукотской акватории. Мощный (более 8 км) пассивно-окраинный чехол Северо-Чукотского бассейна характеризуется значительно более высокими перспективами нефтегазоносности, что косвенно подтверждается наличием нефтяного месторождения-гиганта Прадхо-Бей на северном побережье Аляски.

Относительно маломощный терригенный чехол Южно-Чукотского бассейна вряд ли может обеспечить формирование крупных скоплений УВ. На его продолжении на Аляску – прогибе Хоуп – проведенные

геологоразведочные работы показали возможность открытия только мелких газовых месторождений.

По результатам детального районирования одного из месторождений КНР, покрытого объемной съемкой 3D сейсморазведки, был уточнен проект последующей его разработки. При этом были учтены как результаты районирования по ИСФП (полученная карта геологических типов), так и контролирующие газоносность седиментационные (развитие дистальной дельты) и тектонические (региональное экранирующее тектоническое нарушение) факторы.

При последующем разбуривании месторождения подготовленный прогноз подтвердился.

Апробация результатов исследований .

Методология ИСФП прошла апробацию в виде докладов на всероссийских и европейских семинарах и конференциях [например на конференции SEG, Санкт-Петербург, 2006г], сообщений и докладов в крупнейших государственных организациях (ГКЗ РФ, НК «Роснефть», «Газпром» и др.) и нефтегазовых компаниях (Лукойл, Самаранефтегаз, ТНК-БП, Сургутнефть и др.).

Автором выполнено сравнительное опробование результатов ИСФП с результатами применения других методик: комплексного спектрально-скоростного прогнозирования (КССП), нейронных сетей и сейсмостратиграфии. Сравнение показало, что методика ИСФП даёт результаты, которые не противоречат данным, полученным с помощью других подходов, а в ряде случаев существенно превосходят их по качеству.

Основные результаты диссертации отражены в 4 публикациях и докладывались автором на научно-практической конференции «Нефтегазогеологический прогноз и перспективы развития нефтегазового комплекса Востока России -2010».

Структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения: 1 – Введение, 2 – Анализ состояния проблемы районирования слабоизученных территорий по типам геологического разреза, 3 - Разработка и исследование методов построения и использования «Интегрированного сейсмоформационного паспорта» (ИСФП), 4 - Основные этапы построения и результаты применения технологии «Интегрированного сейсмоформационного паспорта», 5 - Опробование технологии ИСФП на экспериментальном материале.

Список литературы содержит 44 наименования. Общий объем диссертации составляет 171 страницы, включая 120 страниц текста и 101 рисунок.

Благодарности.

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю д.т.н., заслуженному деятелю науки РФ И.А.Мушину за руководство и всестороннюю помощь в исследованиях и работе над диссертацией; д.г.м.н. Е.А.Копилевичу за критический взгляд на диссертационную работу и помощь в исследованиях, к.т.н. Б.К.Фролову и к.т.н. А.Б.Городкову за рекомендации и помощь в написании алгоритмов пакета СФП; к.г.м.н. С.К.Барыкину за геологическое сопровождение исследований; к.т.н. М.Л.Афанасьеву за помощь в составлении трёхмерной сейсмогеологической модели карбонатного резервуара.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

Глава 1. Состояние проблемы

В настоящей главе рассмотрены различные подходы к решению задач районирования осадочных бассейнов по типам геологического разреза.

Под «типом геологического разреза» понимается специфическая совокупность его структурно-тектонических и литолого-фациальных характеристик в определенном стратиграфическом диапазоне. Каждый тип разреза характеризуется определенными историей, условиями формирования и, в результате, - специфическими фильтрационно-емкостными свойствами [«Методика картирования типов геологического разреза в межскважинном пространстве по данным сейсморазведки», Копилевич Е.А., Давыдова Е.А., Мушин И.А. и др. Геофизика № 4, М., ЕАГО, 1999; Фортунатова Н.К. «Генетические типы и седиментационные модели карбонатных отложений», Советская геология №1, М., Недра, 1985].

Осадочные отложения, формирующие типы разреза, имеют, как правило, тонкослоистую структуру. При этом разница в их литолого-фациальных характеристиках и обстановках осадконакопления не всегда приводят к существенным изменениям отдельных физических свойств каждого из слоев.

Поэтому картирование типов разреза в межскважинном пространстве по данным сейсморазведки должно основываться на использовании многомерных и высокоразрешающих программно-методических средств, которые позволяли бы определять не только отдельные параметры, но и интегральную характеристику разных типов разреза, сертифицированных по данным бурения, ГИС, лабораторных исследований и испытаний скважин.

Одним из наиболее распространенных на практике средством районирования территорий по сейсмическим данным является атрибутивный анализ [Авербух А.Г., 1998, 2002; Ампилов Ю.П., 2004, Голошубин Г.М., 2006].

Во многих современных системах применяются различные способы типизации и прогноза геологического разреза на основе использования разных

типов сейсмической информации: амплитуд сейсмической записи, частотных параметров, псевдоакустических скоростей, эффективных коэффициентов отражения, эффектов поглощения отраженных волн и дисперсии скоростей и др.

Следует отметить, что отдельные сейсмические параметры могут определяться недостаточно точно или вообще не реагировать на такие важные свойства пород как эффективная толщина, пористость, проницаемость, которые в то же время являются индивидуальными признаками для каждого отдельного типа разреза.

В связи с этим целесообразно проводить атрибутивный анализ в межскважинном пространстве не только с помощью дифференциальных параметров, которые не всегда определяются устойчиво, но и используя комплексные (интегральные) характеристики, которые обладают большей устойчивостью [Давыдова Е.А., 2000 г, 2004 г.].

Выявление многомерных корреляционных связей требует специальной методологии. К настоящему времени одной из наиболее развитых методологий многомерного анализа геолого-геофизических данных является система «Пангея» [23].

В системе ИНПРЕС (ЦГЭ) [Авербух А.Г., 1998] с помощью искусственных нейронных сетей реализовано разделение разреза на типы при помощи прогнозирования ряда фильтрационно-емкостных свойств исследуемых коллекторов.

Геофизические методы, в большинстве своём, являются параметрическими. В России параметрическая сейсморазведка на практике получила свое название, как ПГР - прогнозирование геологического разреза, то есть прогнозирование определенных эффективных характеристик разреза по измеренным геофизическим параметрам [Гогоненков Г.Н., 1981]. Значительное число развитых технологий ПГР успешно используется на практике: Velog, ПАК, РЕАПАК, ЭПМ, ПАРМ и другие, каждая из которых является частью направления под названием ИНВЕРСИЯ [Рудницкая В.В, 1985, Дубровский С.Д, 1985].

Наряду с этим создавались и продолжают развиваться методики, ориентированные на “прямое” обнаружение УВ по определенным признакам или их совокупностям: яркое пятно, AVO и т.п. [Воскресенский Ю.Н, 2001].

Основное ограничение методик ПГР связано с распределением физических характеристик геологических отложений в реальных средах. Опыт измерений физических свойств показывает их существенные перекрытия для самых различных пород и формаций. Различия свойств в значительной мере оказываются связанными с генезисом отложений, их последующей геодинамической историей, современным состоянием (например, напряженным). Иными словами, не существует и не может существовать однозначной связи между типом отложений и их физическими свойствами [Ампиров Ю.П., 2004].

Переход от эффективных физических к собственно геологическим параметрам – песчанности, глинистости, пористости, проницаемости, нефтегазонасыщенности, - в ПГР осуществляется на основе установления корреляционных связей: от простейших регрессий до сложнейшего многомерного анализа. В случае же, если такие связи в силу разных причин не устанавливаются данные ПГР используют на качественном уровне. Однако, при отсутствии геологической модели соответствующие прогнозы ПГР, как правило, не выдерживают критики, а затем и проверки бурением.

В заключение следует отметить, что во всех работах, использующих различные методики атрибутного анализа, проблема слабой изученности территории не рассматривается.

Геологические методики. Обратимся к современным методам геологической интерпретации. В последние 20 лет определились два основных направления в области собственно геологической интерпретации сейсмических данных: **сейсмостратиграфия (СС) и структурно-формационная интерпретация (СФИ).**

В 70е-80е годы прошлого века под методами геологической интерпретации понималась, прежде всего, сейсмостратиграфия - СС [Пейтон Ч., 1982].

Главные элементы методологии СС:

- выделение седиментационных комплексов по устанавливаемым на сейсмических разрезах границам несогласий (расчленение разреза и выделение составляющих его геологических тел),
- анализ режимов регрессии и трансгрессии палеоморя по характерным рисункам примыкания и выклинивания сейсмических горизонтов в околобереговой зоне и т.д. (стратификация выделенных по сейсмическим данным геологических тел).
- выделение и локализация сейсмофаций по типам сейсмических рисунков напластований (сейсмофациальный анализ) – важнейший прообраз районирования территории по типам (сейсмофациям) геологического разреза,

Соответствующие приемы СС стали главным методическим вкладом этого направления в практику геологической интерпретации сейсмических данных.

Сейсмостратиграфия изначально была создана и развивалась, как «сеймовидение». Процесс преобразования сейсмостратиграфии в количественную дисциплину («сейсмоизмерение») продолжается и сегодня.

Между тем, в России уже более 20 лет развивается направление в области геологической интерпретации данных сейморазведки и ГИС, получившее название структурно-формационной интерпретации сейсмических данных – СФИ [Мушин И.А. и др, М., 1990]. К настоящему времени методы СФИ уже вошли в практику ГРР на всех этапах и стадиях, что отражено в соответствующих отраслевых инструкциях и регламентах на их проведение.

Использование этих методов привело к пониманию того, что СФИ является практической реализацией не только основополагающих идей отечественной геологической науки, но и идеологии СС.

Следует отметить, однако, что переход к построению карт и в методологии сейсмостратиграфии и в СФИ требует наличия плотных сетей профилей, которых, как известно, нет в слабо изученных регионах.

Методология седиментационно-емкостного моделирования (СЕМ).

Одной из геологических методик районирования территорий по типам геологического разреза, развивающихся в России последние десятилетия, является методология седиментационно-емкостного моделирования (СЕМ)

СЕМ – это интегрированная совокупность методик, способов и приемов формирования зональных и локальных седиментационно-емкостных моделей [Методические рекомендации..., Фортунатова Н.К., 1990, 42-44; Седиментологическое моделирование карбонатных осадочных комплексов, Фортунатова Н.К., 2000г.]. При их формировании используют все результаты построения зонально-локальных структурно-тектонической, стратиграфической и формационной моделей. При построении СЕМ главными исходными материалами служат:

- данные анализа кернов, ГИС и петрофизические характеристики отложений,
- данные сейсморазведки 2D и 3D и скважинной сейсморазведки.

На основе различных видов исследований керна формируются структурные и лито-генетические типы отложений. Для построения типовых СЕМ используют литолого-стратиграфические разрезы скважин и комплексные параметры глинистости, сульфатности. Основным параметром, по которому оценивают распределение емкостных свойств и возможность выделить градации внутри резервуара, является отношение суммарной мощности коллекторов к общей мощности интервала Кэф.

Принципиально важно, что методология седиментационно-емкостного моделирования обеспечивает получение объемных моделей и в районах со слабой изученностью. Поэтому идеи, положенные в основу методологии СЕМ, использовались при разработке методик ИСФП.

Тем не менее, и в СЕМ имеются требования, которым должна удовлетворять изученность территории:

на изучаемой территории (акватории) должно быть определенное количество скважин, достаточное для построения типовой СЕМ,

необходимы априорные данные по геологическому строению территории (в том числе, бурения, ГИС и сейсморазведки), достаточные для построения карты типов разреза.

Глава 2 Разработка и исследование методов построения и использования «Интегрированного сейсмоформационного паспорта» (ИСФП).

На определенном этапе развития технологии ИСФП по причинам, изложенным во введении, возникла необходимость проведения ее целенаправленных исследований для обеспечения устойчивой эффективности в самых разных сейсмогеологических условиях.

Автором были обоснованы следующие задачи исследований:

1. Построение объемной сейсмогеологической модели для исследований ИСФП.
2. Исследование геологических (структурных) и сейсмических характеристик (критериев), используемых для формирования ИСФП.
3. Обоснование необходимых объемов сейсмических данных (трасс), достаточных для построения ИСФП и последующего картирования типов геологического разреза.
4. Исследование помехоустойчивости ИСФП.
5. Оптимизация выделения границ типов разреза по интегрированному сейсмоформационному паспорту.
6. Использование технологии ИСФП для улучшения качества сглаживания различных сейсмогеологических параметров и атрибутов

2.1 Построение объемной сейсмогеологической модели для исследований ИСФП.

В качестве опорной модели использована стандартная седиментационно-емкостная модель карбонатной формации ССЕМ [Фортунатова Н.К., М. 1985] (рис.1).

Вторым определяющим объемную СЕМ компонентом является модельная карта типов разреза. Работы по переводу ССЕМ и модельной карты распределения типов разреза в объемную сейсмогеологическую модель состояли из нескольких этапов:

1. ССЕМ была оцифрована с использованием значений интервальных скоростей соответствующих отложений.
2. Карта типов также была оцифрована с шагом 100 метров. Значения узлов сетки - номера трасс получившегося на первом этапе разреза.
3. В результате двумерной свёртки получившейся модели и карты (рис. 2А) была получена 3D сейсмогеологическая модель (рис.2Б).

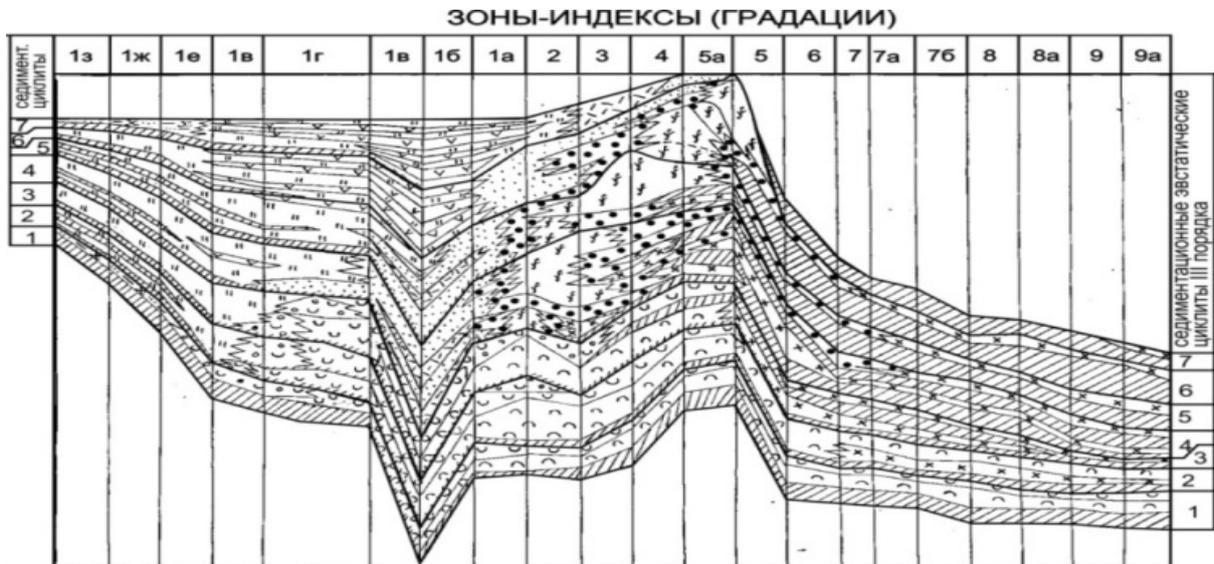
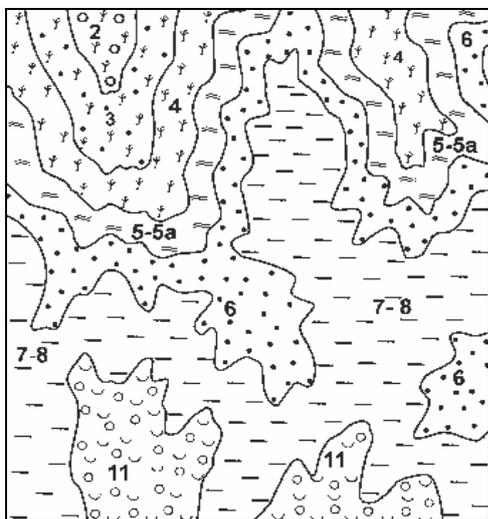
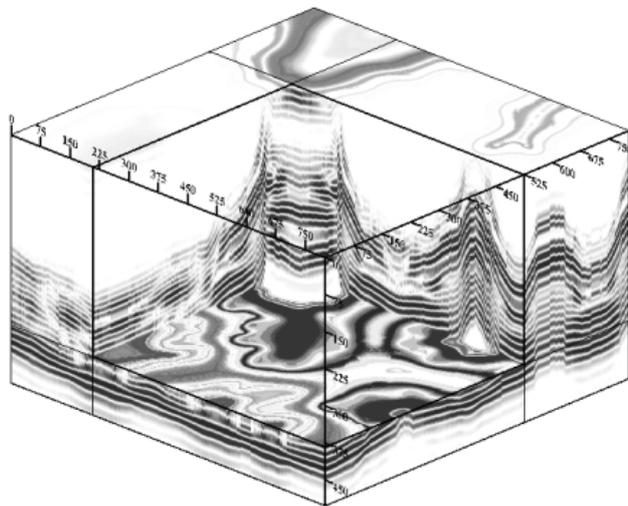


Рис. 1 Стандартная СЕМ бентогенной карбонатной формации.



А



Б

Рис 2 Исходная карта типов (А) и 3D сейсмогеологическая модель карбонатного резервуара (Б)

2.2 Исследование геологических (структурных) и сейсмических характеристик (критериев), используемых для формирования ИСФП.

Для построения сейсмоформационного паспорта разработаны следующие правила:

1. Использовать максимальное количество сейсмической информации (трасс), чтобы охарактеризовать исследуемый участок максимально полно.
2. Структурирование (сортировка) сейсмических трасс должна происходить по простым, геологически обоснованным критериям.
3. На построенном паспорте типы разреза должны выделяться по наборам трасс с однородной сейсмической записью.
4. Границы между типами разреза должны определяться визуальными и программными средствами максимально надежно.

В соответствии с методологией СЕМ и со сложившейся практикой построения ИСФП, основной характеристикой для его будем считать мощность исследуемого (целевого) интервала разреза. Отсортировав все трассы объемной синтетической модели по увеличению мощности модельного разреза, получим ИСФП длиной в 641 тысяча трасс (рис. 3А).

По данному паспорту можно визуально выделить как наборы трасс с устойчивой сейсмической записью, так и границы переходов от одного набора к другому (границы латеральных типов). Однако, в последней четверти трасс наблюдается низкая устойчивость сейсмической волновой картины.

Анализ рис.3А и исходной модели (рис. 1) показал, что такое нарушение устойчивости сейсмической записи происходит из-за того, что соседние трассы модельного разреза берутся из разных латеральных типов. Следовательно, в данном случае сортировка трасс по мощности исследуемого интервала не дала нужного результата, удовлетворяющего пунктам 3 и 4 сформулированных выше правил построения ИСФП. Нарушение тесной связи между типом анализируемого интервала разреза и его мощностью,- является на практике основной причиной осложнений при построении ИСФП.

Для того, чтобы выяснить правильную последовательность трасс и разделить их на группы, соответствующие разным типам разреза, подвергнем полученный ИСФП (рис. 3А) в соответствующем интервале трасс пересортировке по следующим характеристикам рассматриваемого интервала разреза: по увеличению средней энергии, по увеличению средней псевдоакустической скорости, по увеличению среднего значения мгновенной частоты, по увеличению времени залегания кровли исследуемого интервала. Перечисленные характеристики выбраны на основе предполагаемых зависимостей с особенностями внутренней структуры и вещественного состава отложений. В результате сравнения различных вариантов пересортировки показано, что наиболее эффективным алгоритмом пересортировки является параметр глубины залегания кровли исследуемого пласта (рис. 3Б). Это ожидаемый результат, поскольку в реальности накопление осадков происходило на разных глубинах, например, на шельфе и в абиссальной части, где, несмотря на одинаковую мощность накопившихся осадков, их вещественный состав будет сильно различаться. Обработка по динамическим параметрам тоже дала неплохие результаты, но полной распределения трасс по группам не получилось.

Для оптимизации процесса выделения границ однородных зон сейсмической записи по используемой модели, включим разрез с рис. 3Б в общий ИСФП с рис. 3А. В результате получим паспорт (рис. 3В), готовый к выделению типов геологического разреза.

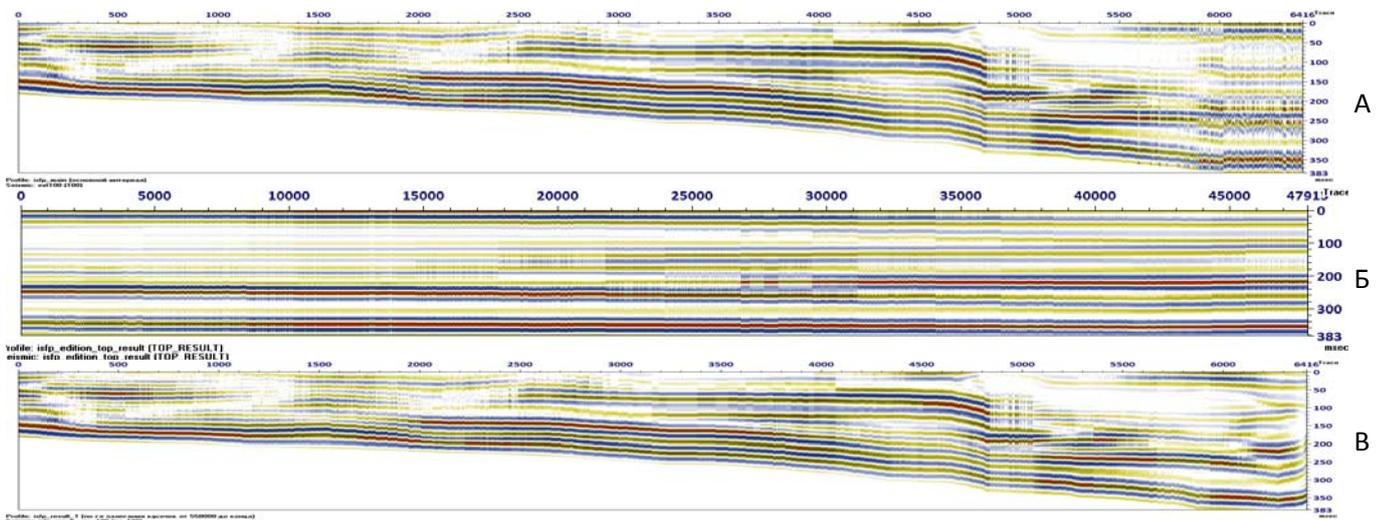


Рис. 3 Интегрированный сейсμοформационный паспорт: А – сортировка всех трасс объемной модели по увеличению мощности; Б – пересортировка последней трети исходного паспорта по глубине залегания кровли исследуемого интервала; В – итоговый

2.3 Исследование влияния на качество ИСФП плотности сейсмических профилей.

Выделим на исходной объемной модели размерностью 10x10 километров (исходная плотность – 80 км/км²) варианты сетей профилей широтного и меридионального простирания, взяв из сейсмического куба: каждую 50-ую трассу и линию, каждую 100-ую, каждую 250-ую трассу и линию. Построим по каждой сети профилей ИСФП, по каждому из которых выделим типы разреза и построим карты типов.

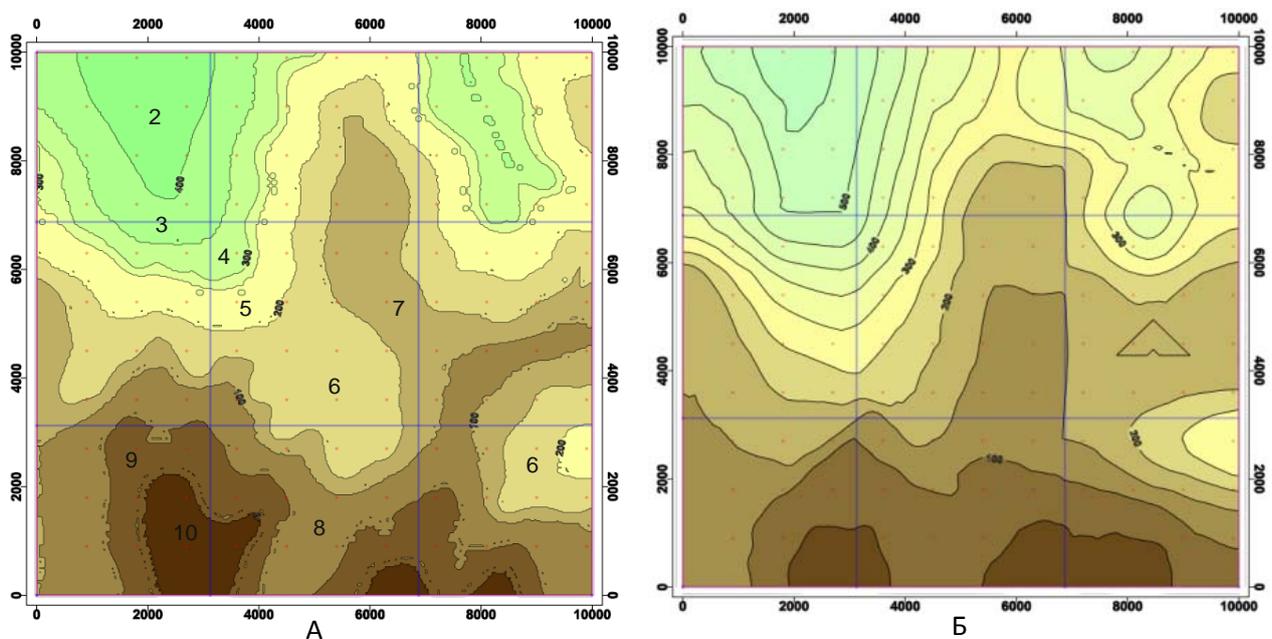


Рис. 4 Карта типов по полному модельному кубу (А) и по максимально прореженному (Б).

Сравнение карт типов, полученных по полному кубу данных (рис. 4А) и по каждому варианту паспорта (рис. 4Б – карта по минимально плотной сети), дало возможность сделать следующие выводы:

- используя технологию ИСФП по всем данным трёхмерной сейсмогеологической модели можно получить карту (рис. 4А), повторяющую исходную карту типов (рис. 2А).
- при уменьшении плотности сети профилей (в случае, когда ИСФП строится по сети профилей) детальность получившейся карты типов снижается, но их количество и общая конфигурация границ сохраняется (рис. 4Б).

2.4 Исследование помехоустойчивости ИСФП.

При построении ИСФП желательно использовать всю полноту сейсмической информации, чтобы охарактеризовать исследуемый бассейн наиболее полно. Однако очевидно, что качество реального сейсмического материала может сильно влиять на получившийся результат.

Одним из требований к интегрированному паспорту является следующее: сейсмический материал, используемый для построения паспорта, должен содержать регулярную сейсмическую информацию, характеризующую исследуемые типы разреза в нормальных для исследуемой территории условиях седиментации и спокойной тектонической обстановке. Все трассы, имеющие в своём составе сильные случайные и регулярные сейсмические помехи, зоны дизъюнктивных дислокаций, зоны интрузивной и соляной активности должны быть устранены из рассмотрения до построения паспорта.

Построим процедуру автоматической отбраковки трасс, основанную на различных алгоритмах расчёта соотношения сигнал/помеха. Соответственно, если трасса не удовлетворяет заданному требованию к качеству сейсмического материала при построении ИСФП, то её исключают из дальнейшего рассмотрения. Условия такой отбраковки не очевидны, так как непонятно, трассы с каким соотношением сигнал-помеха нужно отбраковывать, а с каким нужно оставить. Для исследования этого вопроса было построено пять дополнительных сейсмических моделей. Для этого в основную модель был внесён аддитивный некоррелированный шум разной интенсивности с с/п от пяти до единицы. По каждой из полученных моделей был построен паспорт, выделены типы разреза и построены их карты.

Анализ результатов позволяет сделать вывод, что по ИСФП с внесённым шумом, с с/п=3 (рис. 5А) получаемая карта типов практически неотличима от исходной (рис. 4А).

В результате можно утверждать, что методология ИСФП позволяет строить карты сейсмогеологических типов в тех ситуациях, когда после исключения всех данных с коэффициентом сигнал/помеха ниже трёх, оставшиеся трассы покрывают площадь работ с плотностью, достаточной для построения ИСФП и определения по нему границ типов разреза.

2.5 Оптимизация выделения границ типов разреза по интегрированному сейсμοформационному паспорту.

Выделение типов разреза – заключительный и один из наиболее важных этапов интерпретации разрезов ИСФП. В результате исследований множества паспортов было разработано два подхода в решении этого вопроса: визуальное выделение границ типов разреза напрямую с использованием всего арсенала процедур сейсмической дообработки и СВАН-анализа (пример на рис. 6) и выделение с использованием специального статистического аппарата попарного сравнения трасс – корреляционной матрицы (рис.5Б).

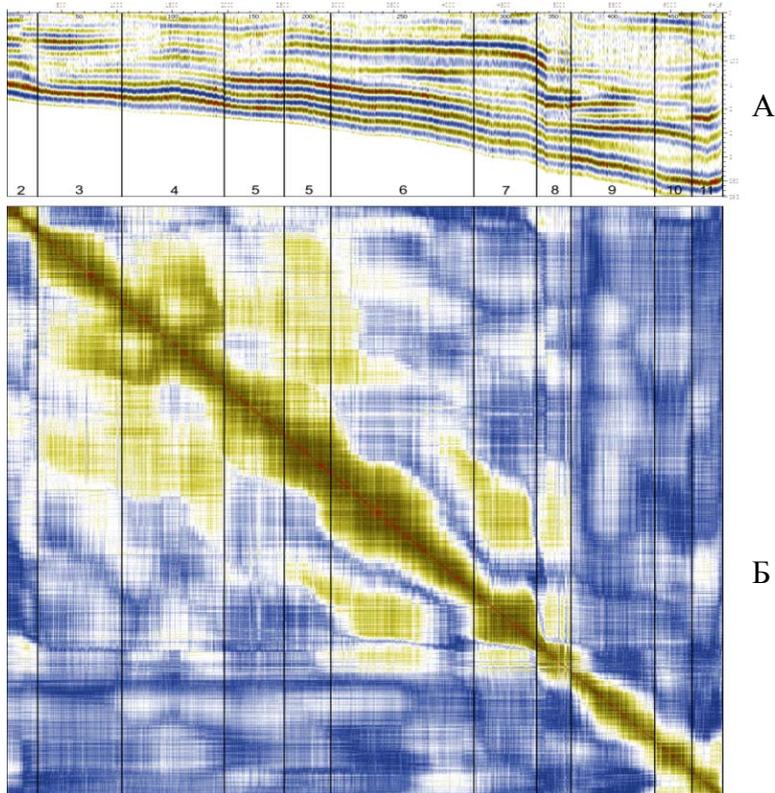


Рис. 5 ИСФП по модели с внесённым шумом с коэффициентом три (А) и корреляционная матрица с выделенными границами типов (Б).

Матрица на рис. 7Б строится следующим способом: для каждой трассы паспорта рассчитывается её КВК со всеми остальными трассами, рассчитанные КВК формируют строки матрицы из расчёта одна трасса – одна строка, в результате получается матрица значений КВК, в строках которой содержится информация о подобии соответствующей трассы со всеми остальными, а по главной диагонали матрицы всегда КВК=1, так как эта матрица по способу своего построения является диагональной.

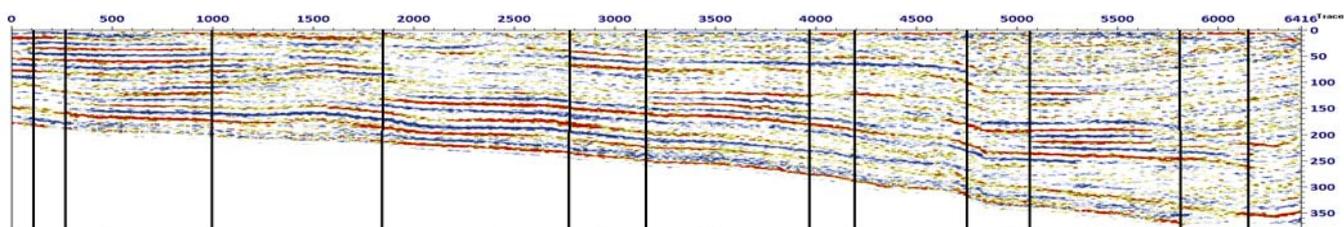


Рис. 6 ИСФП по модели с $s/p=2$ после проведения графа процедур деконволюция+ASWAN+сглаживание в окне 11. Чёрными линиями показаны результаты интерпретации паспорта – границы типов разреза.

На рис. 5 видно, что максимальные значения КВК, как и следовало ожидать, расположены вдоль главной диагонали (цвета от темно-жёлтого до красного). Эти значения высокого КВК формируют квадраты с достаточно чётко очерченными границами. Очевидно, что трассы, относящиеся к этим квадратам можно считать однотипными, то есть составляющими некоторый сейсмолитотип. Границы же квадрата можно считать границами этого типа.

Глава 3. Основные этапы построения и результаты применения технологий «Интегрированного сейсмоформационного паспорта»

Технология «Интегрированного сейсмоформационного паспорта» включает следующие основные этапы:

1. Обработка и интерпретация сейсмических данных, предшествующая построению ИСФП.
2. Формирование ИСФП.
3. Редактирование ИСФП.
4. Выделение типов сейсмогеологического разреза (построение СФА отображений ИСФП и корреляционных матриц).
5. Построение карт типов геологического разреза.

Как было написано выше, перед построением паспорта весь сейсмический материал должен быть обработан и из рассмотрения должны быть исключены все зоны с беспокойной тектонической ситуацией, а также трассы с соотношением сигнал-помеха меньше трёх.

Формирование ИСФП между двумя выделенными отражающими границами. На этом этапе необходимо решить, по какому параметру будет проходить сортировка. Общей рекомендация следующая: начинать формирование паспорта необходимо с сортировки по мощности интервала, далее для досортировок применять другие структурные параметры, а на последнем этапе, в случае необходимости, динамические атрибуты.

Получившийся паспорт должен пройти процедуру редактирования, то есть к нему применяется весь доступный набор процедур по улучшению качества (деконволюция и сглаживание), а также процедуры по сокращению его длины. Важно, чтобы на этом этапе не произошло выпадение трасс, отражающих небольшие локальные геологические типы, поэтому редактирование нужно проводить в несколько этапов, с постоянным визуальным контролем получившегося результата.

После окончания процедур редактирования необходимо переходить к выделению границ типов разреза. Для этого применяется два подхода: с одной стороны, паспорт обрабатывается различными процедурами СФА для того, чтобы подчеркнуть границы типов, а с другой строится корреляционная матрица ИСФП, по которой выделение типов осуществляется по формальным признакам (рис. 7А).

На последнем этапе номера выявленных типов выносятся с паспорта на планшет, то есть каждой используемой трассе присваивается некий

определённый «номер типа», по которым, с использованием стандартных алгоритмов картопостроения строится карта типов (рис. 7Б).

Эффективность технологии ИСФП базируется на сочетании двух основных позиций:

1. Комбинаторная сортировка и упорядочение сейсмических трасс по толщинам целевого комплекса отложений (или другим структурным параметрам), часто по мало детальным структурным картам регионального и рекогносцировочного этапов ГРП,
2. Выделение типов разреза при помощи СВАН-технологий и корреляционной матрицы ИСФП по региональным сейсмическим разрезам, детальность наблюдений на которых чаще всего не уступает поисковой и разведочной.

Именно сочетание этих позиций обеспечивает возможность детального районирования даже относительно слабо изученных сухопутных территорий и акваторий.

Одним из ключевых элементов технологии построения ИСФП является сохранение связи между каждой трассой сейсмоформационного паспорта и её координатами на сейсмическом профиле или кубе, что позволяет рассчитывать и сглаживать по ИСФП параметры и атрибуты и переносить эти значения на их реальное местоположение для построения карт.

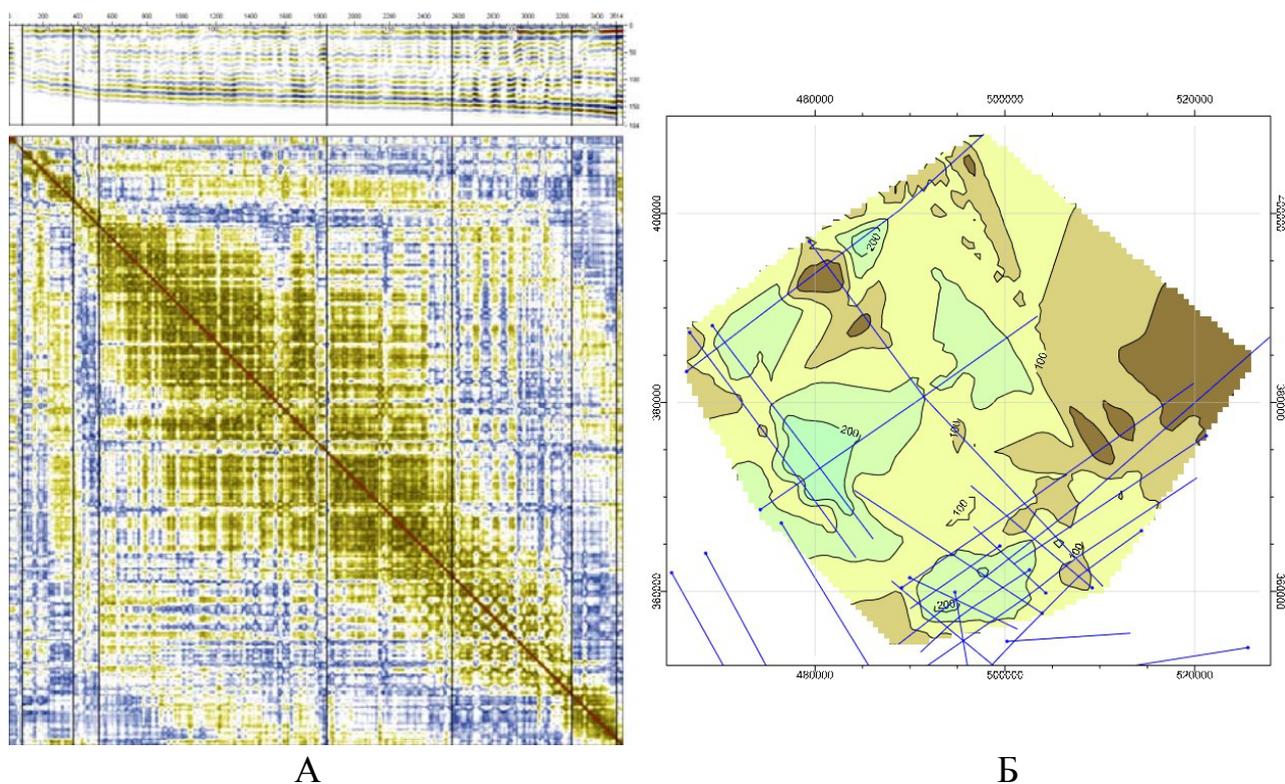


Рис. 7 Выделение типов разреза с использованием корреляционной матрицы ИСФП (А) и построения карты типов (Б).

Глава 4. Опробование технологии ИСФП на экспериментальном материале.

Методология ИСФП проходила опробование как на региональных и поисковых сетях 2D различной плотности, так и при работах с данными 3D.

В частности, при помощи технологии ИСФП выполнено районирование бассейнов Чукотского моря и установлено резкое различие в перспективах возможной нефтегазоносности отдельных частей Чукотской акватории. Мощный (более 8 км) пассивно-окраинный чехол Северо-Чукотского бассейна характеризуется значительно более высокими перспективами нефтегазоносности, что косвенно подтверждается наличием нефтяного месторождения-гиганта Прадхо-Бей на северном побережье Аляски.

Относительно маломощный терригенный чехол Южно-Чукотского бассейна вряд ли может обеспечить формирование крупных скоплений УВ. На его продолжении на Аляску – прогибе Хоуп – проведенные геологоразведочные работы показали возможность открытия только мелких газовых месторождений.

Одновременно с этим, апробация технологии ИСФП выполнена и при работах на поисковом и разведочном этапах ГРР.

Так, по результатам детального районирования одного из месторождений КНР, покрытого объемной съемкой 3D сейсморазведки, был уточнен проект последующей его разработки. При этом были учтены как результаты районирования по ИСФП, так и контролирующие газоносность седиментационные (развитие дистальной дельты) и тектонические (региональное экранирующее тектоническое нарушение) факторы.

При последующей разработке месторождения подготовленный прогноз полностью подтвердился.

Сейсмоформационное районирование акватории Чукотского моря по типам геологического разреза на основе технологии ИСФП

Для построения ИСФП была использована каркасная сеть профилей, составляющая 1300 пог. км. (т.е. 10% от региональной сети – плотность 0,065 км/км²).

В пределах Чукотского моря выделяются Южно-Чукотский (включая прогиб Хоуп на шельфе и побережье Аляски) преимущественно мелкайнозойский и Северо-Чукотский в основном палеозой-мезозойский бассейны, разделенные зоной поднятий Геральда-Врангеля, протягивающейся от мыса Лисберн на Аляске до о-ва Врангеля (рис. 8). Для работ был выбран интервал разреза от неогена до низов среднего мела. Особенности его строения находят своё отражение на карте изопахит (рис. 9). На карте временных изопахит отчетливо и отдельно выделяются Северо-Чукотский и Южно-Чукотский бассейны, разделяемые зоной поднятий Геральда-Врангеля, четко выделяемой интервалом минимальных временных толщин 0-200 мс. Исследуемый комплекс в обоих бассейнах имеет сопоставимую мощность. Карта симметрична

мощностью исследуемого комплекса при помощи специально разработанных для этой цели комбинаторных программных решений.

После выделения по ИСФП при помощи корреляционной матрицы типов разреза их обратное разнесение на планшет (или на исходные профили) выполняется автоматически (рис. 11).

Очевидно, что вынесение на каркасные профили выявленных типов разреза не позволяет построить соответствующие схемы типов по исследуемой площади. Такая возможность появляется только с привлечением карт изопахит по соответствующим интервалам разреза (рис. 9).

Синтез схемы районирования всего участка работ по типам геологического разреза выполнен на основе комплексирования: схемы районирования каркасной сети и структурных карт и схем изопахит целевых комплексов по всему участку работ (рис. 9, 11А). Такое комплексирование предполагает следующие допущения:

- предполагается, что все типы разреза, свойственные участку, и соответствующие им мощности исследуемых комплексов имеют свое отображение на каркасных профилях;
- само комплексирование осуществляется на основе карт изопахит комплексов, на которых каждый тип разреза задается своим диапазоном мощностей;
- в силу вышеизложенного схемы типов разреза геометрически в значительной степени подобны картам изопахит по комплексам; однако это подобие не должно вводить в заблуждение по главному факту: **типы разреза установлены по совокупности параметров и атрибутов на ИСФП, которые и определили результативные диапазоны их толщин.**

Получившаяся в результате карта типов геологического разреза (рис. 11Б) является результатом работ технологии ИСФП.

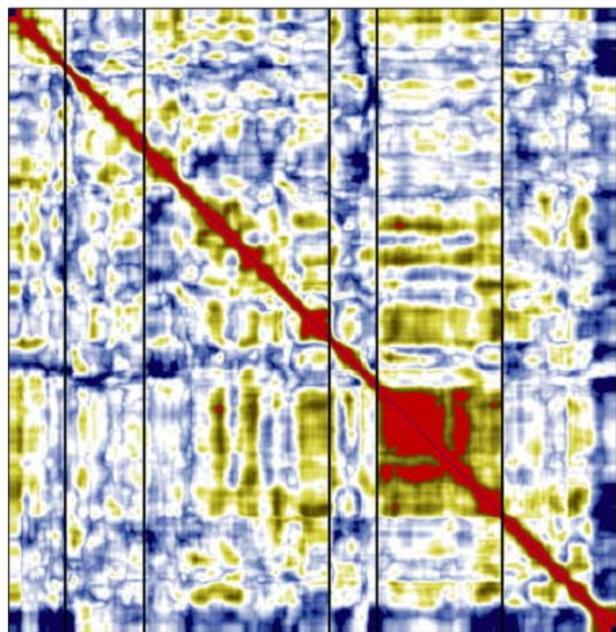
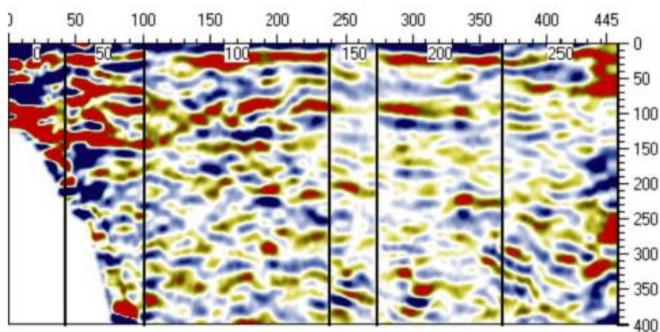
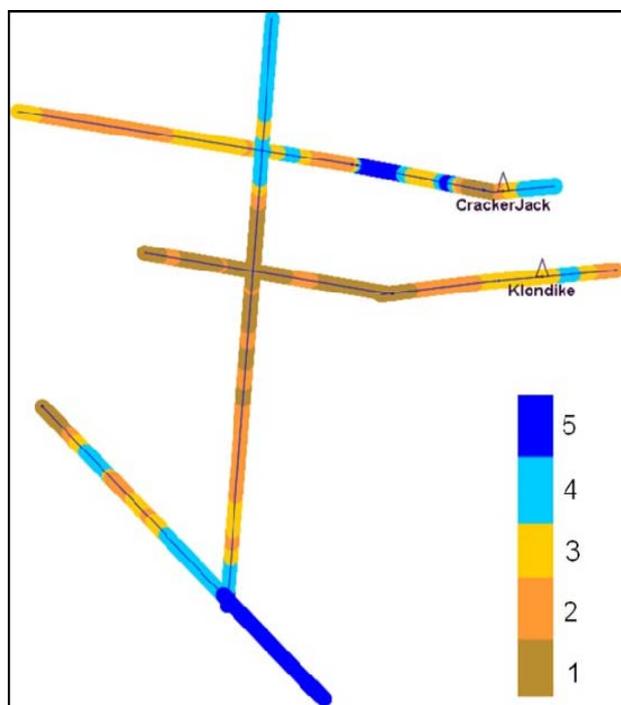
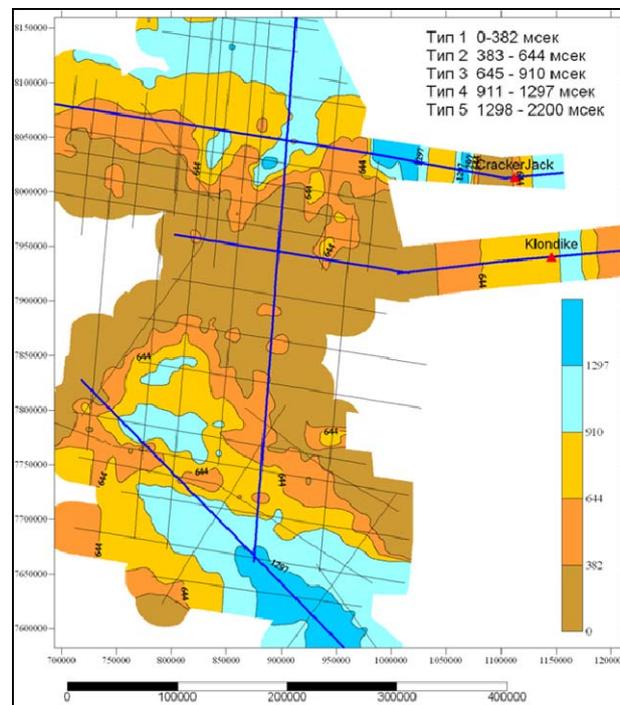


Рис. 10 ИСФП и его корреляционная матрица по интервалу неоген – низы среднего мела.



А



Б

Рис. 11 Разнесение по каркасным профилям типов разреза, выделенных в интервале неоген – низы среднего мела (А) и карта типов геологического разреза (Б), как результат синтеза карты изопахит и выделенных по ИСФП границ типов разреза.

Заключение

Настоящая диссертационная работа является первым комплексным научным анализом уже вошедшей в практику геологической интерпретации сейсмических данных технологии «Интегрированного сейсмоформационного паспорта».

В результате выполненных исследований разработана, исследована и апробирована на модельных и экспериментальных материалах СВАН-ориентированная технология «Интегрированного сейсмоформационного паспорта», позволяющая районировать осадочные бассейны при слабой их изученности, что имеет принципиально важное практическое значение при изучении бассейнов Восточной Сибири, республики Саха, северных и восточных акваторий.

Целенаправленные исследования технологии ИСФП выполнены на основе стандартной седиментационно-емкостной модели (СЕМ). Созданный в результате объемный сейсмический синтетический куб позволил моделировать различные его сечения (вертикальные и горизонтальные – слайсы) и, тем самым, моделировать различные ситуации пересечения синтетических профилей с морфологией и внутренней структурой слагающих разрез геологических тел.

На этой модели исследована помехоустойчивость технологии ИСФП, в результате чего показано, что она является помехоустойчивой к регулярным и нерегулярным шумам при уровне сигнал/помеха, равном и более трёх. Следовательно, для эффективного построения ИСФП необходимо исключить из рассмотрения все данные с отношением сигнал/помеха, ниже трёх, и при этом необходимо оценить насколько прошедший отбраковку материал достаточен для анализа исследуемого участка (оценка информативной плотности наблюдений), поскольку именно по этим сейсмическим данным будет далее построен ИСФП с последующим выделением по нему границ типов разреза.

Показано, что качество построенного ИСФП может быть улучшено с использованием различных стандартных методик дообработки сейсмических разрезов. Установлено, что все сейсмические процедуры дообработки паспорта, в которых используют окна шириной в несколько трасс, должны быть применены к полному ИСФП до его прореживания.

В результате исследований на той же объемной модели показано, что важнейшей причиной осложнений при построении ИСФП является нарушение тесной связи между типом анализируемого интервала разреза и его мощностью. В этой ситуации необходимой становится пересортировка трасс по другому критерию. Экспериментально установлено, что наиболее эффективным алгоритмом дополнительной пересортировки трасс ИСФП для его структурирования по типам разреза является параметр глубины залегания кровли исследуемого интервала разреза.

Дальнейшие исследования показали, что трассы при построении ИСФП могут быть отсортированы по одному из структурных признаков: мощности исследуемого пласта и/или глубине залегания его кровли, а также по другим структурным и динамическим характеристикам. При этом, главная цель сортировки и пересортировки – добиться уверенного выделения однородных интервалов внутри ИСФП – типов разреза.

Различие критериев при этом не нарушает правильности последующего разнесения типов на планшет (для построения карты типов), поскольку все точки ИСФП и планшета координатно строго связаны.

К новым научным результатам можно отнести также разработанные в диссертации алгоритмы процедур сглаживания по ИСФП любых сейсмогеологических атрибутов и параметров, позволяющих существенно детальнее (по сравнению с традиционным площадным сглаживанием по схемам и картам) подчеркнуть исследуемые объекты и типы геологического разреза. Эту новую ИСФП-технологию предстоит еще более широко апробировать при картировании разнообразных геологических объектов разного ранга и масштаба.

В результате выполненных исследований установлено, что эффективность технологии ИСФП базируется на сочетании двух основных позиций:

- комбинаторной сортировке и упорядочения сейсмических трасс по толщинам целевого комплекса отложений (или другим структурным параметрам), часто по мало детальным структурным картам регионального и рекогносцировочного этапов ГРР,
- выделение типов разреза при помощи СВАН-технологий и корреляционной матрицы ИСФП по региональным сейсмическим разрезам, детальность наблюдений на которых чаще всего не уступает поисковой и разведочной.

Именно сочетание этих позиций обеспечивает возможность детального районирования даже относительно слабо изученных сухопутных территорий и акваторий.

Показано, что выделение типов геологического разреза с использованием технологии ИСФП нужно производить с использованием двух, принципиально разных подходов: 1 - интерактивно, с использованием арсенала СВАН-процедур, и 2 - с использованием статистических средств - по корреляционной матрице ИСФП. Совместное применение двух этих технологий в комплексе обеспечивает, как правило, более уверенное и обоснованное решение рассматриваемой задачи.

В заключение необходимо отметить, что в настоящей работе основное внимание автора было направлено именно на развитие технологии ИСФП-районирования исследуемых территорий по типам геологического разреза.

Между тем, полученные карты районирования типов геологического разреза на практике требуют дальнейшего геолого-геофизического анализа и сертификации: каждый выделенный по сейсмическим данным тип должен быть соответствующим образом охарактеризован. Данная работа должна выполняться с применением всех априори известных геолого-геофизических сведений по данным бурения, анализа керна и ГИС. Эта работа требует дополнительных технологий, которые будут разрабатываться автором в процессе дальнейшего развития технологии ИСФП.

Список опубликованных работ по теме диссертации:

Издания из перечня ВАК:

1. Мушин И. А., Белоусов Г. А., Городков А. Б. СВАН-сейсморазведка (спектрально-временной анализ в технологиях сейсморазведки), М., «Геофизика», 2005, с.
2. Мушин И.А., Фортунатова Н.К., Белоусов Г.А. «Технологии построения объёмных седиментационно-емкостных моделей осадочных бассейнов» Технологии Сейсморазведки, М.2012 №1

Другие издания:

3. Интегрированный сейсмоформационный паспорт (ИСФП) осадочного бассейна. Конференция SEG, Санкт-Петербург, 2006г. Авторы: Мушин И.А., Белоусов Г.А., Фролов Б.К.
4. Районирование слабо изученных территорий Восточной Сибири и восточных акваторий по типам геологического разреза на основе методологии интегрированного сейсмоформационного паспорта (ИСФП) Г. А. Белоусов, И. А. Мушин, Б. К. Фролов. //Нефтегазогеологический прогноз и перспективы развития нефтегазового комплекса востока России : сб. материалов науч.-практ. конф. (22-26 нояб. 2010 г.). - СПб., 2010. - С. 294-299.