

На правах рукописи



ДОЛГИХ Юрий Николаевич

**КОМПЛЕКСНАЯ АДАПТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ
ИНВЕРСИИ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ В УСЛОВИЯХ
НЕОДНОРОДНОЙ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА**

Специальность 25.00.10

Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук.

Тюмень – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский индустриальный университет» и Обществе с ограниченной ответственностью «НОВАТЭК Научно-технический центр»

Научный консультант: **Туренко Сергей Константинович** – доктор технических наук, заведующий кафедрой прикладной геофизики ФГБОУ ВО Тюменского индустриального университета, г. Тюмень

Официальные оппоненты: **Гуленко Владимир Иванович** – доктор технических наук, профессор кафедры геофизических методов поисков и разведки ФГБОУ ВО Кубанского государственного университета, г. Краснодар

Жуков Александр Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры геоакустики и сейсмометрии ФГБОУ ВО Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, генеральный директор ООО «Геофизические системы данных», г. Москва

Писецкий Владимир Борисович – доктор геолого–минералогических наук, заведующий кафедрой геоинформатики ФГБОУ ВО Уральского государственного горного университета, г. Екатеринбург

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

Защита состоится 21 февраля 2018 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 212.273.05 при ТИУ по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 56, ауд.113.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотечном информационном центре ТИУ по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72.

Автореферат разослан 16 декабря 2017 г.

Отзывы, заверенные печатью утверждения, в 2 экземплярах просим направлять по адресу 625000, г. Тюмень, ул. Володарского 56, Тюменский Индустриальный Университет, ученому секретарю диссертационного совета Д. 212.273.05. Факс 8(3452)390-346, e-mail: semenovaty@tyuiu.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета



Татьяна Владимировна Семенова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень проработанности темы исследований

Геофизические исследования являются одним из основных источников информации при геологоразведочных работах на нефть и газ.

При этом сейсморазведка является основой для построения геологических, и в частности геометрических моделей месторождений, их структурного каркаса. От точности и достоверности сейсмических построений зависит эффективность поисково-разведочных исследований в нефтегазовой отрасли в целом.

Усложнение геологоразведочных задач на нефть и газ, условий эксплуатации месторождений, повышение конкуренции на нефтяном рынке, предъявляют повышенные требования к эффективности геофизических исследований.

Так как Западная Сибирь находится в стадии глубокого освоения, прирост запасов и ресурсной базы возможен главным образом за счет малоамплитудных (10 – 15 м) и малоразмерных (2 – 5 км) перспективных объектов. Заметим, что в пространственно-временной области аналогичные перспективным объектам параметры имеют наиболее проблематичные для изучения и учета неоднородности верхней части разреза (ВЧР).

Для надежного обнаружения и изучения таких объектов среднеквадратическая погрешность структурных построений не должна превышать 5 м. Данную величину следует считать необходимым (критическим) в современных условиях уровнем точности сейсморазведки.

Традиционные сейсмические исследования не могут обеспечить такой уровень точности глубинно-скоростных моделей (ГСМ) в условиях неоднородной ВЧР.

Наиболее современным подходом к построению ГСМ является выполнение кинематической инверсии сейсмических данных, что предполагает переход от параметров сейсмического волнового поля к геометрическим и скоростным параметрам объектов геологического разреза.

Кинематические подходы к построению ГСМ получили значительный импульс развития в 70-80-х годах прошлого века благодаря таким выдающимся геофизикам, как Гольдин С.В., Урупов А.К., Глоговский В.М., Жданович В.В. и др.

В эти годы на основе математических методов была создана необходимая теоретическая база, апробированы первые отечественные компьютеризированные технологии кинематической обработки и интерпретации сейсмических данных МОВ-ОГТ, которые внесли существенный вклад в дело освоения Западной Сибири.

Но со временем наряду с существенными успехами практического применения выявились и естественные ограничения кинематических подходов к построению ГСМ. Эти ограничения обусловлены общей некорректностью обратной

кинематической задачи сейсморазведки и множеством факторов неоднозначности, как технико-методических, так и геологических.

Для обеспечения современных требований к точности сейсмического метода необходимо выполнение ряда условий. Это, прежде всего, увеличение точности определения кинематических параметров волн, относящихся к ВЧР и целевым горизонтам, что достигается путем проведения специализированных работ (зондирование и профилирование МПВ, МСК), применения современных полевых технологий работ МОВ-ОГТ 3D, а также использования более адекватных моделей среды и обработки.

В настоящее время в Западной Сибири имеется положительный опыт применения (с 1998 г.) многоуровневых сейсмических исследований МОВ-ОГТ 2D (3D), основанных на получении в поле дополнительной информации о ВЧР за счет использования специализированной приемно-регистрирующей системы с малым (2-10 м) шагом приемных каналов [2, 6, 16, 17, 20, 22-33].

Для традиционных технологий сейсморазведочных работ МОВ-ОГТ 3D некоторое приближение по эффективности к возможностям подобных исследований обеспечивается при использовании данных кондиционной (0,8 – 1,2 км) сети МСК.

Весьма перспективным направлением совершенствования методики трехмерных сейсмических исследований является так называемая Q-технология (по сути - многоуровневая сейсморазведка МОВ-ОГТ 3D), основанная на применении точечных цифровых датчиков при кратном (4-5 раз) уменьшении шага между приемными каналами [18]. Все упомянутые выше технологии имеют в Западной Сибири значительную перспективу.

Получаемая в рамках многоуровневых исследований дополнительная и более точная информации об искажающих объектах ВЧР позволяет повысить точность ГСМ и достоверность оценки точности модели - в поверхностных и глубинных сейсмических условиях, сходными с северными районами Западной Сибири, а также обосновать соответствующие потребностям настоящего времени требования к методике полевых сейсморазведочных работ МОВ-ОГТ.

Таким образом, в настоящее время существуют проработанные в разной степени отдельные решения, отдельные элементы технологии кинематической инверсии, способной обеспечить достижение необходимого в современных условиях уровня точности результативных ГСМ, но не решена задача интеграции, комплексирования и согласования различных этапов, методов и уровней геофизических исследований.

Назрела необходимость разработки и применения специализированной, комплексной технологии сбора, обработки и интерпретации геофизических данных, включающей как технико-методические аспекты получения исходной информации, так и методические приемы обработки - интерпретации, а также способы оценки точности параметров и результативной ГСМ.

Дальнейшее повышение эффективности сейсмических исследований требует интеграции имеющихся отдельных решений в рамках единой технологии:

- применимой к широкому спектру поверхностных и глубинных условий,
- интегрированной во все этапы сейсмических исследований,
- ориентированной на достижение конкретных количественных показателей точности ГСМ и параметров ВЧР,
- имеющей внутренние механизмы контроля качества данных и самой ГСМ,
- предусматривающей обратную связь между всеми основными этапами процесса сейсмических исследований,
- адаптивной по отношению к основным параметрам применяемых методик (на всех этапах реализации технологии),
- основанной на принципах и информационной базе многоуровневых исследований.

Цель исследований

Разработать комплексную адаптивную технологию кинематической инверсии данных сейсморазведки, обеспечивающую необходимый в настоящее время уровень точности ГСМ изучаемого разреза в условиях неоднородной ВЧР.

Задачи исследований

1. Выполнить анализ основных проблем сейсмических исследований в части изучения/учета влияния ВЧР и построения ГСМ изучаемого разреза.
2. Разработать комплексный технологический и методический подход к решению задачи кинематической инверсии в условиях неоднородной ВЧР.
3. Обосновать условия, необходимые для выполнения современных требований к точности глубинных моделей изучаемых объектов.
4. Выполнить количественный анализ влияния типовых неоднородностей ВЧР на точность результативных ГСМ.
5. Оценить на основе имитационного моделирования тенденции и величины остаточных погрешностей ГСМ при учете типовых неоднородностей ВЧР статическими поправками.
6. Оценить тенденции и величины остаточных погрешностей ГСМ при использовании упрощенных моделей ВЧР в томографических алгоритмах кинематической инверсии.
7. Разработать способы адаптации параметров технологии кинематической инверсии и моделей объектов ВЧР.
8. Провести апробацию разработанной комплексной адаптивной технологии кинематической инверсии.

Научная новизна

1. Впервые для условий неоднородной ВЧР разработана комплексная адаптивная технология кинематической инверсии данных сейсморазведки и соответствующая модель формирования погрешности. Структура технологии согласована с основными глубинными уровнями, геофизическими методами и этапами исследований геологических объектов. Основой технологии является последовательный (сверху вниз) подход к изучению и построению глубинно-скоростной модели среды (ГСМ), включающий цепочки обратной связи и «веховые» точки (в которых принимаются решения о переходе к следующему этапу построения ГСМ, возврате на предыдущий, либо проведении дополнительных исследований), ориентированный на достижение конкретных количественных показателей точности ГСМ, содержащий внутренние механизмы адаптации и контроля качества данных на всех стадиях реализации, основанный на принципах и информационной базе многоуровневых сейсмических исследований.

2. Впервые на основе имитационного кинематического моделирования для соответствующего реальным условиям набора типов и размеров неоднородностей ВЧР, а также глубин отражающих горизонтов, выполнен количественный анализ закономерностей и величин остаточных погрешностей сейсмических глубин после учета влияния ВЧР статическими поправками. Кроме того, для томографических алгоритмов впервые определены закономерности и характерные величины остаточных погрешностей результативных ГСМ, обусловленные набором принимаемых допущений о свойствах модели перекрывающей толщи.

3. Впервые для этапа интерпретации сейсмических данных разработан метод коррекции сейсмических глубин, основанный на использовании закономерностей между параметрами ВЧР и погрешностями определения глубин целевых горизонтов, позволяющий учесть влияние основных неоднородностей ВЧР на геометрию геологической модели.

4. Впервые разработана комплексная технология обработки данных современной трехмерной сейсморазведки, решающая задачи контроля условий возбуждения волн, оценки фактической глубины погружения заряда, построения модели зоны малых скоростей (ЗМС) и подстилающего слоя, основанная на комплексировании данных сети микросейсмокаротажа (МСК) с данными преломленных и отраженных волн съемки 3D и обеспечивающая наиболее полное использование всей имеющейся информации о строении и влиянии ВЧР.

Теоретическая и практическая значимость работы

При существующей в настоящее время тенденции неуклонного уменьшения пространственных размеров перспективных объектов и усложнения геологических задач, комплексная адаптивная технология кинематической инверсии является перспективным направлением исследований, позволяющим в сложных условиях

северных районов Западной Сибири повысить геолого-экономическую эффективность геологоразведочных работ.

Разработанная комплексная технология кинематической инверсии данных МОВ-ОГТ обеспечивает повышение точности и достоверности моделей геологических объектов, способствует снижению геологических рисков и неопределенностей, создает предпосылки для более эффективного использования современных программных средств обработки и интерпретации сейсмических данных.

Полученные методические и технологические решения используются при проектировании соответствующих современным требованиям к точности МОВ-ОГТ полевых сейсморазведочных работ и составлении разделов геологических заданий, в части, касающейся методики учета ВЧР и построения глубинно-скоростной модели.

Разработанная и свободно распространяемая автором программа имитационного кинематического 2D-моделирования слоистых неоднородных сред (REFRA+) позволяет квалифицированным специалистам решать широкий круг задач, связанных с оценкой влияния скоростных неоднородностей разреза и анализом остаточных погрешностей различных моделей кинематической обработки.

Основанная на материалах настоящей работы монография «Многоуровневая сейсморазведка и кинематическая инверсия данных МОВ-ОГТ в условиях неоднородной ВЧР» используется в учебном процессе студентами и аспирантами по специальности.

Методология и методы исследования

В процессе работы использовались следующие методы исследований: анализ и обобщение материалов открытых источников, систематизация полученных ранее решений и результатов, имитационное моделирование, анализ и обобщение результатов моделирования, аналитический и информационный подходы.

Фактический материал диссертации составляют изложенные в соответствующих публикациях и отчетах результаты научно-исследовательских и производственных работ, проведенных на более чем 60 площадях в различных регионах России.

Защищаемые положения

1. Разработанная комплексная адаптивная технология кинематической инверсии данных сейсморазведки в условиях неоднородной ВЧР обеспечивает необходимый для поиска и разведки малоамплитудных (10–15 м) малоразмерных (2–5 км) объектов уровень точности и достоверности геологических моделей.

2. Разработанная модель формирования погрешности кинематической инверсии, основанная на последовательном раздельном анализе основных влияющих факторов, повышает точность оценки пространственного распределения погрешностей и позволяет организовать адаптацию параметров технологии на всех этапах построения глубинно-скоростной модели геологического разреза.

3. Разработанный метод коррекции сейсмических глубин, основанный на исследовании закономерностей между параметрами ВЧР и погрешностями сейсмических глубин, позволяет учесть влияние основных неоднородностей ВЧР на геометрию геологической модели.

Степень достоверности и апробация результатов

Результаты составляющих основу диссертации исследований докладывались на: Международной научной конференции, посвященной 90-летию академика Пузырева Н.Н. (г. Новосибирск, Академгородок, 2004 г.); научно-практической конференции, посвященной 60-летию образования Тюменской области (г. Тюмень, 2004 г.); VII, VIII и IX международных научно-практических конференциях (г. Геленджик, 2005-2007 гг.); Международной конференции и выставке (г. С-Петербург, 2006 г.); Международных академических конференциях (г. Тюмень, 2007-2008 гг.); научно-практической конференции «Проблемы эффективности геофизических исследований при разведке и разработке месторождений нефти и газа в Западной Сибири» (г. Тюмень, 2010 г.); первой международной научно-практической конференции «Проблемы геологии и геофизики нефтегазовых бассейнов и резервуаров» (г. Сочи, 2011 г.); научно-практической конференции «Состояние и перспективы совершенствования методов обработки и интерпретации результатов геофизических исследований при поисках, разведке и эксплуатации месторождений нефти и газа Западной Сибири» (г. Тюмень, 2011 г.); научно-практической конференции «Эффективность решения геологических задач разведки и эксплуатации методами геофизических исследований» (г. Тюмень, 2012 г.); научно-практической конференции «Современные технологии нефтегазовой геофизики» (Тюмень, 2016 г.); основные результаты опубликованы в журналах «Нефть и газ», «Приборы и системы разведочной геофизики», «Территория НЕФТЕГАЗ», «Горные ведомости», «Геофизика», «Технологии сейсморазведки», «Нефтяное хозяйство».

Публикации

Материалы, включенные в состав диссертационной работы, опубликованы в 1 монографии, 32 статьях, докладах и тезисах, имеется 1 патент на изобретение.

Объем и структура работы

Диссертация включает 6 глав, текст состоит из 306 машинописных страниц, содержит 115 рисунков, 10 таблиц, библиография – 200 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Рассматривается актуальность и степень проработанности темы исследований, формулируется цель, излагаются задачи и научная новизна выполненных исследований, их научная и практическая значимость, личный вклад, использованные методы и методология, защищаемые положения, достоверность и степень апробации результатов исследований. Приводится краткое описание содержательной части глав диссертационной работы.

Глава 1. Пути повышения точности и достоверности сейсмических моделей в северных районах Западной Сибири

В настоящей главе рассматриваются теоретические и методические предпосылки, необходимые для получения адекватных сейсмических моделей. Анализируются субъективные и объективные факторы, оказывающие определяющее влияние на точность и достоверность сейсмических моделей. Обосновывается рациональная последовательность и этапность учета влияющих факторов ВЧР, рассматриваются методические условия, обеспечивающие точность структурных построений.

В процессе работы над данным разделом диссертации автор опирался на результаты исследований Бевзенко Ю.П., Гершаника В.А., Ждановича В.В., Кривокурцева В.И., Логовского В.И. и др.

Термин «многоуровневая сейсморазведка», введенный в оборот Ю.П. Бевзенко более 20 лет назад, изначально подразумевал технологию, ориентированную на изучение разных глубинных уровней разреза, прежде всего – ВЧР.

В настоящее время термины «многоуровневая, многоуровневый» следует трактовать расширительно - как совокупность технологических и методических подходов в сейсмических исследованиях, обеспечивающих последовательное (сверху вниз) построение ГСМ разреза, включая модель ВЧР [7, 8, 10, 13-15, 38-45].

На рисунке 1 приведен фрагмент геокриологической карты Западной Сибири, включающий (частично) центральную и северную геокриологические зоны, с нанесенными контурами площадей, при отработке и обработке которых применялись, в той или иной степени, принципы многоуровневых исследований.

На рисунке 2 представлены результаты прямого кинематического моделирования для 3-х видов неоднородностей ВЧР – рельефа, ЗМС и мерзлоты (для полупериода $T/2$ неоднородности – 10 км).

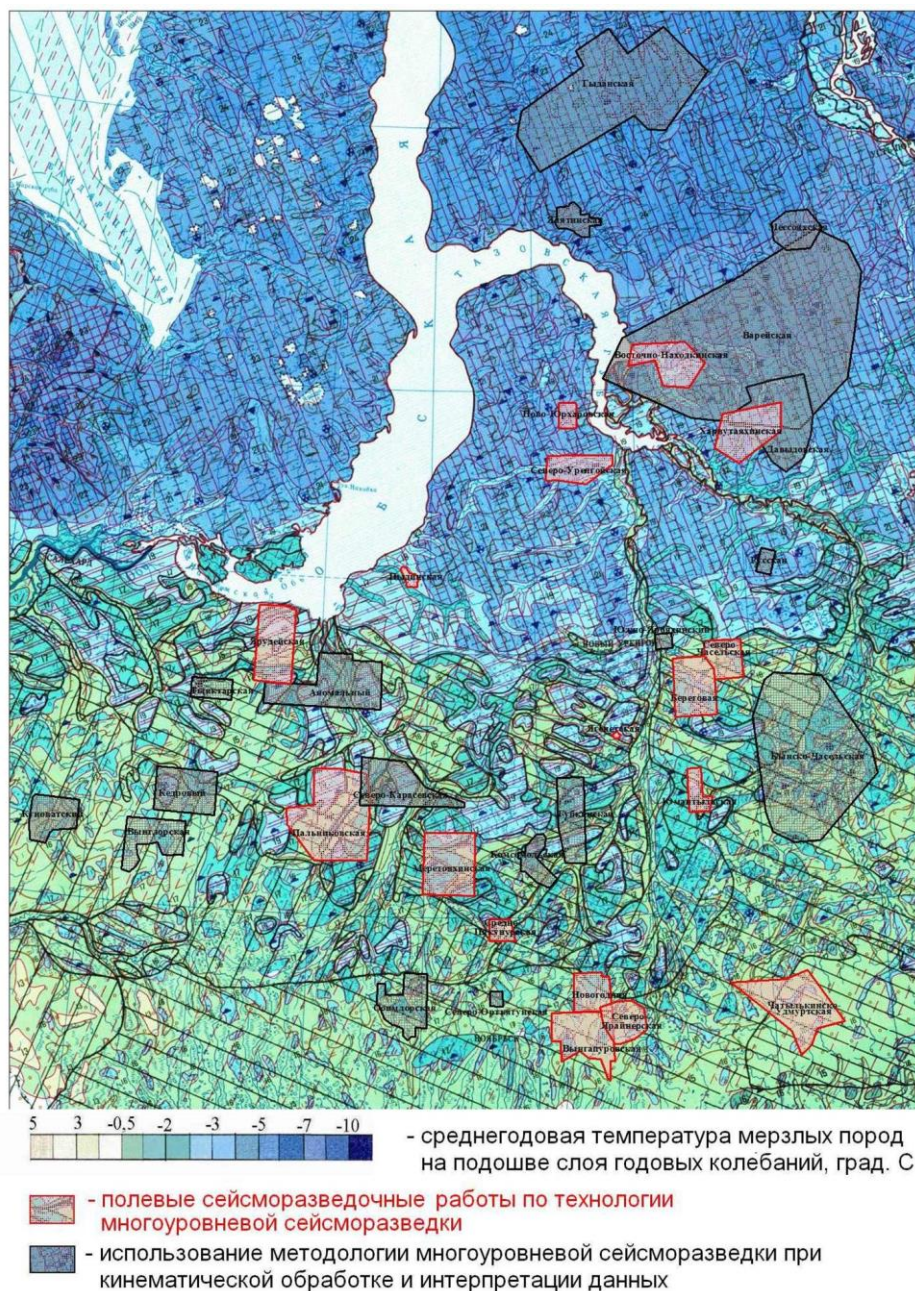


Рисунок 1 - Фрагмент геокриологической карты Западной Сибири с указанием площадей применения технологии многоуровневых сейсмических исследований

Сейсмические отображения моделей (верхний ряд) показаны в двух вариантах – исходном (средний ряд) и после ввода корректирующих статических поправок за неоднородности (нижний ряд).

Базовая модель в данном эксперименте представляет собой совокупность плоских горизонтальных слоев толщиной 200 м каждый, залегающих в интервале

глубин 400 - 3400 м, пластовая скорость в которых увеличивается с глубиной с плавно уменьшающимся градиентом, ВЧР представлена слоями со скоростью 1700 м/с (РЕЛЬЕФ), 2500 м/с (МЕРЗЛОТА), 500 м/с (ЗМС), толщина первого слоя меняется по гармоническому закону таким образом, чтобы для глубинных горизонтов в поле то наблюдались гармоничные знакопеременные аномалии с предельным отклонением ± 30 мс, идентичные для моделей типа «РЕЛЬЕФ», «МЕРЗЛОТА», «ЗМС». Выборка $T/2$ неоднородностей в эксперименте – 1-6, 10, 12, 15, 20, 30, 60 км – т.е. был охвачен практически весь значимый спектр пространственных аномалий.

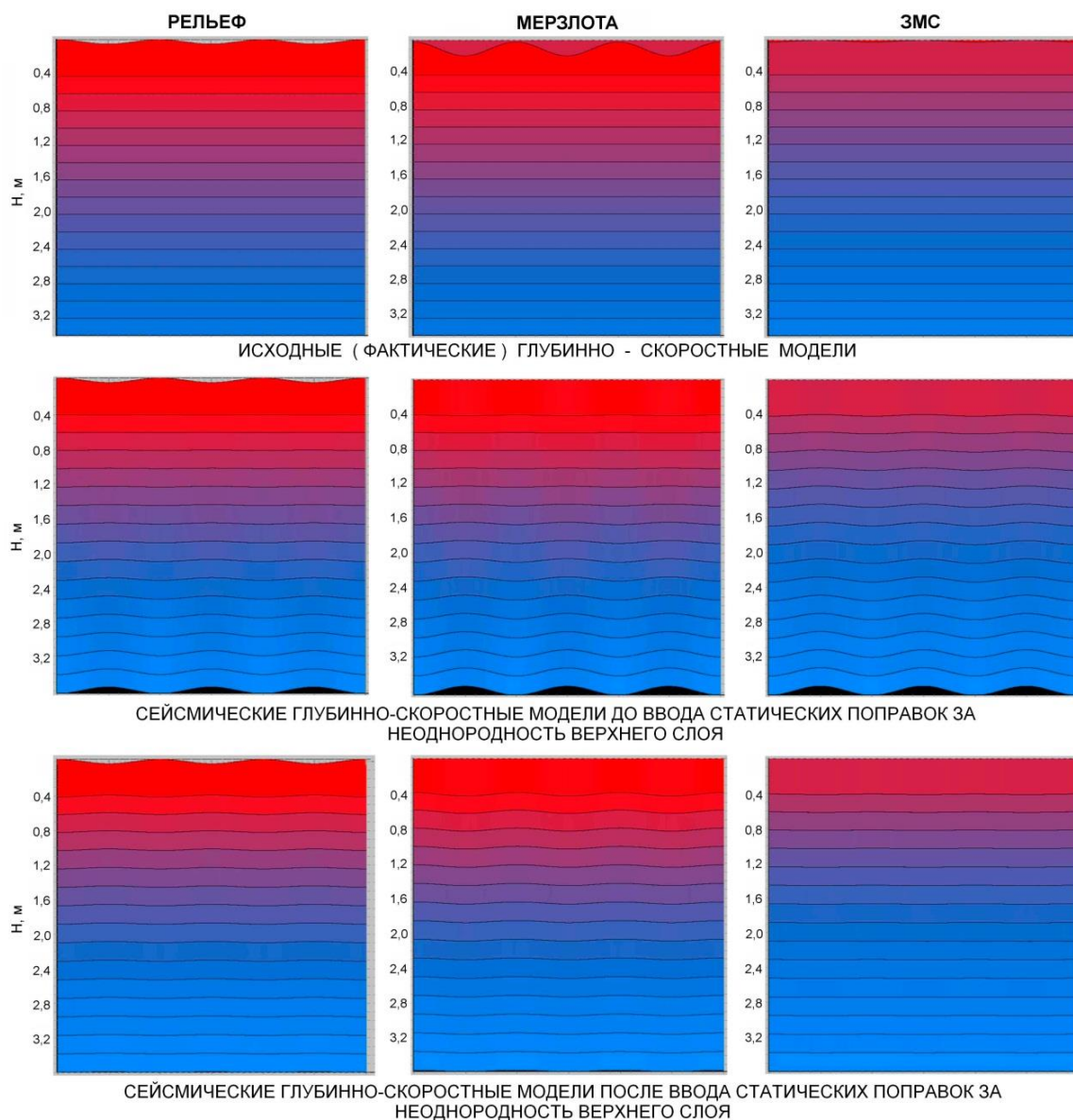


Рисунок 2 - Сопоставление глубинно-скоростных моделей различных типов неоднородностей ($T/2=10$ км)

Из результатов данного моделирования может быть сделан общий вывод о принципиальной возможности построения точных (среднеквадратически порядка 5 м) глубинно-скоростных моделей неглубоких (600-800 метров) горизонтов при предварительном учете влияния ЗМС статическими поправками и работе на

«плавающим» уровне приведения, но, в то же время, непригодности в целом статических поправок для решения проблемы учета влияния рельефа и мерзлоты во всем интервале глубин и размеров аномалий – из-за неучета «эффекта преломления» сейсмического луча в модели статики.

Среднеквадратическая погрешность глубины 5 м, согласно теории вероятностей, обеспечивает обнаружение структуры амплитудой 10 м с вероятностью 90 % (для прямоугольного распределения), поэтому среднеквадратическую точность 5 м в современных условиях можно рассматривать в качестве необходимой, критической величины. Если реальная погрешность результатов сейсмической съемки больше критической – обнаружение перспективного объекта с упомянутой вероятностью уже не обеспечивается.

Для обеспечения такого уровня точности необходимо применять комплексную адаптивную технологию кинематической инверсии данных сейсморазведки.

Принципиальная блок-схема упомянутой комплексной адаптивной технологии кинематической инверсии приведена на рисунке 3.

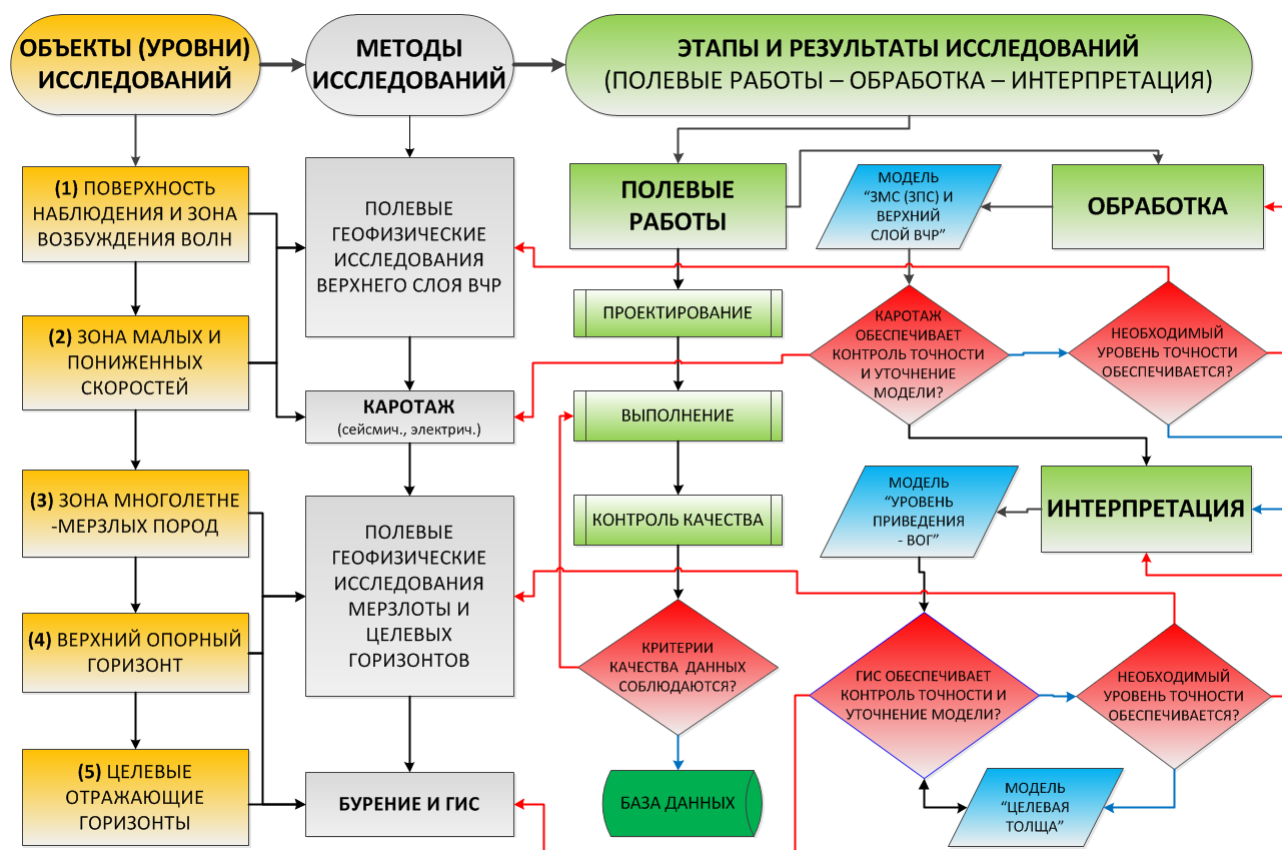


Рисунок 3 - Принципиальная блок-схема комплексной адаптивной технологии кинематической инверсии данных сейсморазведки в условиях неоднородной ВЧР (для северных районов Западной Сибири)

Схема состоит из 3 блоков, все основные элементы которых согласованы с глубинами изучаемых объектов, а также методами и этапами их исследований.

В основе схемы – последовательный (сверху вниз) подход к изучению и построению ГСМ разреза, характерный для практики многоуровневой сейсморазведки.

В схеме присутствуют цепочки обратной связи и «веховые» точки, в которых принимаются решения о переходе к следующему этапу построения ГСМ, возврате на предыдущий, а также о необходимости проведения дополнительных исследований.

Первый уровень исследований относится к поверхности наблюдений и зоне возбуждения волн. На нем решаются задачи определения вертикального времени, постфактум-контроля глубины погружения заряда и оптимальности условий возбуждения волн, расчета времени пробега и средней скорости в ЗМС.

Для успешного решения этих задач необходимо использование первых вступлений в самом ближнем интервале удалений при малом (2-10 м) шаге приемных каналов.

Наибольшее значение здесь имеет точность определения вертикального времени и глубины погружения заряда, поскольку эти параметры являются ключевой априорной информацией.

Второй уровень исследований ориентирован на изучение и построение модели зоны малых и пониженных скоростей – ЗМС (ЗПС), оценку скорости в подстилающем слое, выявление зон развития приповерхностной мерзлоты.

Успешное решение этих задач возможно на основе комбинированного использования вертикального времени, первых вступлений и каротажа неглубоких скважин (МСК).

Отсутствие или недостаточность данных МСК является основанием для проведения этих исследований, недостаточная точность модели верхнего слоя ВЧР по результатам контроля МСК – основанием для проведения специализированных исследований ВЧР или корректировки параметров основной сейсмической съемки.

Что касается необходимых количественных показателей точности модели верхнего слоя ВЧР, то по результатам расчетов, выполненных Бевзенко Ю.П., было установлено, что применение специализированных прямых методов изучения ВЧР способно обеспечить определение параметров верхнего слоя модели с общей среднеквадратической погрешностью порядка 1,5 мс (если перевести параметры модели в величину временной поправки).

Этот уровень точности и является критическим для эффективного решения задач кинематической инверсии.

Третий уровень исследований ориентирован на изучение толщи многолетнемерзлых пород и построение ее эффективной глубинно-скоростной

модели на основе комплексного использования волн первых вступлений и отраженных волн неглубоких горизонтов, связанных с границами мерзлоты (чаще с кровлей, при благоприятных условиях – с подошвой).

Для успешного решения этих задач требуются специализированные полевые геофизические исследования: МОВ-микроОГТ, МОВ-ОГТ 2D и 3D (в том числе многокомпонентные) в модификации UNIQ/Q, георадарные технологии электроразведки повышенной глубинности, малоглубинные ЗСБ.

С точки зрения адаптации геофизической модели крайне важна скважинная информация о распределении свойств мерзлоты, которую можно извлечь из исследований ВСП и ГИС.

Четвертый уровень исследований – верхний опорной горизонт, залегающий на первые сотни метров ниже подошвы ММП, что для северных районов Западной Сибири соответствует интервалу глубин 500-800 м.

Согласно имеющимся расчетам [7, 8, 15], если точность модели верхнего слоя ВЧР составляет (среднеквадратически) 1,5 мс, то при фланговой кратности не менее 6-и и соотношении L_{\max}/H не менее 1,5 для ВОГ может быть обеспечен критический (5 м) уровень среднеквадратической погрешности определения сейсмической глубины $H = t_0 * V_{\text{ОГТ}} / 2$.

Задача данного уровня – восстановить (с необходимой критической точностью) структурную поверхность ВОГ на основе использования всей совокупной информации о модели вышележащей толщи.

Методы контроля точности – по внутренней сходимости сейсмических глубин или скважинным данным.

Отсутствие или недостаточное количество скважинных данных ограничивает возможности адаптации параметров технологии кинематической интерпретации и может привести к остаточным длиннопериодным искажениям результативной ГСМ.

Недостаточная точность сейсмической ГСМ по внутренней сходимости является основанием для применения более оптимальной методики полевых сейморазведочных работ, недостаточная точность сейсмической ГСМ по скважинным данным (при хорошей внутренней сходимости) является основанием для адаптации параметров технологии кинематической интерпретации.

Если оценки точности ГСМ по внутренней сходимости и скважинным данным близки или совпадают – то значит внутренние резервы оптимизации технологии построения ГСМ исчерпаны, а дальнейшее снижение неопределенностей ГСМ применительно к данной методической реализации сейсмической съемки уже нереализуемо.

Все сказанное выше полностью применимо и к пятому, конечному этапу построения ГСМ, ориентированному на целевые отражающие горизонты ниже ВОГ.

Глава 2. Кинематическая инверсия данных МОВ-ОГТ в северных районах Западной Сибири

В главе рассматриваются наиболее значимые факторы, снижающие точность и достоверность кинематической инверсии, даются рекомендации по анализу и устранению (минимизации) влияния упомянутых факторов – применительно к реальным условиям на основе существующих инструментов обработки. Демонстрируются некоторые практические примеры использования рекомендуемых приемов. Акцентируется внимание на авторском подходе к видению структуры и оценке погрешности результатов кинематической инверсии, рассматриваются основные факторы неоднозначности кинематической инверсии в условиях Западной Сибири. Приводятся результаты основанных на прямом кинематическом моделировании экспериментов, позволяющих оценить последствия использования упрощенных моделей слоя, моделирующего ВЧР, в том числе в томографических алгоритмах. Обосновываются и формулируются принципы рациональной методики кинематической инверсии сейсмических данных.

В процессе работы над данным разделом диссертации автор опирался на результаты исследований Бляса Э.А., Денисова М.С., Урупова А.К., Гольдина С.В., Глоговского В.М., Ждановича В.В., Маловичко А.А., Митрофанова Г.М, Пузырева Н.Н., Плесси Р-Э., Трояна В.Н. и др.

Структура погрешности кинематической инверсии.

Погрешность глубинно-скоростной модели, построенной в результате кинематической инверсии, равнозначна погрешности сейсмического метода, определяющейся, в свою очередь, погрешностью сейсмоструктурных построений (S).

Если глубинно-скоростная модель сейсморазведки формируется на основе кинематических (t_0 и $V_{огт}$) параметров отражающих горизонтов, то погрешность сейсмоструктурных построений (S) будет иметь 2-е главных составляющих:

- обусловленную совокупностью влияния случайных факторов погрешность *определения* сейсмической глубины $H = t_0 * V_{огт} / 2$ на основе параметризации (t_0 , $V_{огт}$) годографа ОГТ - **Sh**;

- обусловленную совокупностью влияния системных факторов погрешность *соответствия* сейсмической и фактической глубины (**Smod**).

Отсюда, при условии статистической независимости этих составляющих:

$$S = \sqrt{S_{\mathbf{h}}^2 + S_{\mathbf{mod}}^2}$$

Погрешность *определения* сейсмической глубины **Sh** обусловлена, главным образом, факторами вполне объективными, связанными с адекватностью методики и качеством полевого материала. Погрешность *определения* сейсмической глубины -

это данность, которая может быть улучшена путем оптимизации упомянутых факторов и в значительно меньшей степени - средствами обработки.

В отличие **Sh**, погрешность соответствия сейсмических и фактических глубин **Smod** поддается корректировке средствами обработки в неизмеримо большей степени [13, 15, 43], поскольку зависит от многих субъективных факторов и обстоятельств, связанных с адекватностью применяемой методологии кинематической обработки и интерпретации.

Если допустить, что названные составляющие общей погрешности статистически независимы и имеют равный вес, то принципиального повышения точности сейсмоструктурных построений (читай, кинематической инверсии) можно добиться только за счет одновременной и равноценной минимизации погрешностей *определения и соответствия* сейсмических глубин **Sh** и **Smod**.

Новизна авторского подхода состоит в том, что природа погрешностей при этом уже не имеет принципиального значения, грань проходит по соотношению размера аномалии и длины годографа.

Если неоднородность намного меньше длины годографа – это погрешность параметризации **Sh**, если сопоставима и больше – погрешность модели **Smod**.

Наиболее адекватный способ оценки **Sh** – по внутренней сходимости сейсмических глубин (на пересечениях, если речь идет о 2D, или с использованием скоростного анализа в ортогональных азимутальных секторах для 3D).

Smod можно оценить путем прямого кинематического моделирования или на основе карт трендовой длиннопериодной составляющей невязки сейсмической ГСМ с данными бурения.

В таблице 1 приведены основные системные факторы неоднозначности кинематической инверсии сейсмических данных, указаны основные негативные эффекты, даны рекомендации по способам устранения.

Ниже приводится ряд иллюстраций (рисунки 4-6), имеющих отношение к практическим аспектам изучения и учета нескольких упомянутых выше факторов.

Рисунок 4 содержит серию карт и поясняющую суть явления схему, демонстрирующие значимость проблемы учета погрешностей, обусловленных использованием постоянного уровня приведения для расчета статики за рельеф при наличии значительных перепадов альтитуд рельефа в пределах площади работ (в нашем случае – порядка 150 м на участке работ 3D в средней полосе России).

Серия карт и кроссплотов на рисунке 5 демонстрирует последовательную трансформацию структурных планов по опорным горизонтам Г и Б, изменение сходимости сейсмических времен и глубин с данными бурения на различных этапах (1-3) построения глубинно-скоростной модели (площадь работ 2D находится в переходе от центральной к северной геокриологической зоне Западной Сибири и

характеризуется весьма сложными поверхностными и изменчивыми глубинными условиями).

Таблица 1 - Основные системные факторы неоднозначности кинематической инверсии в условиях Западной Сибири

	Действующий фактор	Основной негативный эффект	Способы устранения
1.	Неточности модели априорных статических поправок за рельеф, обусловленные ошибкой скорости приведения и «эффектом преломления» сейсмического луча.	Смещение фактического уровня приведения t_0 и $V_{огт}$ относительно расчетного уровня приведения.	Определение $V_{пр.}$ по волнам первых вступлений (по схеме $V_{пр.}=V_{гр.}=V_{огп}$), использование “плавающего” уровня приведения, учет ошибки приведения к постоянному уровню на этапе сейсмоструктурных построений в процессе интерпретации.
2.	Отсутствие учета ЗМС либо неточный учет ЗМС.	Возрастание несоответствия $V_{ср.}$ и $V_{огт}$ по неглубоким (400-800 м) горизонтам.	Построение модели ЗМС на основе обработки волн первых вступлений, а лучше по данным специализированных работ по изучению ЗМС (ВЧР).
3.	Недостаточная точность определения кинематических параметров отражающих горизонтов.	Низкая точность и детальность сейсмических моделей и сейсмоструктурных построений.	Повышение кратности, увеличение максимального удаления, оптимизация условий возбуждения.
4.	Влияние региональной составляющей изменения свойств (мощности и/или скорости) высокоскоростной толщи в ВЧР.	Возрастание несоответствия $V_{ср.}$ и $V_{огт}$ по глубоким (более 2000 м) горизонтам.	Устранение на этапе интерпретации с использованием соответствующей методики коррекции сейсмоструктурных построений [13].
5.	Допущения о свойствах модели неоднородной перекрывающей толщи (ВЧР).	Существование множества «правильных» решений обратной кинематической задачи.	Использование объективной информации о строении ВЧР с целью упрощения и (или) уточнения модели [15], пересчета волновых полей.

Наилучший результат обеспечивается на основе использования поправок за ВЧР и интерпретационной методики [13] сейсмоструктурных построений.

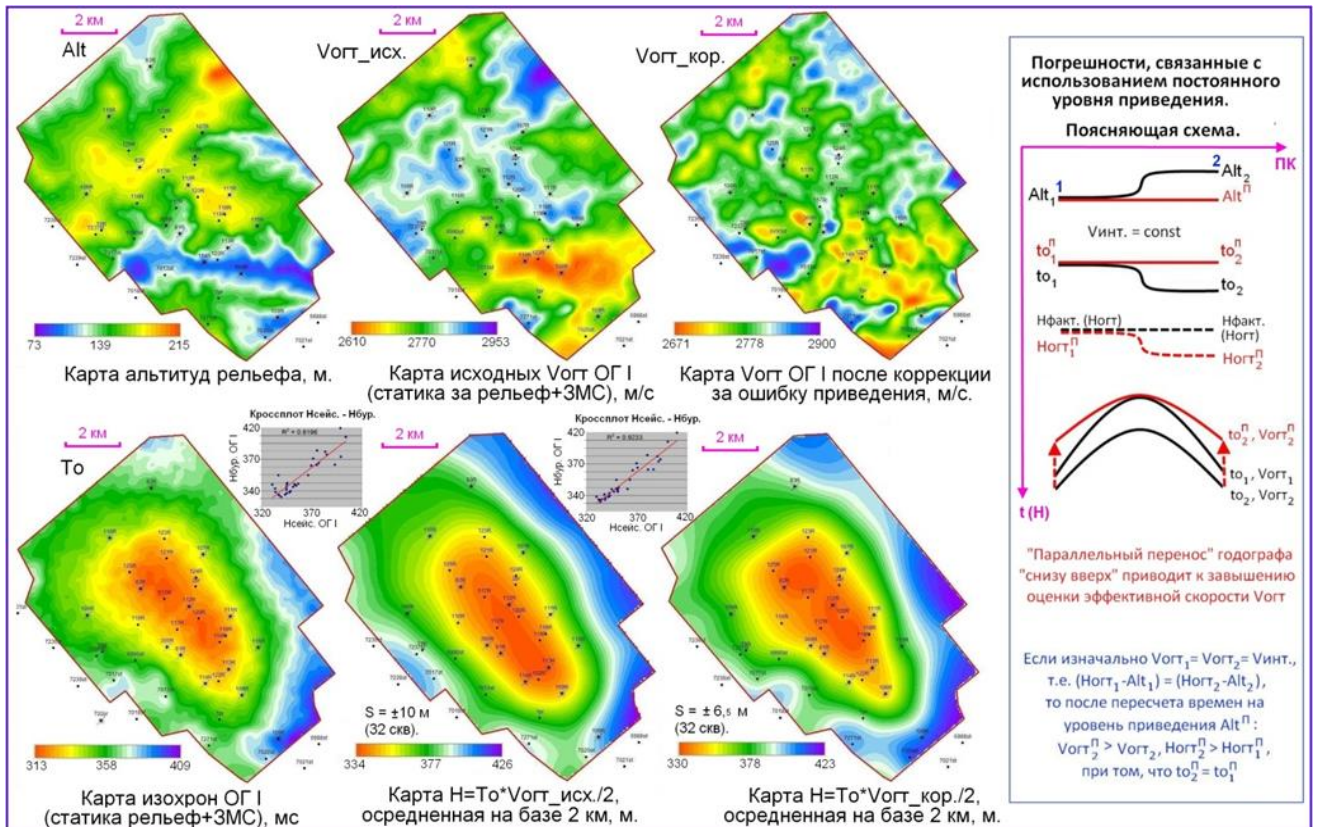


Рисунок 4 - Учет погрешностей, связанных с использованием постоянного уровня приведения при расчете статических поправок за рельеф

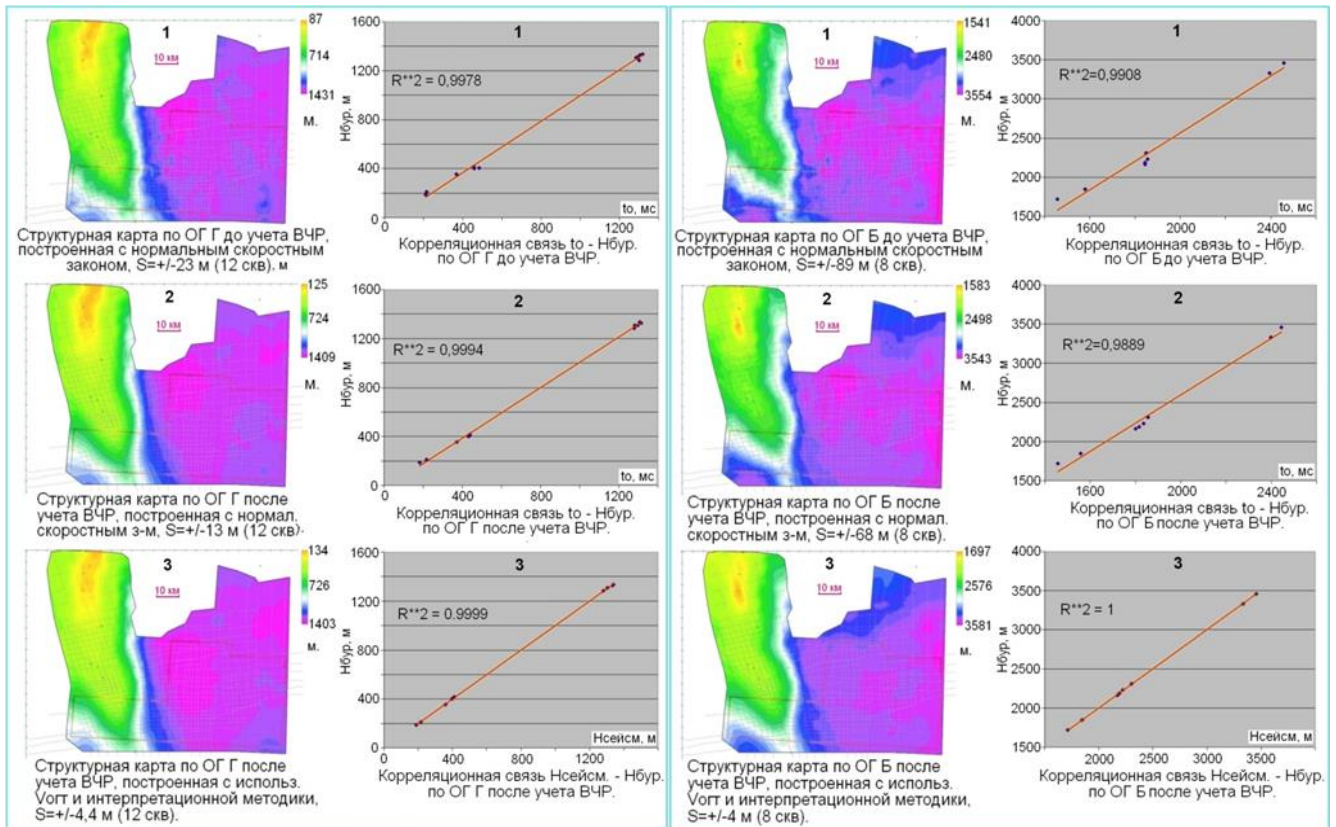


Рисунок 5 - Сравнение структурных карт и кросс-плотов по опорным горизонтам Г и Б на различных этапах построения глубинно-скоростной модели

Рисунок 6 позволяет оценить изменение качества и детальности сейсмических данных 3D (опытно-методические 3D работы на одном из газовых месторождений Западной Сибири) в процессе прореживания сети линий возбуждений (приема) и шага ПВ (ПП) при обработке по идентичному графу. Видно, как последовательно понижается качество временных вертикальных и горизонтальных срезов, теряются особенности отображения разломов, палеорусел, других “тонких” деталей, т.е. тех важных элементов, без которых маловероятно построение действительно достоверной и детальной геологической 3D-модели месторождения.

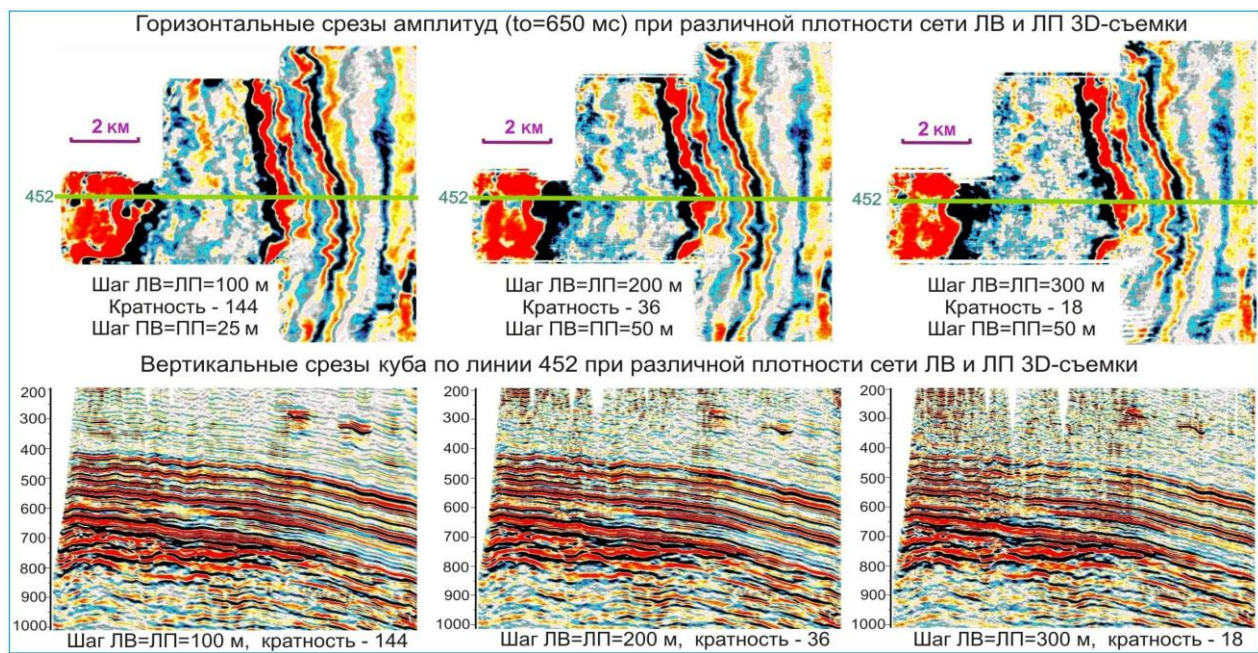


Рисунок 6 - Сравнение вертикальных и горизонтальных срезов временного куба при различной плотности сети линий возбуждения и приема съемки 3D

Методическая схема реализации кинематической инверсии данных МОВ-ОГТ в северных районах Западной Сибири.

В северных районах необходимо придерживаться рациональной методической схемы реализации кинематической инверсии (рисунок 7).

Из приведенной выше схемы следует, что основой для выполнения кинематической инверсии данных сейсморазведки с целью построения ГСМ являются принципы и дополнительная информация многоуровневых исследований.

Вне зависимости от того, какая информация о ВЧР имеется в наличии и какой подход к выполнению кинематической инверсии используется (традиционный, основанный на аппарате статических поправок и гиперболической параметризации, или современный, базирующийся на миграционных и томографических алгоритмах), последовательно реализуются одни и те же основные этапы кинематической инверсии, привязанные к рассмотренным в 1 главе уровням исследований.



Рисунок 7 - Краткая методическая блок-схема реализации кинематической инверсии

Самым простым и распространенным вариантом реализации рациональной методической схемы кинематической инверсии является оптимизированный традиционный подход к кинематической обработке и интерпретации.

Остановимся на нем более подробно, т.к. в обозримом будущем этот подход по понятным причинам будет иметь широкое практическое применение еще достаточно долгое время.

Обязательным элементом технологии кинематической инверсии является последовательное (сверху вниз) изучение и учет влияющих факторов ВЧР – рельефа, низкоскоростных по отношению к подстилающим породам неоднородностей (зоны малых и пониженных скоростей), неоднородностей высокоскоростных по отношению к вмещающим породам (мерзлоты).

Эта задача решается комплексным применением кинематической обработки первых вступлений и отраженных волн горизонтов, залегающих ниже подошвы ВЧР, с целью построения толстослоистой глубинно-скоростной модели среды.

Если речь идет о традиционных методиках сейсморазведочных работ МОВ-ОГТ 2D (3D) модель верхнего слоя (рельеф + ЗМС) строится по волнам первых вступлений с учетом закономерностей, установленных путем статистического обобщения результатов применения технологии многоуровневой сейсморазведки в сходных поверхностных условиях, если речь идет собственно о технологии многоуровневой сейсморазведки – модель верхнего слоя строится по специально разработанной для этого методике [31].

Основой для построения толстослоистой глубинно-скоростной модели являются временные разрезы и скорости суммирования $V_{огт}$ до (для построения

предварительной модели) и после (для построения окончательной модели) ввода корректирующих поправок за высокоскоростные (мерзлота) неоднородности ВЧР.

При использовании статических поправок, являющихся, в общем случае, не вполне корректным средством учета ВЧР (в особенности, в отношении рельефа и высокоскоростных неоднородностей) из-за неучета «эффекта преломления», применяется раздельный последовательный подход к коррекции аномалий ВЧР - локальных (1 – 6 км) неоднородностей – статическими поправками на этапе обработки и длиннопериодной (региональной) составляющей влияния ВЧР – скоростями суммирования на этапе интерпретации.

Учет влияния рельефа и ЗМС осуществляется на основе обработки волн первых вступлений (в рамках однослойной модели) с использованием t_w (для взрывных работ).

Скорость приведения принимается равной скорости головной волны, распространяющейся в породах, подстилающих ЗМС.

Уровень приведения принимается равным среднеарифметическому значению рельефа, на окончательном этапе обработки может быть произведен пересчет времен и скоростей к нулевому уровню с постоянной скоростью, равной среднему арифметическому значению скорости приведения. При значительных перепадах высот рельефа в качестве уровня приведения используется «плавающий» уровень.

Основой для учета влияния неоднородностей мерзлой толщи (высокоскоростных неоднородностей) является структурная карта верхнего опорного горизонта (ВОГ), построенная с использованием соответствующих кинематических параметров (например, способом ВОГ).

Суть способа верхнего опорного горизонта состоит в том, что если:

- учет неоднородностей рельефа и ЗМС произведен правильно,
- между уровнем приведения и ВОГ имеются только высокоскоростные по отношению к вмещающим породам неоднородности ($V_1 > V_2$),
- коэффициент “вертикальной неоднородности” $k = V_1/V_2$ меняется не более чем $\pm 10\%$ от “фонового” значения,
- глубина залегания ВОГ составляет не более 600-800 м,
- размер структурных элементов ВОГ в плане превышает 4-5 км,

то с высокой долей точности и достоверности осредненные на базе с радиусом $R = (2-3) H_{ср}$ сейсмические глубины $H_{огт_вог} = t_{огт} * V_{огт} / 2$ соответствуют фактическим глубинам залегания ВОГ (с точностью до постоянной составляющей).

Если есть основание предполагать наличие более локальных элементов структурного плана ВОГ, то после построения предварительной структурной карты и расчета прогнозных (исправленных за неоднородности) времен, необходимо проконтролировать обоснованность учета локальных аномалий по комплексу

критериев, основанных на палеоструктурном анализе и характерных для ВЧР закономерностях изменения кинематических параметров отраженных волн вниз по разрезу.

Если при обработке используются специализированные (PACS, ISA...) средства коррекции среднепериодной статики – структурная карта ВОГ может быть построена путем прямого пересчета t_0 в глубины со скоростями $V_{огт}$, осредненными на базе, сопоставимой с размером расстановки. Это позволяет минимизировать риски, связанные с элементами субъективизма при сглаживании поверхности ВОГ.

При необходимости как предварительная, так и окончательная глубинно-скоростная модель может быть скорректирована за остаточные погрешности, обусловленные длиннопериодными изменениями альтитуд рельефа и (или) свойств высокоскоростного слоя верхней части разреза [13].

Кроме того, построенная способом ВОГ структурная карта может быть использована в качестве априорной информации для томографических и (или) миграционных подходов (Geodepth, Prime) к построению глубинно-скоростной модели нижележащих горизонтов.

Глава 3. Интерпретационный метод коррекции глубинно - скоростных моделей. Геолого - экономическая эффективность комплексной адаптивной технологии кинематической инверсии

Анализируются особенности кинематических и томографических подходов к построению глубинно-скоростных моделей с акцентом на типичную в северных районах Западной Сибири двухслойную (ЗМС+ММП) базовую модель ВЧР. Приводятся обоснование, суть и результаты апробации интерпретационного метода коррекции глубинных моделей за длиннопериодные погрешности, обусловленные изменчивостью рельефа и мерзлоты. Демонстрируются некоторые геологические результаты применения элементов комплексной адаптивной технологии кинематической инверсии, приводятся оценки и обоснования геолого-экономической эффективности данной технологии.

В процессе работы над данным разделом диссертации автор опирался на результаты исследований Евдокимова А.А., Сыроева А.П., Черняка В.С. и др.

Разработанный автором интерпретационный метод коррекции ГСМ обеспечивает повышение точности за счет использования закономерностей между ошибкой определения сейсмических глубин, рассчитываемых с использованием $V_{огт}$, и длиннопериодной составляющей статической поправки за влияние неоднородностей рельефа и/или ММП.

Суть метода состоит в том, что полученные с использованием скоростей суммирования структурные карты пересчитывают с использованием карты длиннопериодной составляющей поправки в соответствии с формулой:

$$H = H_{исх.} - K_i * dt,$$

Здесь: **H** – скорректированное значение глубины залегания отражающего горизонта; **H_{исх.}** – исходное значение глубины залегания отражающего горизонта; **K_i** – корректирующий коэффициент *i*-того горизонта глубинно-скоростного разреза среды; **dt** – значение центрированной длиннопериодной (региональной) составляющей статических поправок.

На рисунке 8 показаны рассчитанные на основе моделей типа «РЕЛЬЕФ» и «МЕРЗЛОТА» палетки коэффициентов пропорциональности **K_i** между величиной длиннопериодной составляющей поправки и погрешностью сейсмических глубин **Ногт** в зависимости от размера аномалии, глубины горизонта, подхода к учету длиннопериодной составляющей.

Некоторые геологические результаты:

Пример № 1

Площадь работ МОВ-ОГТ 2D в районе города Надым. Работы были проведены по технологии многоуровневой сейсморазведки в объеме 1600 пог. км. (3 полевых сезона, 2005-2007 гг.) в варианте дополнительной системы наблюдения с буксируемой сейсмической косой (БСК) и импульсным невзрывным источником типа «ГЕОТОН».

Помимо априорных поправок за ЗМС, при получении окончательной версии временных разрезов и **Ногт** учитывалась локальная составляющая статических поправок за неоднородности мерзлоты (рисунок 9.а). При расчете карты региональной составляющей поправок за мерзлоту (рисунок 9.б) использовался единый закон нормальной зависимости средней скорости от глубины. Из анализа карты региональной составляющей поправки за влияние мерзлоты (рисунок 9.б) следует, что преобладающий пространственный размер (полупериод) аномалий в плане составляет примерно 45 км, при этом имеющиеся на площади работ 12 скважин находятся в разнообразных условиях.

Для выбора коэффициента пропорциональности использовалась уже показанная выше модель типа «МЕРЗЛОТА» и соответствующая палетка (рисунок 8).

Для горизонта Б, залегающего на глубине порядка 3400 м, размеру аномалии 45 км соответствует коэффициент пропорциональности **K_i**, примерно равный 0,55 м/мс, в ходе тестирования с опорой на данные бурения **K_i** был уменьшен до 0,45, т.е. на 20 %.

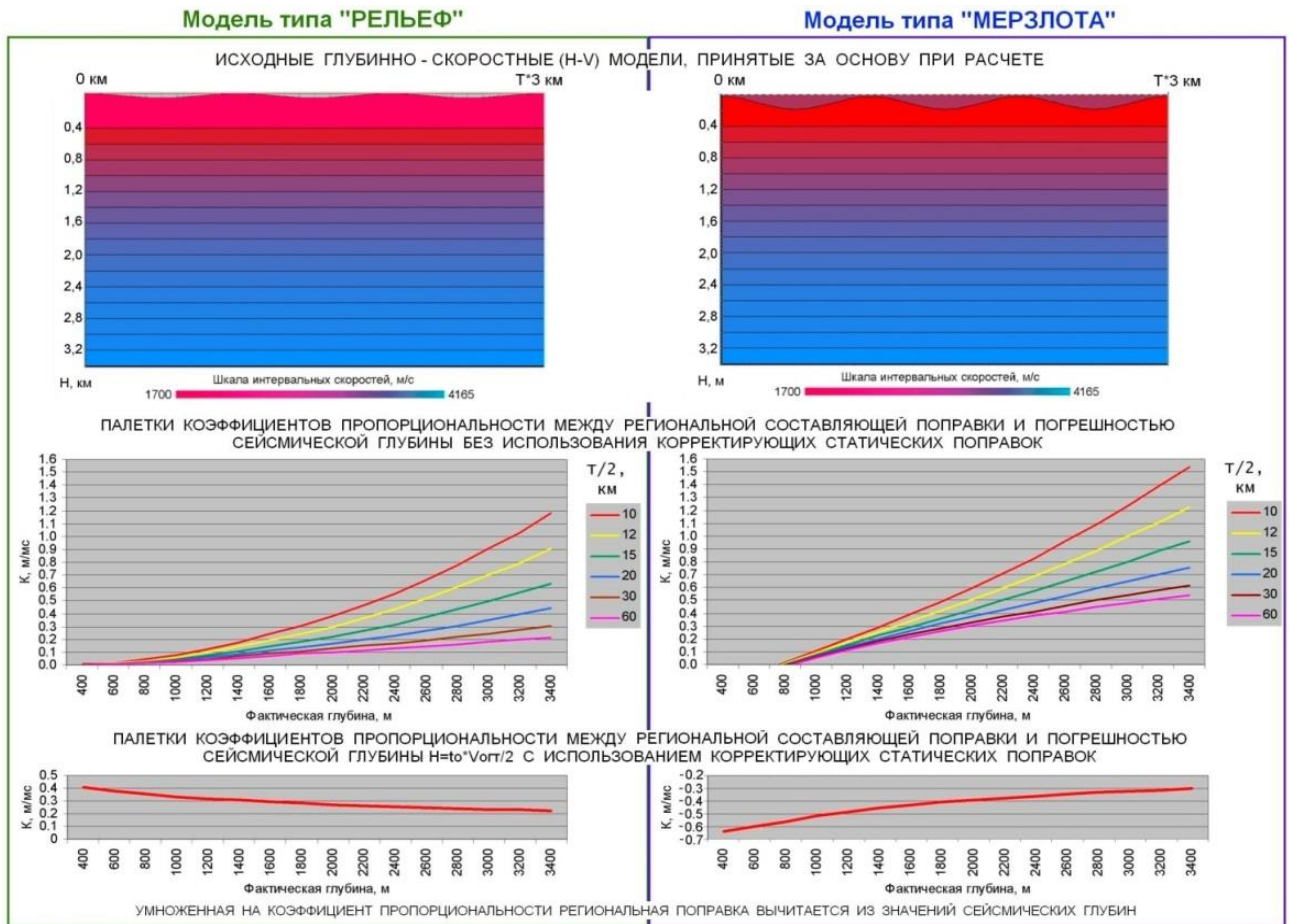


Рисунок 8 - Учет длиннопериодной (региональной) составляющей влияния неоднородности верхнего слоя на примере рельефа (слева) и мерзлоты (справа)

На рисунке 9.в приведен окончательный вариант структурной карты ОГ Б, построенной с использованием осредненных $V_{огт}$ и интерпретационного метода коррекции за региональную составляющую поправки. Карта характеризуется прогнозной среднеквадратической погрешностью $S = 9$ м.

Последующее бурение 3-х новых разведочных скважин в полной мере подтвердило прогнозную среднеквадратическую погрешность структурной карты, предельное отклонение не превысило 13 м.

Пример № 2

Площадь работ МОВ-ОГТ 2D в районе города Старый Уренгой.

Работы были проведены по технологии многоуровневой сейсморазведки в объеме 650 пог. км. (2 полевых сезона, 2001-2002 гг.) в варианте станции взрывного пункта. Уникальность данного объекта состояла в том, что после сдачи окончательного отчета началось активное разбуривание площади разведочными и эксплуатационными скважинами, и по состоянию на 2011 г. имелось 74 контрольных скважины, вскрывших ОГ Г.

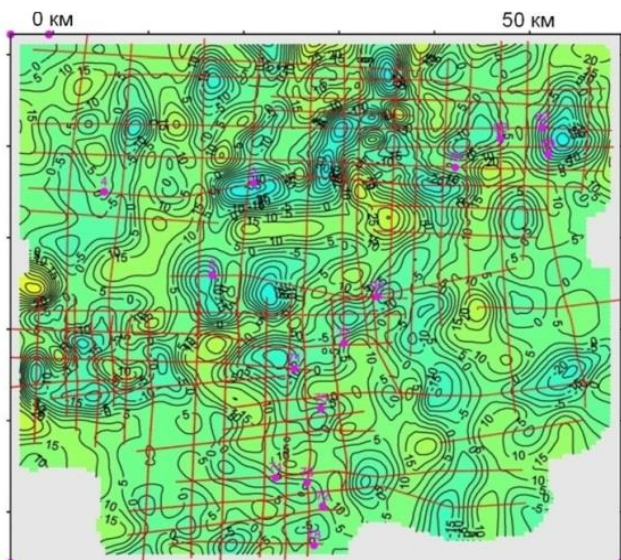


Рисунок 9.а - Карта статических поправок за локальную составляющую влияния мерзлоты, мс

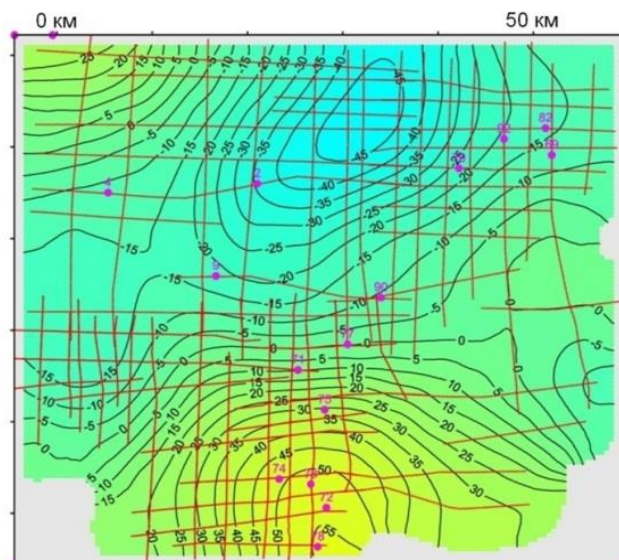


Рисунок 9.б - Карта статических поправок за региональную составляющую мерзлоты, мс

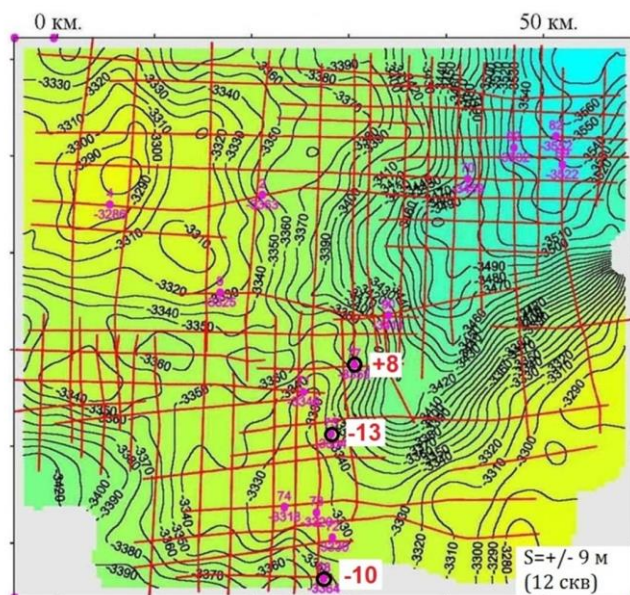


Рисунок 9.в - Структурная карта ОГ Б, построенная с использованием осредненных Vogt и интерпретационного метода коррекции

Это единственный на данный момент пример такой масштабной проверки последующим бурением структурной карты ОГ Г, построенной с применением элементов комплексной адаптивной технологии кинематической инверсии сейсмических данных.

На рисунке 10.а, б показаны 2 структурные карты по ОГ Г, по которым была проведена сравнительная оценка их среднеквадратической погрешности.

Первая карта (рисунок 10.а) – была рассчитана по самой простой технологии, без применения каких-либо априорных поправок за ЗМС, мерзлоту и использования

трендов скоростей суммирования. В качестве скоростного закона применялись интерполированные средние скорости, определенные в точках скважин первичной (по состоянию на 2001 г.) сети (первичная сеть скважин обозначена розовым цветом).

Карта характеризуется среднеквадратической погрешностью 9,5 м, предельные отклонения – от +18 до -40 м (сеть контрольных скважин обозначена синим цветом).

Вторая карта (рисунок 10.б) – была получена с использованием всего комплекса подходов комплексной адаптивной технологии, включая последовательный учет влияния ЗМС, мерзлоты и трендов скоростей суммирования по интерпретационной методике. Для подсадки на первичную (по состоянию на 2001 г.) сеть скважин использовалась соответствующая карта невязок.

Данная карта характеризуется среднеквадратической погрешностью 4,6 м, предельные отклонения – от +12 до -13 м.

Таким образом, уже одним из первых примеров применения комплексной адаптивной технологии кинематической инверсии была подтверждена возможность достижения критического (5 м) уровня точности результатов ГСМ, по крайней мере в отношении верхних горизонтов.

Основанные на теории вероятностей расчеты показывают, что уменьшение среднеквадратической погрешности структурного плана с величины, равной амплитуде структуры, до величины, равной половине этого значения, повышают вероятность обнаружения объекта с 50 до 90 % (для прямоугольного характера распределения плотности функции вероятности), т.е. в случае применения комплексной адаптивной технологии кинематической инверсии можно рассчитывать как минимум на 5-и кратное сокращение числа скважин, оказавшихся неудачными из-за ошибок в определении геометрии перспективных объектов.

При этом, по экспертным оценкам, примерно в 2 раза сократится число скважин, оказавшихся неудачными из-за отсутствия коллектора или из-за ошибки определения его насыщения, поскольку повышение точности определения кинематических параметров методически неразрывно связано с точностью определения амплитуд отраженных волн, а значит, с качеством динамических инверсионных преобразований, на основе которых прогнозируются ФЕС, а также характер и тип насыщения коллектора.

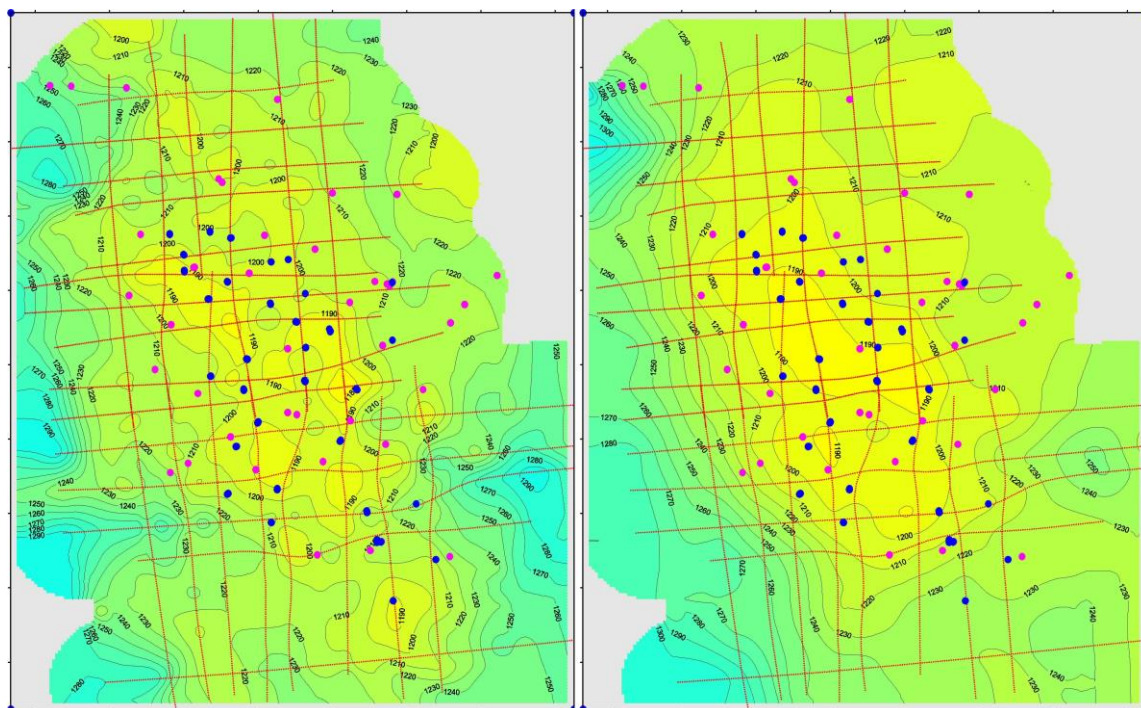


Рисунок 10.а. Структурная карта ОГ Г,
построенная без учета данных
многоуровневых исследований, м
 $S=9,5$ м (74 скв)

Рисунок 10.б. Структурная карта ОГ Г,
построенная с учетом данных
многоуровневых исследований, м
 $S=4,6$ м (74 скв)

Глава 4. Использование многоуровневых сейсмических исследований для изучения ЗМС и контроля условий возбуждения волн

В данной главе рассматривается методика обработки данных специализированной системы наблюдений с малым (2-10 м) шагом приемных каналов, решающая задачу контроля условий возбуждения волн, определения фактической глубины погружения заряда, построения модели самого верхнего слоя (ЗМС и подстилающие породы). Приводятся некоторые обобщения и результаты постфактум-контроля условий возбуждения волн и глубины погружения заряда, демонстрируется рациональная методика совместной обработки МСК с данными сейсморазведки 3D.

Соответствующий граф был разработан автором в ходе обработки материалов первого в Западной Сибири аппаратно-методического комплекса многоуровневой сейсморазведки (сезон 1998-99 г., Северо-Часельская площадь). На приеме использовалась алюминиевая 48-канальная буксируемая сейсмическая коса (БСК) с шагом приборов 4 м, сконструированная Бевзенко Ю.П.

Основу графа составляет совокупность методических приемов работы с годографами первых вступлений с целью:

- оценки вертикального времени по группе (от 5 до 10) приемных каналов,
- оценки средней скорости между точкой взрыва и дневной поверхностью,

- расчета фактической глубины погружения заряда (рисунок 11),
- расчета скорости в ЗМС,
- расчета скорости в породах, подстилающих ЗМС (рисунок 12),
- построения глубинно-скоростной модели ЗМС,
- расчета поправок за ЗМС.

- зонирования участка работ по оптимальности/неоптимальности условий возбуждения волн на основе оценок толщины ЗМС и глубин погружения заряда (рисунок 13.а-в).

В технологии многоуровневой сейсморазведки, основными для решения задач контроля условий возбуждения и изучения ЗМС являются следующие сейсмические параметры:

- вертикальное время,
- эффективная скорость прямой волны “взрыв-поверхность”,
- t_0 головной (взрыв в ЗМС) или прямой преломленной (взрыв в породах, подстилающих ЗМС) волны, распространяющейся в породах, подстилающих ЗМС,
- скорость головной (прямой преломленной) волны.

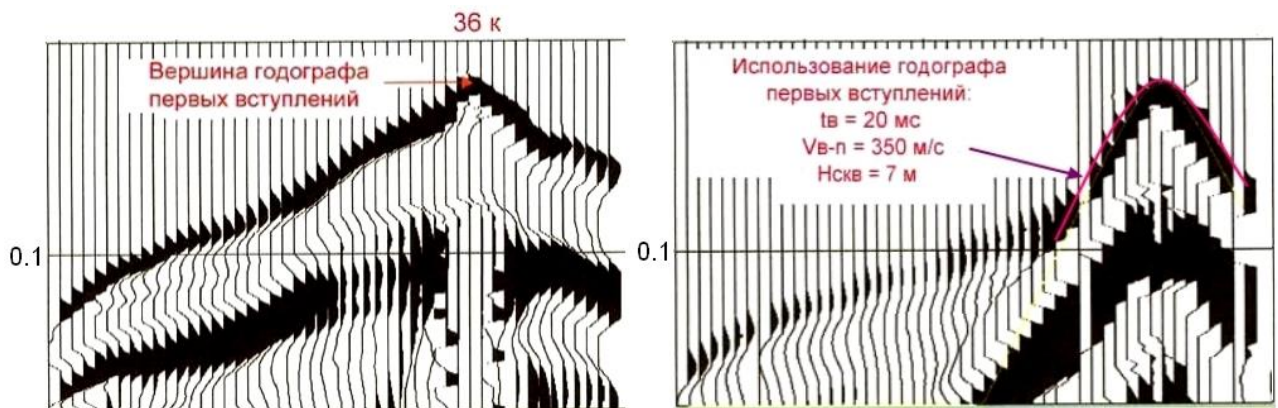


Рисунок 11 - Контроль условий возбуждения по первичным сейсмограммам БСК

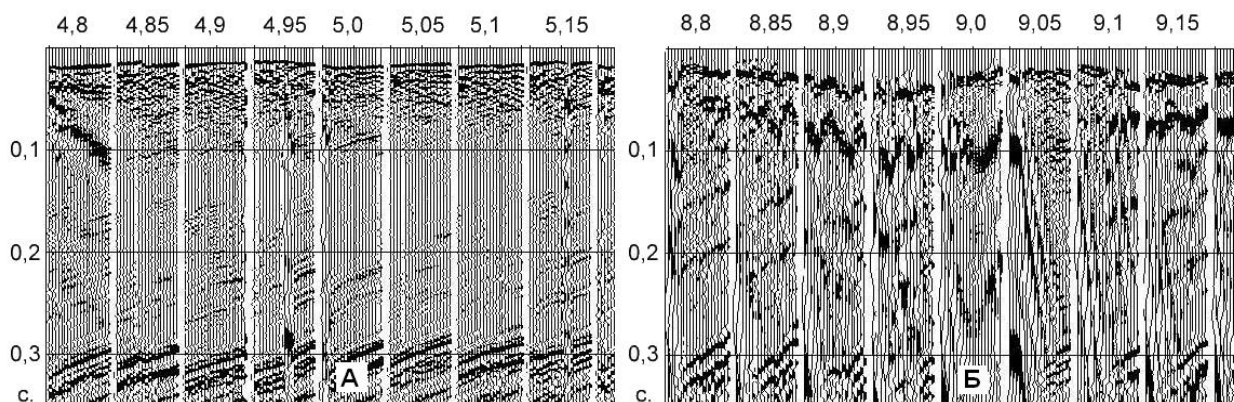


Рисунок 12 - Определение скорости головной (прямой преломленной) волны, распространяющейся в породах, подстилающих ЗМС (V_{Γ}), по сейсмограммам ОПВ, способом перебора скоростей: (А – скорость 3500 м/с, Б – скорость 1600 м/с)

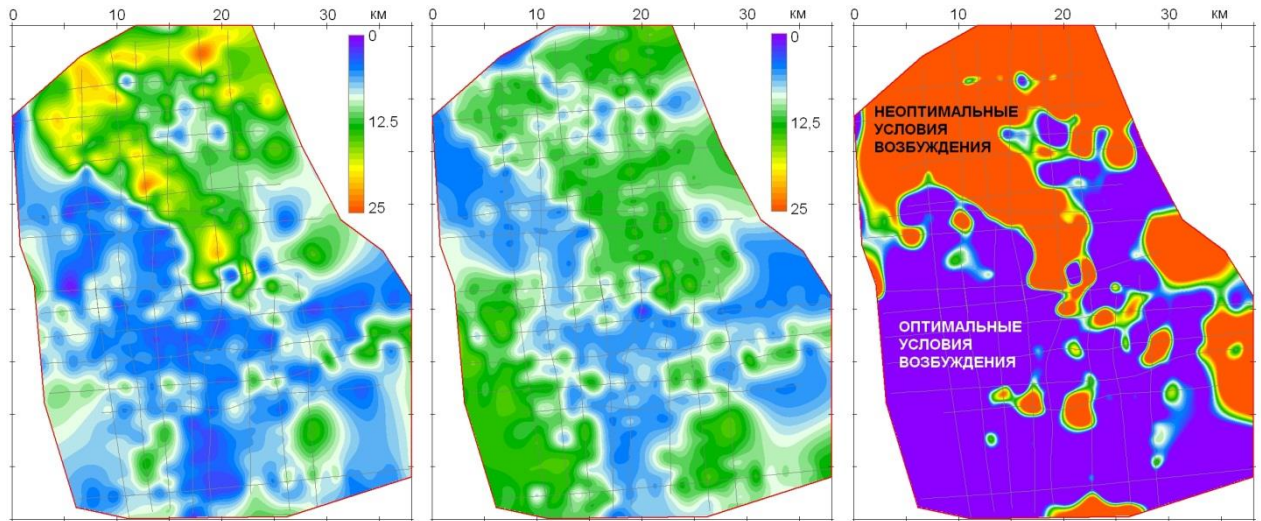


Рисунок 13.а - Карта
толщин ЗМС, м

Рисунок 13.б - Карта
фактических глубин
погружения заряда, м

Рисунок 13.в - Карта
зонирования по условиям
возбуждения

Все остальные параметры, характеризующие ЗМС и условия возбуждения – фактическая глубина погружения заряда, скорость в ЗМС, толщина ЗМС, время пробега в ЗМС по вертикали, поправка за ЗМС – являются результатами пересчета основных параметров по соответствующим формулам.

Что касается вопросов точности определения параметров.

По глубине погружения заряда и толщине ЗМС – при возбуждении в ЗМС предельная ошибка не превышает 5-7 % от фактического значения, при возбуждении ниже подошвы ЗМС – возможно завышение расчетной глубины (толщины) на 20-25 %, однако использование статистических данных о соотношении $V_{змс}$ и $V_{г}$ на участках площади с возбуждением в ЗМС, позволит уменьшить эффект завышения глубины и/ли толщины до 7-10 %.

По поправке за ЗМС – максимальная точность поправки имеет место при возбуждении в ЗМС, точность поправки в этом случае прямо пропорциональна точности $\tau_{ог}$, коэффициент пропорциональности составляет 0,55 – 0,8. При возбуждении в подстилающих породах есть тенденция к занижению поправки, однако такие ошибки, среднеквадратически, не выходят за пределы 1,2 – 1,5 мс.

Таким образом, в плане контроля условий возбуждения волн и изучения ЗМС, многоуровневые сейсмические исследования обеспечивает уровень точности, соизмеримый с шагом дискретизации и фактической длиной заряда взрывчатого вещества.

Глава 5. Проблема волн-спутников с малыми временами задержки в практике наземных сейморазведочных работ

При возбуждении сейсмических колебаний любым из существующих источников, на жестких сейсмических границах вблизи зоны возбуждения (приема) образуются так называемые волны-спутники (рисунок 14).

Распространяясь в направлении глубинных сейсмических горизонтов в тех же направлениях, что и однократные волны, эти волны-спутники формируют поле кратно-отраженных волн, и по временам прихода, и кинематически близких к соответствующим однократным волнам.

Волны-спутники с малой задержкой проявляются на сейсмограммах и разрезах не в виде отдельных осей синфазности, а как искажения формы сигнала, чем и отличаются от спутников с большой задержкой (собственно кратно-отраженных волн).

Можно сказать, что регистрируемый от глубинного горизонта сейсмический сигнал является результатом интерференции возбуждаемого импульса (сигнала) с его волнами-спутниками в пункте возбуждения и приема. В результате происходит изменение фазовой характеристики регистрируемого сигнала, следовательно - возникают ошибки определения времени, снимаемого с фазы сейсмического сигнала. Этот эффект изменения времени сейсмической фазы будет особенно выражен при малых временных задержках сигнал-спутник (менее $1/2$ - $1/3$ периода) и амплитудах волн-спутников, соизмеримых с амплитудой сигнала.

Свой вклад в фазовую погрешность (для взрывного способа возбуждения) вносит эффект изменения частоты возбуждаемого сигнала.

При проведении сейморазведочных работах в морских акваториях учет искажающего влияния волн-спутников на форму сигнала является стандартной процедурой, для этого там применяются дополнительные пункты приема вблизи источника и специальные приемы обработки данных. Нужно только заметить, что учет искажений формы сигнала при морских работах задача гораздо более простая, чем при наземных сейсмических исследованиях. Во-первых, точно контролируется глубина источника и глубина дна, во-вторых, вода является средой стабильной по своим скоростным и плотностным свойствам, в-третьих, характеристики применяемых источников колебаний стабильны и управляемы.

В данной главе рассматривается целый ряд вопросов, связанных с проблемой волн-спутников, включая результаты сравнительной экспериментальной обработки по реальным данным, полученным по технологии многоуровневой сейморазведки.

При работе над данным разделом диссертации автор опирался на результаты исследований Гуленко В.И., Гальперина Е.И., Гамбурцева А.Г., Мадатова А.Г., Чернявского В.Е. и др.

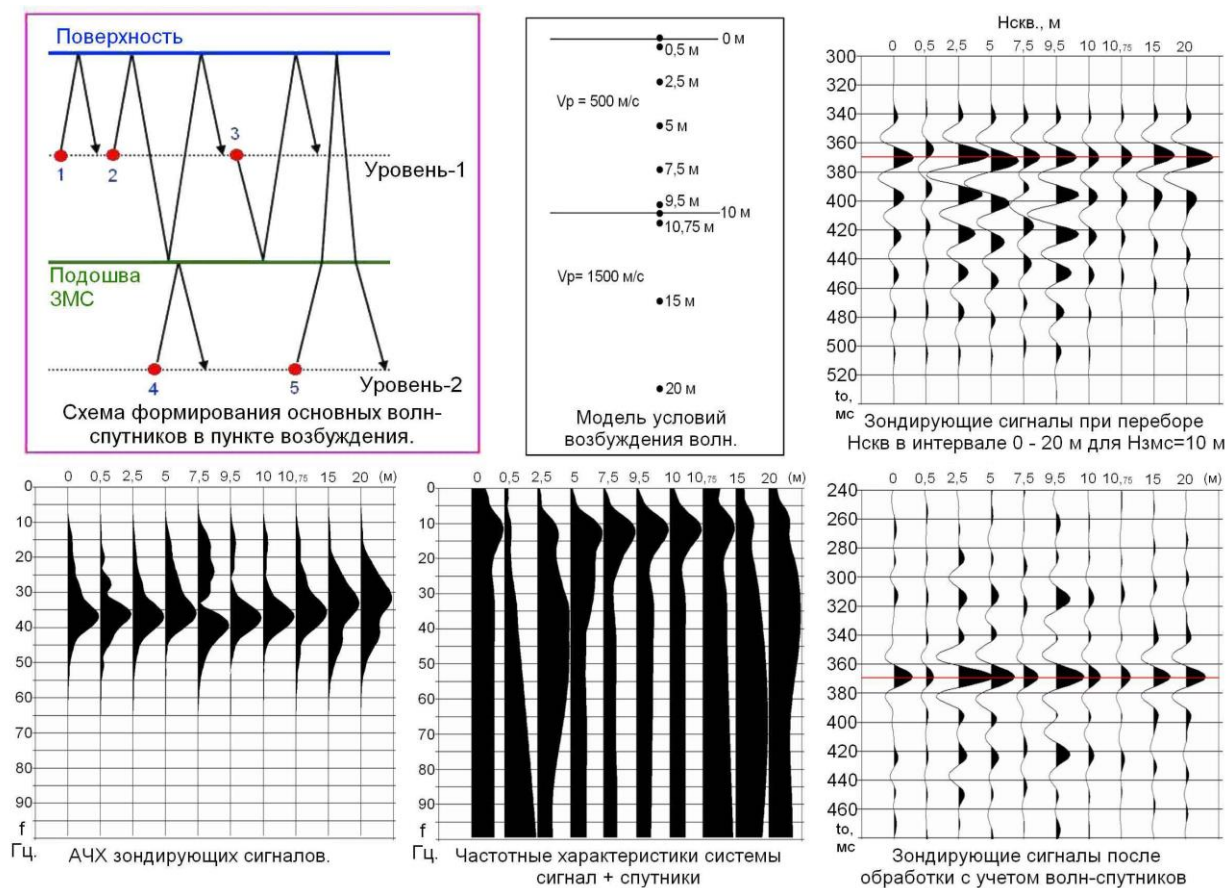


Рисунок 14 - Формирование и моделирование основных волн-спутников в пункте возбуждения.

В результате реализации разработанной схемы учета волн-спутников при обработке реальных материалов (Ныдинская площадь, 2003 г.) произошло уменьшение среднеквадратических невязок эффективных скоростей на пересечениях профилей, уменьшение среднеквадратической невязки структурной карты по ОГ Г с данными бурения, заметно повысилось общее отношение сигнал/помеха и стабилизировалась форма записи на временных разрезах (рисунок 15).

Таким образом, получены практические подтверждения возможности учета (минимизации) влияния волн-спутников в рамках технологии многоуровневой сейсморазведки.

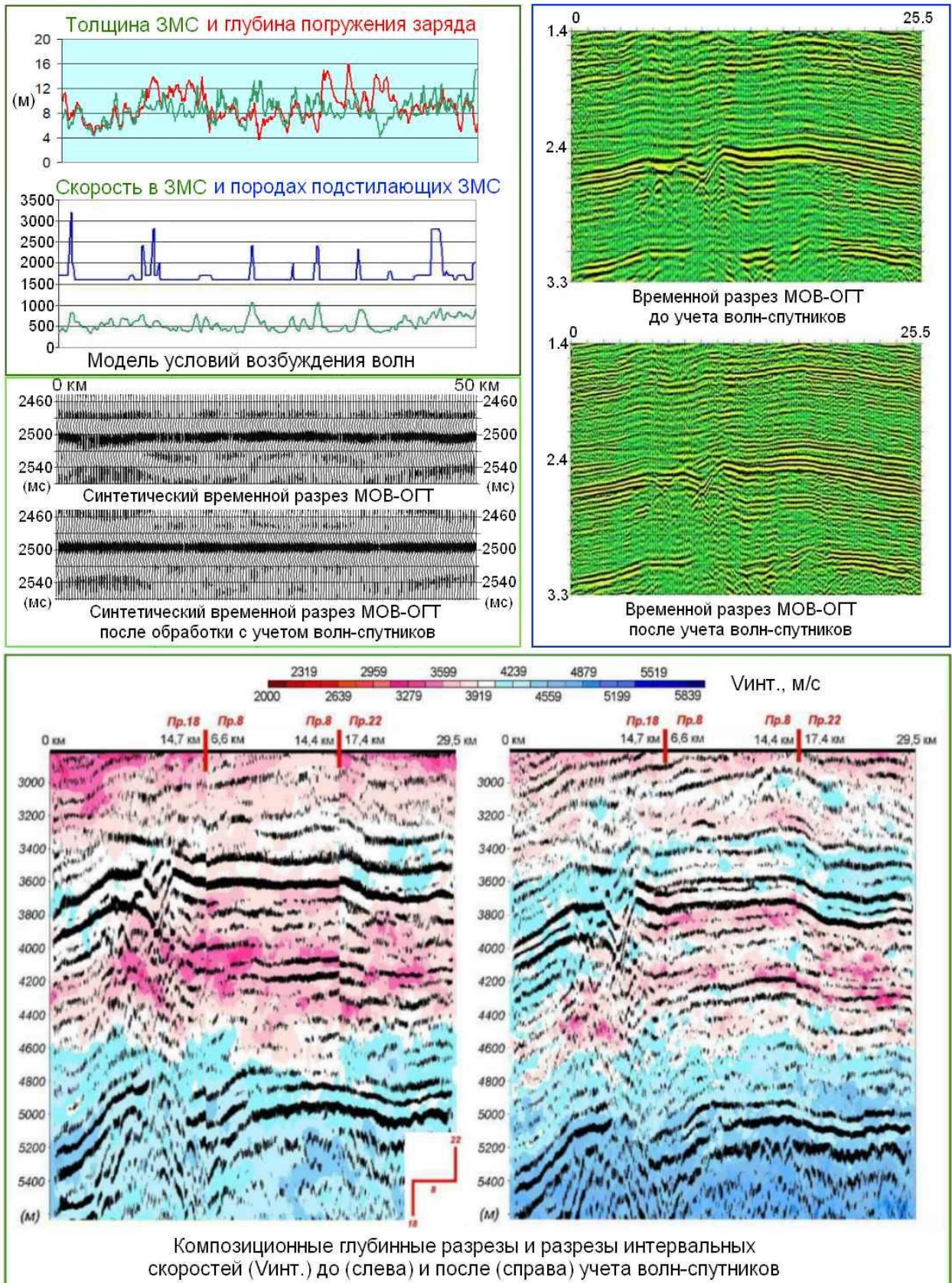


Рисунок 15 - Сравнение результатов обработки модельных и реальных сейсмических данных до и после учета волн-спутников по разработанной методике

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существуют значительные резервы повышения точности и достоверности сейсмического метода, но они могут быть реализованы только в рамках комплексного адаптивного подхода к планированию, проведению и использованию результатов геологоразведочных работ.

Наличие у сервисных геофизических компаний высокотехнологичных программных средств и вычислительных мощностей создает благоприятные предпосылки для использования более адекватных моделей кинематической обработки и интерпретации, однако потенциальная эффективность современных средств ограничивается дефицитом полевой информации, вследствие чего применяются упрощенные модели и методические схемы, не гарантирующие от грубых ошибок.

Применение комплексной адаптивной технологии кинематической инверсии обеспечивает эффективное использование возможностей современных сейсмических исследований и позволяет достичь максимальной точности и минимальной неоднозначности результативных сейсмических моделей.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы

1. Разработана комплексная адаптивная технология кинематической инверсии данных сейсморазведки в условиях неоднородной ВЧР.

2. Технология внедрена в практику геологоразведочных работ, объем апробации составляет более 60 разведочных площадей в разных регионах России в период с 1998 по 2017 год.

3. Разработаны соответствующие данной технологии методические рекомендации по учету ВЧР и построению структурного каркаса геологических моделей, рекомендации одобрены научно - техническим советом ООО «НОВАТЭК НТЦ» и используются при составлении технических и геологических заданий для сервисных компаний.

4. Разработана методика расчета пространственного распределения погрешности структурного каркаса геологической модели, элементы методики включены в методические рекомендации по оценке геологических рисков и неопределенностей для предприятий Группы компаний ПАО «НОВАТЭК».

5. Разработана программа имитационного моделирования REFRA+ для многослойных неоднородных сред, рассчитанная для решения широкого круга аналитических задач.

6. Разработан и апробирован интерпретационный метод коррекции сейсмоструктурного каркаса геологических моделей за влияние основных неоднородностей ВЧР.

7. На основе имитационного моделирования изучены закономерности и оценены величины погрешностей ГСМ при учете характерных неоднородностей ВЧР статическими поправками, а также закономерности и величины погрешностей, обусловленных набором принимаемых допущений о свойствах модели перекрывающей толщи при использовании томографических алгоритмов.

8. Результаты исследований автора изложены в выпущенной издательством «ЕАГО Геомодель» монографии, которая используется в учебном процессе студентами и аспирантами по специальности.

Список опубликованных работ по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Бевзенко, Ю.П. О многоволновых технологиях в нефтегазовой сейсморазведке / Ю.П. Бевзенко, Ю.Н. Долгих // Технологии сейсморазведки. – 2006. – №2. – С.43-51
2. Долгих, Ю.Н. О недостатках упрощенных подходов к учету ВЧР в условиях Западной Сибири / Ю.Н. Долгих // Технологии сейсморазведки. – 2006. – №3. – С.60-68
3. Долгих, Ю.Н. Возможности и ограничения сейсморазведки МОВ-ОГТ при поиске скрытых неоднородностями ВЧР структур в условиях Западной Сибири / Ю.Н. Долгих // Технологии сейсморазведки. – 2006. – №4. – С.37-41
4. Бевзенко, Ю.П. Метрология, технология, экономика и геологическая эффективность сейсморазведки / Ю.П. Бевзенко, Ю.Н. Долгих, С.И. Шулик, И.А. Воронова // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2006. – №3. – С.36-39
5. Долгих, Ю.Н. Проблема точности учета неоднородностей ВЧР при поиске малоамплитудных структур в условиях Западной Сибири / Ю.Н. Долгих // Геофизика. – 2007. – №1. – С.23-26
6. Долгих, Ю.Н. Проблемы структурных построений с использованием Vogt после учета локальных неоднородностей мерзлоты / Ю.Н. Долгих // Технологии сейсморазведки. – 2007. – №2. – С.47-52
7. Долгих, Ю.Н. О достоверности теоретических оценок эффективности группирования / Ю.Н. Долгих // Технологии сейсморазведки. – 2007. – №4. – С.20-24

8. Долгих, Ю.Н. К вопросу о характере и величине остаточных погрешностей Ногт после учета неоднородностей мерзлой толщи / Ю.Н. Долгих // Технологии сейсморазведки. – 2008. – №1. – С.46-47
9. Долгих, Ю.Н. Методика коррекции сейсмоструктурных построений за длиннопериодные погрешности, обусловленные влиянием неоднородностей ВЧР / Ю.Н. Долгих // Технологии сейсморазведки. – 2010. – №3. – С.60-68
10. Долгих, Ю.Н. Базовая модель ВЧР как фактор неединственности решения обратной кинематической задачи сейсморазведки МОВ-ОГТ / Ю.Н. Долгих // Технологии сейсморазведки. – 2011. – №4. – С.19-26
11. Долгих, Ю.Н. Проблемы кинематической инверсии данных МОВ-ОГТ в северных районах Западной Сибири / Ю.Н. Долгих // Технологии сейсморазведки. – 2012. – №4. – С.40-50
12. Долгих, Ю.Н. Постфактум-контроль условий возбуждения волн и фактической глубины погружения заряда / Ю.Н. Долгих // Технологии сейсморазведки. – 2013. – №1. – С.65-73
13. Кузнецов, В.И. Методические результаты применения UNIQ – технологии МОВ-ОГТ 3D на севере Западной Сибири / В.И. Кузнецов, Ю.Н. Долгих, С.С. Санин и др. // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2015. – №4. – С.41-46

Публикации в изданиях, индексируемых Scopus

14. Долгих, Ю.Н. Современные требования к точности изучения ВЧР для работ МОВ-ОГТ в северных районах Западной Сибири [Электронный ресурс] / Ю.Н. Долгих, С.И. Шулик, И.Н. Бердюгин // Международная конференция и выставка: Санкт–Петербург, 2006. – Режим доступа: <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=5278>
15. Долгих, Ю.Н. Комплексная адаптивная технология кинематической инверсии данных МОВ-ОГТ в условиях неоднородной ВЧР [Электронный ресурс] / Ю.Н. Долгих, В.И. Кузнецов // 18-я научно-практическая конференция по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа «Геомодель 2016» – Геленджик, 2016. – DOI: 10.3997/2214-4609.201700140
16. Долгих, Ю.Н. Комплексная адаптивная технология кинематической инверсии данных сейсморазведки в условиях неоднородной верхней части геологического разреза / Ю.Н. Долгих, С.К. Туренко, В.И. Кузнецов // Нефтяное хозяйство. – 2017. – №8. – С.58-63

Публикации в прочих изданиях

17. Бевзенко, Ю.П. Повышение точности – современная проблема нефтегазопроисковых сейсморазведочных работ / Ю.П. Бевзенко, Ю.Н. Долгих, А.П. Кориков // Сейсмические исследования земной коры: Сборник докладов Международной научной конференции, посвященной 90-летию академика Н.Н. Пузырева – Новосибирск, изд. СО РАН, 2004. – С.209-216
18. Бевзенко, Ю.П. Пути совершенствования технологии сейсморазведочных работ в Западной Сибири / Ю.П. Бевзенко, А.М. Брехунцов, Ю.Н. Долгих Ю.Н., А.П. Кориков // Перспективы нефтегазоносности Западно-Сибирской нефтегазовой провинции: Материалы научно-практической конференции, посвященной 60-летию образования Тюменской области – Тюмень, изд. Западно-Сибирский научно-исследовательский институт геологии и геофизики, 2004. – С.53-56
19. Бевзенко, Ю.П. Применение многоуровневой сейсморазведки для изучения и учета влияния ВЧР [Электронный ресурс] / Ю.П. Бевзенко, Ю.Н. Долгих // VII международная научно-практическая конференция, Геленджик, 2005. – Режим доступа: <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-bevzenko-primeneniemnogourovnevoy-seysmorazvedki-dlya-izucheniya-i-uchyota.pdf>
20. Бевзенко, Ю.П. Многоуровневая сейсморазведка – аппаратурно-методическое средство для контроля качества и повышения эффективности полевых сейсморазведочных работ / Ю.П. Бевзенко, Ю.Н. Долгих, С.И. Шулик // 9-я геофизическая научно - практическая конференция ТюменьОЕАГО: сборник материалов - Тюмень, 2005. – С.19-21
21. Бевзенко, Ю.П. Рациональные технологии многоволновой сейсморазведки на севере Западной Сибири [Электронный ресурс] / Ю.П. Бевзенко, Ю.Н. Долгих // VII международная научно-практическая конференция: Геленджик, 2005. – Режим доступа: <http://www.geokniga.org/books/9347#>
22. Долгих, Ю.Н. О проблемах корректного учета ВЧР в условиях Западной Сибири / Ю.Н. Долгих // 10-я геофизическая научно - практическая конференция ТюменьОЕАГО: сборник материалов - Тюмень, 2006. – С.17-19
23. Долгих, Ю.Н. О проблемах сейсморазведки МОВ-ОГТ при поисках скрытых неоднородностями ВЧР структур в условиях Западной Сибири [Электронный ресурс] / Ю.Н. Долгих, С.И. Шулик, И.Н. Бердюгин // VIII международная научно-практическая конференция, – Геленджик, 2006. – DOI: 10.3997/2214-4609.201404006
24. Долгих, Ю.Н. Интерпретационный подход к учету влияния региональных изменений мощности мерзлого слоя на результаты структурных построений с использованием Vogt [Электронный ресурс] / Ю.Н. Долгих // IX

международная научно-практическая конференция, – Геленджик, 2007. – DOI: 10.3997/2214-4609.201404079

25. Долгих, Ю.Н. Основные принципы и условия, обеспечивающие точность структурных построений в северных районах Западной Сибири / Ю.Н. Долгих // Состояние, тенденции и проблемы развития нефтегазового потенциала Западной Сибири: сборник материалов международной академической конференции – Тюмень, изд. Западно-Сибирский научно-исследовательский институт геологии и геофизики, 2007. – 480 с.
26. Долгих, Ю.Н. Использование Vogt при построении глубинно-скоростных моделей в северных районах Западной Сибири. Проблемы, решения, результаты / Ю.Н. Долгих // Состояние, тенденции и проблемы развития нефтегазового потенциала Западной Сибири: сборник материалов международной академической конференции – Тюмень, изд. Западно-Сибирский научно-исследовательский институт геологии и геофизики, 2009. – 608 с.
27. Долгих, Ю.Н. Модель ВЧР как фактор неединственности решения обратной кинематической задачи сейсморазведки / Ю.Н. Долгих // Проблемы эффективности геофизических исследований при разведке и разработке месторождений нефти и газа в Западной Сибири: тезисы докладов тюменской геофизической научно-практической конференции – Тюмень, 2010. – С.4-9
28. Долгих, Ю.Н. Неоднозначность кинематической инверсии данных МОВ-ОГТ в условиях неоднородной ВЧР [Электронный ресурс] / Ю.Н. Долгих // Проблемы геологии и геофизики нефтегазовых бассейнов и резервуаров: 1-я международная научно-практическая конференция – Сочи, 2011. – Режим доступа: <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-eago-1-ya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-dlya-geologov-i-geofizikov-sochi-201.pdf>
29. Долгих, Ю.Н. Проблемы кинематической инверсии данных МОВ-ОГТ в условиях Западной Сибири / Ю.Н. Долгих // Состояние и перспективы совершенствования методов обработки и интерпретации результатов геофизических исследований при поисках, разведке и эксплуатации месторождений нефти и газа Западной Сибири: тезисы докладов научно-практической конференции – Тюмень, 2011. – С.33-37
30. Долгих, Ю.Н. Учет неоднородностей ВЧР глубинной миграцией до суммирования как альтернатива аппарату статических поправок / Ю.Н. Долгих // Эффективность решения геологических задач разведки и эксплуатации методами геофизических исследований: тезисы докладов научно-практической конференции – Тюмень, 2012. – С.43-47

31. Долгих, Ю.Н. Адаптивная технология кинематической инверсии данных многоуровневой сейсморазведки МОВ-ОГТ в северных районах Западной Сибири / Ю.Н. Долгих // Современные технологии сбора, обработки и интерпретации геолого-геофизических данных: сборник докладов совещания-семинара – Тюмень, 2015. – С.16-26
32. Кузнецов, В.И. Сейсморазведочные работы в транзитных зонах севера Западной Сибири – опыт и перспективы исследований в компании “НОВАТЭК” [Электронный ресурс] / В.И. Кузнецов, Ю.Н. Долгих // 5-я научно-практическая конференция “Геонауки – ключ к рациональному освоению недр”, – Тюмень, 2017. – DOI: 10.3997/2214-4609.201700140

Монографии

33. Долгих, Ю.Н. Многоуровневая сейсморазведка и кинематическая инверсия данных МОВ-ОГТ в условиях неоднородной ВЧР / Ю.Н. Долгих. – Москва: «ЕАГЕ Геомодель», 2014. - 212 с.

Изобретения

34. Станция взрывного пункта / Ю.П. Бевзенко, А.М. Брехунцов, Ю.Н. Долгих, А.П. Корилов // патент РФ № 2142149 кл. G01V1/104: опубл. бюлл. № 33, 1999

Бум. писч. № 1
Уч.-изд. л. 2
Усл. печ. л. 2
Тираж 100 экз.

Подписано к печати 17 октября 2017 г.
Заказ №
Формат 60 x 84 1/16
Отпечатано на RIZO GR 3750

Издательство «Тюменский индустриальный университет»
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет»
625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38
отдел оперативной полиграфии издательства
«Тюменский индустриальный университет»
625039, г. Тюмень, ул. Киевская, 52