

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

УДК 550.348.098.64(043)

На правах рукописи

СИРАЖЕВ АРМАН НУРЛАНОВИЧ

**Изучение рудных залежей методами 3D сейсморазведки и многоволновой
сейсмотомографии в сложных горно-геологических условиях
Центрального Казахстана**

8D07104 «Нефтяная и рудная геофизика»

Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD)

Научный консультант: Истекова С.А.
доктор геолого-минералогических наук,
профессор кафедры
Геофизика и сейсмология

Зарубежный научный консультант:
Чиркин И.А. кандидат геол.–мин. наук,
доцент кафедры общей и прикладной
геофизики Государственного
университета «Дубна» Российской
Федерации

Республика Казахстан
Алматы, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	3
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 МИРОВОЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РУДНОЙ ГЕОЛОГИИ	13
2 ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОСТАНОВКИ 3D СЕЙСМОРАЗВЕДКИ НА ОПЫТНЫХ ОБЪЕКТАХ ЖЕЗКАЗГАНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА	33
2.1 Общие сведения и история изучения геологического строения месторождений медистых песчаников Жезказганского рудного района	33
2.2 Особенности геологического строения и закономерности локализации медного оруденения стратиформного типа медистых песчаников.....	38
2.3 Петрофизическое обоснование проведения сейсморазведочных исследований	51
3 ОСНОВНЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ МОГТ 3D НА ДЕТАЛЬНЫХ УЧАСТКАХ ЖИЛАНДИНСКОЙ ГРУППЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	58
3.1 Особенности планирования трехмерных систем наблюдения и регистрации полевых данных.....	58
3.2 Особенности полевых сейсморазведочных работ на участках исследований	64
3.3 Технология обработки полевых сейсмических данных в условиях сложнопостроенных сред рудных районов	79
3.4 Анализ волнового поля и методика комплексной интерпретации сейсмогеологических данных для прогнозирования и выделения рудоносных горизонтов и рудных тел	95
4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТУРОВ РУДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД И ГРАНИЦ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ	105
4.1 Результаты структурной интерпретация	106
4.2 Анализ волнового поля на этапе динамической интерпретации	121
4.3 Выделение контуров перспективных объектов	123
5 СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ РУДОПЕРСПЕКТИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ЖЕЗКАЗГАНСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ	130
6 ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ 3D СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РУДНОЙ ГЕОЛОГИИ	138
6.1 Результаты анализа комплексных геолого-геофизических исследований .	138
6.2 Выводы и рекомендации по применению 3D сейсморазведки при решении задач рудной геологии	142
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	145
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	148

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие документы и стандарты:

- 1 Правила присуждения ученых степеней, утвержденных приказом МОН РК от 28. 09.2018 года №512.
- 2 Государственный общеобязательный стандарт образования Республики Казахстан послевузовское образование. Докторантура. ГОСО РК 5.04.034 –2011.
- 3 ГОСТ 7.1–2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.
- 4 ГОСТ 7.32–2001 (изменения от 2006 г.). Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления;
- 5 ГОСТ 7.9–95(ИСО 214-74) Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу Реферат и аннотация. Общие требования.
- 6 ГОСТ 8.417–81 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

2D – двумерный, в двух измерениях

3D – объемный, в трех измерениях

АК – акустический каротаж

БД – база данных

ВМДС – временная миграция до суммирования

ВСП – вертикальное сейсмическое профилирование

ГГЭ – геолого-геофизическая экспедиция

ГРП геологоразведочная партия

ГКЗ – государственный комитет по запасам

ГИС – геофизические исследования скважин

ГМДС – глубинная миграция до суммирования

ЖРР – Жезказганского рудного района

ЗМС – зона малых скоростей

K_p – коэффициент пористости

МОВ – метод отраженных волн

МОГТ – метод общей глубинной точки

МПВ – метод преломленных волн

МПВ-ЗМС – метод преломленных волн для исследования строения зоны малых скоростей

МСК – микросейсмокаротаж

НИИ – научно-исследовательский институт

ОГТ – общая глубинная точка

ОЦ – обрабатывающий центр

ПО – программное обеспечение

ПП – пункт приема упругих колебаний

РФ – Российская федерация

СФЗ – структурно-формационная зона

УВ – углеводороды

ФГМ – физико-геологическая модель

ФЭС – фильтрационно-емкостные свойства

SU – Satbayev University

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая диссертационная работа посвящена проблеме применения сейсморазведки при решении задач рудной геологии и разработке технологии создания трехмерных геологических моделей рудных объектов на основе 3D-сейсморазведки.

Сейсморазведка – наиболее богатый по возможностям и высокоинформативный геофизический метод – долгое время считался дорогостоящим при поисках и разведке рудных месторождений. В условиях сложных сред, представленных интенсивно дислоцированными комплексами эффузивно-осадочных и магматических пород складчатых зон, сейсморазведка используется, в основном, при региональных исследованиях и среднемасштабном геологическом картировании. В случае, когда стоит задача непосредственного выявления и подготовки под разведочное бурение рудоперспективных площадей и рудных объектов сейсморазведка применяется эпизодически и технология работ практически не сформировалась [6].

Однако успехи сейсмических исследований в поисках и разведке месторождений нефти и газа, а также возникшие проблемы при изучении глубокозалегающих и скрытых рудных залежей традиционными геофизическими методами, коренным образом изменили роль сейсморазведки в комплексе методов рудной геофизики [7,14,31,38].

С широким внедрением на рудных объектах современных методов отраженных волн (МОГТ), сейсморазведка оказалась эффективной при изучении пологозалегающих границ осадочного и метаморфического комплексов, сложнопостроенных структур эффузивно-осадочных горизонтов, морфологии и внутреннего строения интрузий, картирования до значительных глубин разломов, надвигов, крупных тектонических зон [10,39]. С помощью сейсморазведки уточняются не только контуры интрузии, но и определяются положения их апикальных частей, прослеживаются контактные боковые поверхности и нижние кромки. Это повышает эффективность поисков контактово-метасоматических, скарновых, штокверковых и других месторождений [15].

С применением 3D сейсморазведки и получением сейсмических изображений высокого разрешения, построением сейсмической модели с выделением зон изменения упругих свойств, возможен переход к новому уровню решаемых задач - обнаружению и объемному изучению либо факторов непосредственного рудоконтроля, либо самих рудных залежей на практически освоенных глубинах добычи и разведки. Кроме того, сегодня стоит задача поисков и разведки месторождений на глубинах до 1000 и более метров. При решении таких задач прямые методы поисков (бурение) эффективно заменить косвенными, базирующимися на построении комплексных геологических моделей рудных объектов с широким применением современных обрабатывающих и интерпретационных комплексов сейсморазведочных

данных. При этом стоимость поисково-разведочных работ снизится во много раз [42,78].

В настоящий момент на казахстанском рынке отсутствует предложение отечественных и зарубежных компаний по применению 3D сейсморазведки для моделирования рудных залежей в сложных горно-геологических условиях, отвечающих международным требованиям и способных в полной мере удовлетворить потребности отрасли. На сегодняшний день разработаны новые и постоянно совершенствуются существующие технологии методов обработки и интерпретации сейсмических данных, открывающие новые возможности для накопления полезных сигналов и более эффективной борьбы с помехами в условиях сложнопостроенных геологических объектов [8,33]. Учитывая, что существующие, в большом количестве и эффективно используемые при изучении геологического разреза, методы анализа и интерпретации сложных сейсмических волновых полей с применением специализированных геоинформационных систем, применение этих технологий на этапе детальной разведки глубокозалегающих рудных месторождений **приобретает особую актуальность** [80].

Тема диссертации: «Изучение рудных залежей методами 3D сейсморазведки и многоволновой сейсмотомографии в сложных горно-геологических условиях Центрального Казахстана».

Цель исследований: разработка технологии моделирования геологически сложнопостроенных рудных объектов на основе трёхмерной сейсморазведки в комплексе с геолого-геофизическими данными для последующего эффективного освоения и эксплуатации месторождений медистых песчаников.

Исследования проведены на опытных участках Жезказганского рудного района **для решения следующих задач:**

1) в совокупности с применением современных процедур цифровой регистрации и обработки сейсмических сигналов, получение сейсмических данных высокого разрешения во временной и глубинной областях;

2) анализ волнового поля и построение скоростных моделей с выделением зон изменения упругих свойств, связанных с геологической неоднородностью и зонами оруденения медистых песчаников;

3) проведение структурной и динамической интерпретации сейсмических данных и построение сейсмогеологической модели медного оруденения Жезказганского типа, включающие:

- структурное картирование скрытых рудоперспективных участков;
- сейсмофациальный анализ;
- выделение рудоконтролирующих тектонических нарушений;
- определение контуров рудовмещающих пород и границ рудных залежей;
- выделение связанных с оруденением зон разуплотнения, дробления и трещиноватости.

Объектом исследований является геологический разрез месторождений медистых песчаников в Жезказганском рудном районе Центрального Казахстана. Район включает уникальное по количеству запасов месторождение

Жезказган и ряд мелких месторождений меди (Итауз, Сарыоба, Кипшакпай, Карашошак, Жартас и др.), сформировавшиеся в пределах периферии Жезказганской синклинали.

Предлагаемая технология комплексной интерпретации геолого-геофизических данных с применением трёхмерной сейсморазведки для выявления рудоконтролирующих горизонтов, прослеживания их в пространстве, построения модели рудных залежей опробована на локальных детальном участках месторождений Жиландинской группы: Пектас, Донызауз, Западная Сарыоба.

Фактический материал. В основу исследований по теме диссертации положены результаты опытных 3D сейсморазведочных работ выполненные на опытных участках Жиландинской группы месторождений: Пектас, Донызауз, Западная Сарыоба. Автор диссертации являлся непосредственным участником полевых и камеральных сейсморазведочных работ.

В процессе исследований по теме диссертации широко привлекались материалы фундаментальных и производственных работ по разработке технологии создания трехмерных моделей месторождений медистых песчаников, полученных в процессе участия автора в научных проектах ТОО «Казгипроцветмет» и кафедры Геофизики и сейсмологии КазННТУ им. К.И. Сатпаева.

При проведении исследований и подготовке диссертации широко использовались опубликованные, фондовые материалы прошлых лет и новейшие геолого-геофизические данные по вопросам методики проведения, обработки и интерпретации сейсмических данных с применением современных компьютерных технологий на аналогичных мировых и казахстанских месторождениях меди стратиформного типа.

В диссертации, в первую очередь, использованы материалы по полевым детальным 3D сейсморазведочным исследованиям, результаты ВСП и бурения поисково-разведочных и разведочных скважин и, богатейший геологический материал, полученные в разные годы недропользователями, занимающиеся поиском, разведкой и разработкой месторождений меди в пределах Жезказганского рудного района.

При непосредственном участии диссертанта, в период прохождения стажировки в Государственном Университете «Дубна», и ООО Компании «Геосейс», РФ, Москва, для решения поставленных задач проведены исследования по оценки возможности применения инновационных технологий сейсмической локализации бокового обзора (СЛБО), для детального изучения процессов трещинообразования и возникновения волн сейсмоакустической эмиссии, установления закономерности изменения амплитудно-временных параметров сейсмоакустической эмиссии в зависимости от типа трещиноватости и флюидонасыщения горных пород.

Связь диссертации с другими научно-исследовательскими работами. Автор принимал непосредственное участие в исследованиях по научным проектам:

- 0265-18-ГК «Трехмерная сейсморазведка для моделирования рудных залежей в сложных горно-геологических условиях Казахстана», выполненного ТОО «Казахстанский головной институт по проектированию предприятий цветной металлургии «Казгипроцветмет» по программе грантового финансирования АО «Фонд Науки» МОН РК, в 2018-2021 г.г.;

-ИРН АР19680360 «Моделирование напряженно-деформированного состояния горных массивов при разработке рудных месторождений на основе комплексных геомеханических и геофизических исследований» по программе грантового финансирования АО «Фонд Науки» МНВОРК, выполняемого сотрудниками кафедры геофизики КазННТУ им. К.И.Сатпаева в 2023-2025 гг.

Методика исследований.

Представленные в диссертации результаты исследований направлены на разработку научно-практического обоснования построения геологических моделей для прогнозирования и эффективной разработки сложнопостроенных рудных объектов на основе применения современных технологий 3D сейсморазведки. Методика исследований состояла из нескольких этапов.

1.Эффективность решения поставленных задач достигнута в первую очередь разработкой геолого-геофизического обоснования проведенных 3D сейсморазведочных работ на опытных участках, включая:

- изучение геологического строения исследуемых участков;
- скоростной характеристики и технико-технологических условий проведения полевых работ;
- разработку дизайна системы наблюдений, обеспечивающей обоснованные параметры возбуждения, приема и регистрации полезных отражений, с повышенным уровнем высокочастотной составляющей упругих колебаний в сложных горно-геологических условиях формирования месторождений медистых песчаников.

2.На следующем этапе проведен анализ и обработка полевых 3D сейсморазведочных данных по опытным разведанным участкам Жиландинской группы месторождений Жезказганского рудного района (Пектас, Донызауз, Западная Сарыоба). В результате обработки данных сейсморазведки МОГТ получены сейсмические кубы временной и глубинной миграции до суммирования (ВМДС, ГМДС) и структурные модели высокого качества, позволившие детально осветить общее геологическое строение и локальные неоднородности целевых объектов, обеспечивающие надежную корреляцию отражений и выявление аномалий, связанных с рудными телами.

3. На основе обобщения, анализа и подготовки всей имеющейся геологической и геофизической информации по опытным участкам и обрамляющей их территорий создана база геолого-геофизических данных включающая результаты бурения, исследования керна, геофизические исследования скважин, результаты детальных полевых геологоразведочных и геофизических исследований и др.

4. Осуществлено моделирование волнового поля и построены сейсмогеологические разрезы, выявлены границы пространственного

размещения рудовмещающих пород. На основе геостатистического моделирования, комплексного геолого-геофизического анализа в среде программного обеспечения Geographix и Petrel, применения технологии сейсмической локации бокового обзора (СЛБО) для выявления зон дробления и трещиноватости, связанных с пространственным положением участков оруденения, выделены и оконтурены рудные тела.

5. На завершающем этапе, по результатам выполненных исследований, сформированы основные элементы разрабатываемой технологии, начиная от методики полевых 3D сейсморазведочных исследований, с обоснованием оптимального комплекса работ и технических средств, до обработки и комплексной интерпретации результатов 3D сейсморазведочных данных, построения объёмных сейсмогеологических моделей объектов исследований, в виде кубов трехмерных данных.

Основные научные результаты:

На примере месторождений медистых песчаников жезказганского типа, получены уникальные высокоинформативные данные. В условиях Центрального Казахстана трёхмерная сейсморазведка в комплексе со всей априорной несейсмической геолого-геофизической фактурой позволила успешно решать весь спектр поставленных выше задач, включая прогнозирование и выделение перспективных участков и зон развития рудоносных отложений.

Применение технологии и методики построения 3D геологической модели, полученной на основе комплексной интерпретации геолого-геофизических данных, с широким применением 3D сейсморазведки обеспечивает исследования глубинных геологических неоднородностей рудовмещающих комплексов; изучение строения и состава рудных объектов на целевых глубинах для последующего эффективного освоения месторождений полезных ископаемых, сформированных в сложных горно-геологических условиях.

Практический результат от использования предлагаемой технологии заключается в сокращении объемов бурения за счет повышения достоверности на основе проведения 3D сейсморазведочных работ для:

- до изучения геологического строения обозначенных для исследования участков до глубины 0.8-1 км, выделив и проследив по площади малоамплитудные пликативные (складчатые) и тектонические нарушения;

- получения данных о положении и морфологии отражающих поверхностей стратиграфических горизонтов на стратиформных рудопроявлениях, в эффузивно-осадочных и магматических комплексах с различным геолого-структурным строением;

- проведения структурное картирование рудоперспективных площадей и детального изучения глубокозалегающих рудоносных комплексов;

- прослеживания рудных горизонтов и рудных тел.

Научная новизна исследований заключается в разработке технологии специализированной съемки, обработки и интерпретации результатов высокоразрешающей сейсморазведки, применительно к рудным объектам стратиформного типа Жезказганского рудного района.

На примере месторождений медистых песчаников жезгазканского типа, получены высокоинформативные данные о глубинной неоднородности геологического разреза. В условиях Центрального Казахстана трёхмерная сейсморазведка (в комплексе со всей априорной несейсмической геолого-геофизической фактурой) позволяет успешно решать весь спектр поставленных выше задач, включая прогнозирование и выделение перспективных участков и зон развития рудоносных отложений.

Уникальность проведённых работ в рамках настоящих исследований заключается в том, что впервые 3D-сейсморазведка была задействована для решения не только структурных задач при поисках и разведке твердых полезных ископаемых, но и для выделения рудных тел на основе подбора оптимальных параметров и характеристик обработки полученных данных волнового поля.

В целом исследования направлены на повышение эффективности выявления рудных горизонтов и рудных тел, с применением способа моделирования геологически сложнопостроенных рудных месторождений, на основе комплексной интерпретации результатов трёхмерной сейсморазведки и геолого-геофизических данных.

Практическая значимость:

1. По результатам исследований по контурам рудных тел, выделенных в сейсмическом волновом поле, было рекомендовано бурение разведочных скважин глубиной 550-820 м. Компанией-недропользователем пробурено 5 заверочных скважин по новым рудным объектам, во всех было получено подтверждение о наличии медного оруденения.

2. Созданная и реализованная при выполнении исследований оригинальная технология моделирования рудного разреза с широким применением 3D сейсморазведки рекомендована к применению в горнодобывающих компаниях как на этапе тестирования применяемых сейсмических технологий регистрации и обработки сейсмической информации, так и при решении задач, связанных с дальнейшей оптимизацией сейсмических методов при поисках и изучении геологического строения рудных районов.

3. Применение сейсморазведки в комплексе геофизических методов при решении прогнозно-поисковых и поисково-разведочных задач позволит повысить информативность и достоверность прогнозной составляющей применяемых геофизических методов на различных стадиях исследования реальных сред.

4. Технология рекомендована к опробованию для выявления рудных объектов других генетических типов.

Основные защищаемые положения, выносимые на защиту:

1. Системы полевых наблюдений методом высокоразрешающей объемной сейсморазведки МОГТ-3D, с повышенной кратностью на целевых интервалах, с применением современных процедур цифровой регистрации, обработки и интерпретации, обеспечили получение высокоинформативных данных для моделирования рудных залежей с высокой степенью достоверности;

2. На основе анализа волнового поля и построения скоростных моделей выявлены закономерности изменения упругих свойств геологических комплексов рудных полей месторождений стратиформного типа и, в комплексе с разведочным бурением, установлены границы пространственного размещения рудовмещающих горизонтов в верхнебелеутинской и, отдельных слоях таскудукской свит нижнего отдела каменноугольной системы Жиландинского рудного поля;

3. Установлена связь сейсмических атрибутов с петрофизическими параметрами целевых рудоносных горизонтов. Это позволило детально изучить геологический разрез и оконтурить рудные тела на локальных разведанных участках Жиландинской группы месторождений медистых песчаников в Жезказганском рудном районе;

4. Геостатистическое моделирование методом интерполяции значений содержания металла (Cu,Pb,Zn) и изучение 3D-поля энергии рассеянных волн методом СЛБО, отождествляемое с индексом открытой трещиноватости, выявили дополнительные критерии локализации рудных залежей в месторождений меди стратиформного типа.

Апробация работы. Основные результаты научных исследований диссертанта обсуждались на семинарах и заседаниях кафедры Геофизики и сейсмологии, Совете докторантов PhD КазННТУ им. К. Сатпаева. Научные положения диссертационной работы докладывались на международных научно-практических и республиканских конференциях: NSG2021 27th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics во Франции (2021), «Инженерная и рудная геофизика 2021» (Геленджик), Геомодель, «Инженерная и рудная геофизика» Санкт-Петербург (2023), Россия.

Результаты исследований опубликованы в 9 научных работах, в периодических изданиях Казахстана, странах СНГ, дальнего зарубежья, рекомендуемых "Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК", монографии «Трехмерная сейсморазведка для моделирования рудных залежей в сложных горно-геологических условиях Казахстана», 2022, и двух рукописных отчетах. По теме диссертации опубликовано 3 статьи в журнале с ненулевым импакт-фактором (квартили Q2), 2 статьи в журналах, рекомендованных МОН РК, 3 статьи в сборниках, опубликованных по результатам научных международных и республиканских конференций.

Научный консультанты: доктор геолого-минералогических Истекова Сара Аманжоловна, зарубежный научный консультант Чиркин Игорь Алексеевич кандидат геол.–мин. наук, доцент Государственного Университета «Дубна», директора ООО Компании «Геосейс», РФ, Москва, которым автор выражает свою глубокую благодарность.

Автор выражает особую признательность коллективу кафедры Геофизики и сейсмологии КазННТУ за поддержку при написании диссертации.

Неоценимую помощь по вопросам особенностей геологического строения рудных районов Казахстана оказали диссертанту Жемчужников В.Г. к.г.-м.н., Перков И.П., директор ТОО «Лекоин», по технологии проведения полевых

сейсмических исследований в рудных районах Инкин Д.А., которых автор благодарит за консультации и поддержку при подготовке диссертации.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 154 страницах компьютерного текста и состоит из введения, 6 разделов, заключения и списка использованных источников, состоящего из 97 наименований. Диссертация включает 102 рисунка и 15 таблиц.

1 МИРОВОЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РУДНОЙ ГЕОЛОГИИ

Решение вопросов моделирования строения и формирования сложно построенных геологических сред и рудных объектов, минимизация рисков их освоения является важной задачей для решения вопросов рациональной разработки месторождений твердых полезных ископаемых. При этом, наиболее сложные и проблемные геологические модели присущи рудным объектам, расположенным на больших глубинах, осложненных дизъюнктивной тектоникой, наличием блоковой структуры, разнообразием литолого-фациального состава пород, резкой неоднородностью рудного тела и вмещающей среды.

Сейсмический метод применяется для исследования структурно-тектонических особенностей строения складчатых районов, морфологии и условий залегания рудоносных интрузий, изучения структуры рудных полей и месторождений на необходимую для целей геологической разведки глубину. Он позволяет обнаруживать и прослеживать тектонические нарушения, зачастую играющие важную роль при образовании рудных месторождений. С помощью сейсморазведки могут быть уточнены контуры рудоносных интрузий, определено положение их апикальных частей, прослежены контактные боковые поверхности и нижние кромки. Это повышает эффективность поисков контактово-метасоматических, скарновых, штокверковых и других месторождений [7,10,31].

На первых порах сейсморазведка применялась в рудных районах в модификации преломленных волн (МПВ). Однако теперь ведущее положение здесь занял метод отраженных волн (МОВ). Сейсморазведка, с помощью этого метода, оказалась эффективной при изучении пологозалегающих границ осадочного и метаморфического комплексов, сложнопостроенных структур эффузивно-осадочных пород, морфологии и внутреннего строения интрузий, картировании до значительных глубин разломов, надвигов, крупных тектонических зон [9,75].

Большой вклад в развитие сейсморазведки на протяжении многих лет внесли сотрудники ВИРГ, являясь куратором и экспертом Мингео СССР по всем видам работ рудной сейсморазведки, осуществляя координацию научно-исследовательских и производственных работ. Методические исследования ВИРГа проведены в 15 основных металлогенических провинциях России и стран СНГ: Карело-Кольский регион, Центральные районы, Беломорье, Урал, Норильск, Зап. Якутия, Северо-Восток, Приморье, Кавказ, Казахстан, Узбекистан при поисках железа, никеля, полиметаллов, меди, бокситов, алмазов, золота, апатита и др.

В начале 80-х годов произошло технологическое перевооружение сейсморазведки современными цифровыми станциями с широким внедрением невзрывных источников возбуждения упругих колебаний, внедрением многократных систем наблюдений ОГТ при полном переводе метода на

цифровую обработку сейсмической информации. С внедрением новых сейсмических технологий в рудных районах существенно повысилось качество сейсмической информации. География рудных районов, освоенных рудной сейсморазведкой, расширилась, при этом лидирующее положение продолжал занимать метод отраженных волн [36].

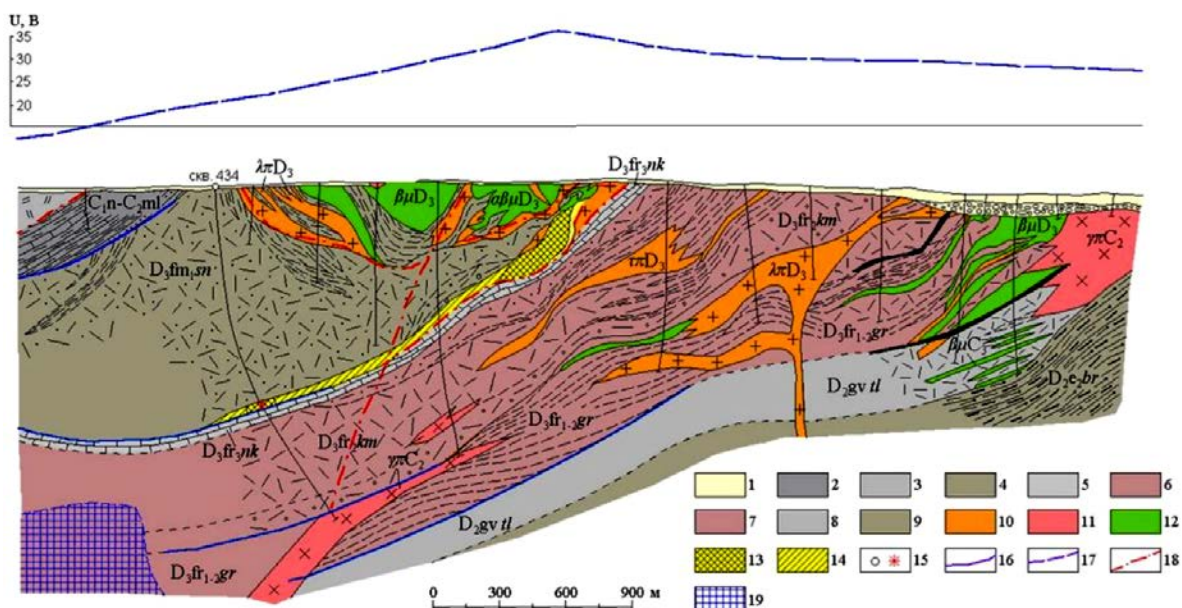
На Рудном Алтае в районе Зыряновского полиметаллического месторождения получено достаточно полное представление о глубинном строении вулканогенно-осадочной толщи девона на западном и южном продолжении Зыряновской структуры. Была построена схематическая структурная карта в масштабе 1:25 000, при этом внесены существенные коррективы в геологическое строение района, позволившие дать оценку перспективности исследуемой площади при выборе участков для постановки поисково-разведочного бурения.

Важно отметить, что здесь впервые были реализованы пространственные системы наблюдений МОВ при прослеживании сложной формы отражающих границ. В пределах Орловско-Золотушинского рудного пояса сейсморазведкой МОВ в комплексе с гравиразведкой успешно решаются задачи, связанные с изучением морфологии крупных гранитоидных массивов. К поисковым задачам, решаемым сейсморазведкой в Прииртышской зоне смятия Рудного Алтая, отнесены задачи картирования крупных надвигов, перекрывающих рудовмещающие толщи, установление положения которых имеет первостепенное значение для оценки перспектив поисковых работ в этом рудном районе.

На рисунке 1.1 приведен геологический разрез, построенный по данным сейсморазведки МОВ через Николаевское полиметаллическое месторождение. Из материалов главного геофизика ВКГУ В.Д. Борцова: «Данные сейсморазведки были подтверждены результатами заверочного бурения – отражающие границы совпали с Николаевским горизонтом (известняки среди вулканогенных пород) и границей несогласия между нижней и средним франскими отложениями [13]. Важным результатом является то, что с учетом метода заряда через скважину № 434 было установлено, что месторождения типа Николаевки локализуются не в антиклиналях, а в палеодепрессиях (зонах прогибания)».

При решении задач, связанных с поисками медно-никелевых руд, сейсморазведочные работы МОВ проводились при изучении строения рудовмещающей эффузивно-осадочной толщи пород, морфологии интрузивных массивов и глубинного картирования зон тектонических нарушений. Так в пределах Печенгского рудного поля МОВ изучена структура Печенгской грабен-синклинали [45]. В результате детальных исследований МОВ составлены сейсмические разрезы и карты по опорным отражающим горизонтам, в том числе структурные карты подошвы филлитовой продуктивной толщи (Рисунок 1.2). Важное практическое значение имеют результаты изучения внутренней структуры продуктивной толщи, позволяющие ориентировать направление

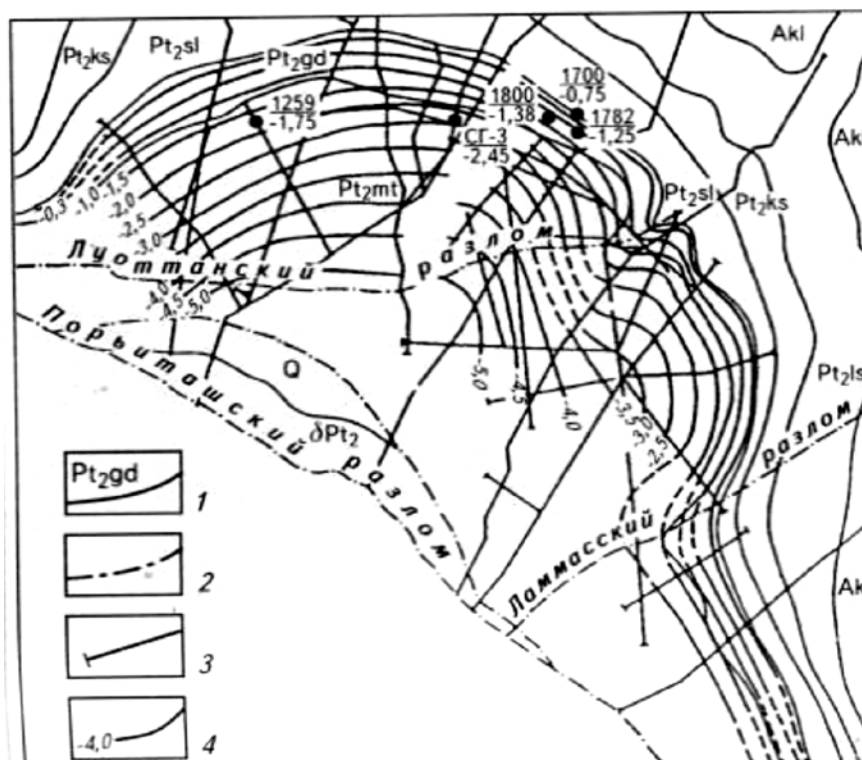
бурения поисковых скважин на никель, что было подтверждено результатами заверочного бурения.



1 – четвертичные отложения; 2 – отложения малоульбинской свиты нижнего–среднего карбона (C1n-C2 ml); 3 – отложения пихтовской свиты (D3fm pch); 4 – отложения снегиревской свиты (D3fm1 sn); 5 – николаевский горизонт (D3fr3 nk); 6 – отложения каменевской свиты (D3fr2 km); 7 – отложения гериховской свиты (D3fr1-2 gr); 8 – породы таловской свиты (D2gv tl); 9 – березовская свита (D2e2 br); 10 – липарито-дацитовые и дацитовые порфиры, трахилипаритовые порфиры (тлD3); 11 – плагиогранит-порфиры, гранит-порфиры (γпC2); 12 – андезито-базальтовые порфириты (αβμD3, αβμC3), диабазы и диабазовые порфириты (βμD3); 13 – рудное тело; 14 – предполагаемое распространение оруденения; 15 – скважина и точка заряда; 16 – границы отражающих горизонтов по данным МОВ; 17 – график потенциала; 18 – разрывные нарушения; 19 – контур интрузии по данным гравиметрической съемки

Рисунок 1.1 – Рудный Алтай. Николаевское месторождение. Геологический разрез через скважину № 434 (В.Д. Борцов, 1983)

В Норильском горнорудном районе сейсморазведка заняла лидирующее положение в изучении структурно-тектонического строения палеозойских отложений с детальным картированием рудовмещающих горизонтов и прогнозом рудоносных интрузий габбро-долеритов. К традиционным относятся задачи, решаемые методом отраженных волн в пределах Хараелахской мульды, при глубинном картировании пород тунгусской серии и структурном картировании осадочных пород разведочнинской свиты нижнего девона в масштабе 1:100 000. По материалам опытно-методической геофизической экспедиции научно-производственного объединения «Рудгеофизика» пакет отраженных волн соответствует осадочным породам тунгусской серии. На временном разрезе в поле отраженных волн отображено погружение пород тунгусской серии Хараелахской мульды (рисунок 1.3).



1 – геологические контакты; 2 – разрывные нарушения; 3 – сейсмические профили МОВ; 4 – изоглубины подошвы филлитовой толщи; 5 – разведочные скважины (номер и глубина до подошвы продуктивной толщи, км).

Рисунок 1.2 – Схематическая структурная карта подошвы филлитовой толщи (PR₂gd) по данным сейсморазведки в Печенском районе (по материалам И.В. Литвиненко и Л.К. Кокориной):

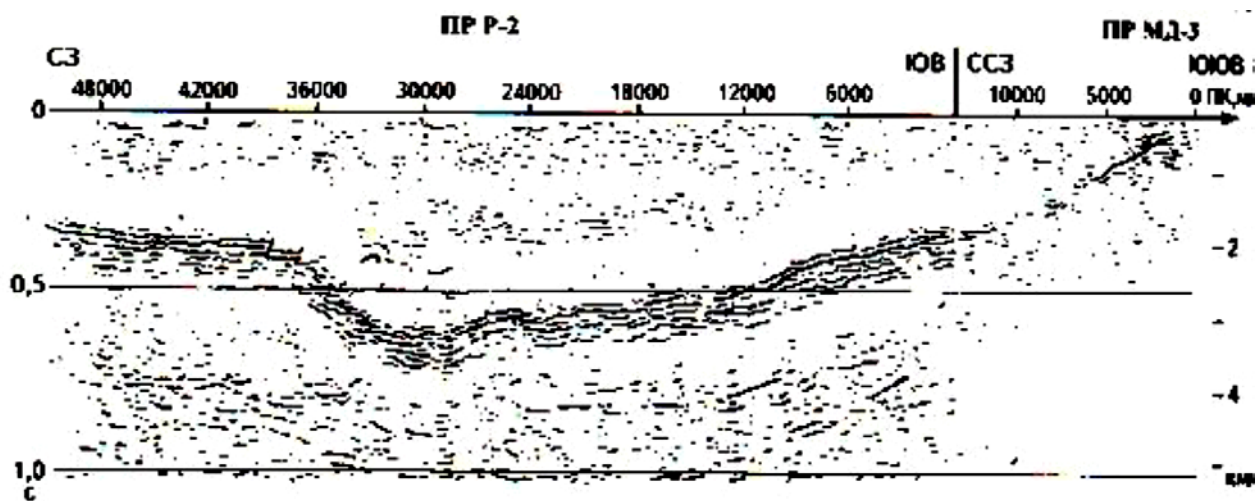
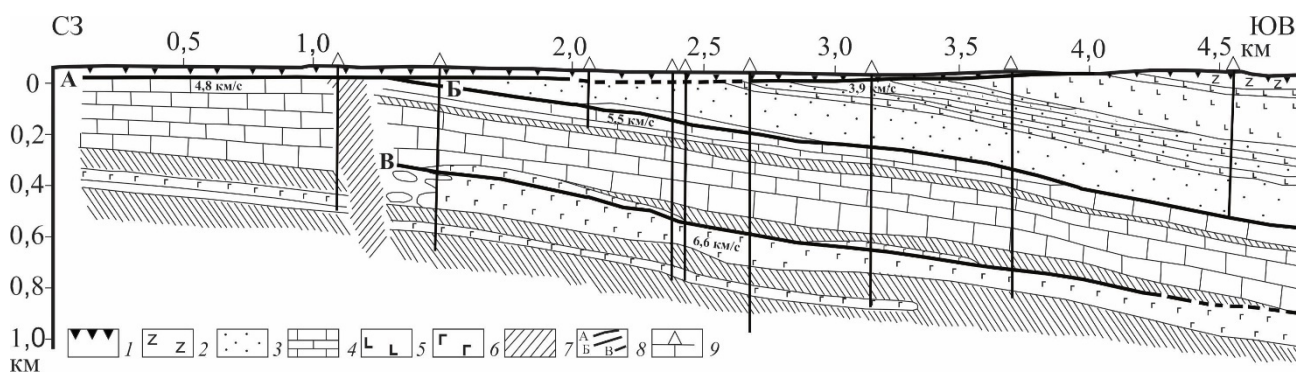


Рисунок 1.3 – Временной разрез ОГТ через Хараелахскую мульд. Пакет отраженных волн соответствует осадочным породам тунгусской серии (по материалам опытно-методической геофизической экспедиции научно-производственного объединения «Рудгеофизика»)

К наиболее сложным задачам сейсморазведки относятся поиски дифференцированных интрузий. Путем комплексирования методов отраженных и преломленных волн создана и успешно реализована методология поисков и диагностика дифференцированных интрузий. Сегодня разработаны волновые признаки обнаружения и локализации при относительно неглубоком залегании области развития интрузий, исследованы их морфология и скоростные параметры.

По данным О.И. Калинина, 2001г. методом преломленных волн на относительно небольшой глубине прослежена вскрытая скважинами дифференцированная интрузия. Контакт интрузии соответствует положение преломляющей границы с высоким значением $V_{\Gamma} = 6,6$ км/с (рисунок 1.4).



1 — четвертичные отложения; 2 — базальты; 3 — отложения тунгусской серии (СЗ-РЗ); 4 — карбонатно-сульфидная толща; 5 — недифференцированные интрузии (безрудные) габбро-долеритов; 6 — рудоносные интрузии; 7 — зона тектонических нарушений; 8 — границы по данным МПВ; 9 — разведочные скважины

Рисунок 1.4 – Сейсмогеологический разрез через дифференцированную интрузию Октябрьского медно-никелевого месторождения (О.И. Калинин, 2001))

В связи с поисками хромитовых залежей метод отраженных волн использовался при изучении морфологии ультраосновных массивов, в том числе Бураковско-Аганозерского массива и крупнейшего Кемпирсайского массива, в пределах которого выявлена серия аномальных объектов, отождествляемых с залежами хромитов. Бураковско-Аганозерский массив восточной Карелии характеризуется рудопроявлениями хрома и никеля, приуроченными к сильно метаморфизированным ультраосновным породам. Массив представлен дифференцированной интрузией пород основного и ультраосновного состава протерозойского возраста, в разрезе которой выделяются четыре основные зоны ультраосновных пород. Путем комплексирования методов отраженных и преломленных волн в сопровождении методов ПМ ВСП и АК уверенно прослежена зона серпентинизации массива с выделением участков, перспективных на поиски хромитовых руд, а также структура неизменной части пород. В поле отраженных волн прослеживается устойчивая граница, соответствующая контакту серпентинитов с неизменными породами массива и подтвержденная разведочным бурением (рисунок 1.5).

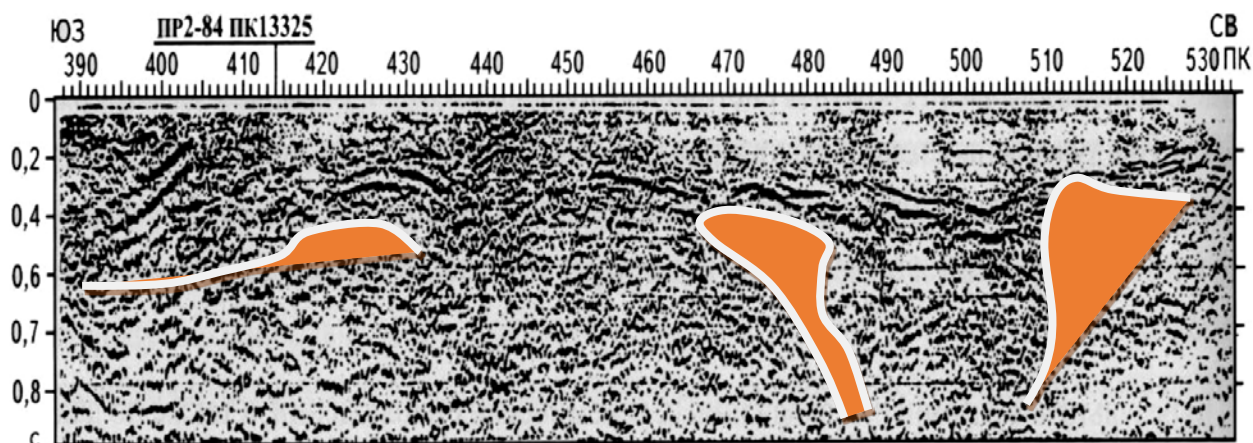


Рисунок 1.5 – Фрагмент временного разреза через Аганозерский блок
(С.А. Анкудинов, О.М. Прокатор) [10]

Сейсморазведка занимает ведущее положение среди геофизических методов при поисках и объемном картировании структуры рудоконтролирующих разломов в Золоторудной Калбе (масштаб 1:25 000 и 1:50 000). Результатами экспериментальных наблюдений установлено, что с разрывными нарушениями Золоторудной Калбы, с учетом их высокой сейсмической контрастности, связана повсеместная регистрация интенсивных отраженных волн. По результатам сейсморазведки установлена достаточно сложная взаимосвязь между зонами разломов, при этом уточнена структурная позиция месторождения Бакырчик (Рисунок 1.6) [12].

Наиболее важным результатом стало выявление не известной ранее зоны разлома северо-западного простирания, названной «Сейсмической». Положение новой зоны, подтвержденное буровыми работами, в целом соответствует простиранию Главного Калбинского разлома. Новые данные о сложном взаимоотношении структур разломов позволяют сделать вывод о существовании крупной глубинной зоны, ширина которой может составлять 20–25 км, с этим могут быть связаны новые перспективы поисков золоторудных месторождений в Восточном Казахстане.

В Казахстане значительные результаты получены при структурном картировании методом отраженных волн рудосодержащих пластов железомарганцевых и свинцово-цинковых стратиформных месторождений, а также зон медного оруденения [56,60].

Сегодня в геофизике ведутся разработки новых и усовершенствование существующих методов полевых наблюдений и обработки получаемых сейсмических материалов.

вибраторы СВ 14/150 МТК (в высокочастотном варианте) ставились в группе друг за другом почти вплотную.

Авторами использована методика параметрической развёртки отражений (ПРО), одним из достоинств которой и является детальный анализ скоростей. Из сейсмических параметров наиболее универсальным параметром является скорость продольных упругих колебаний, которую можно измерить в любой среде и метрологически обосновать измерения. При этом в методическом плане ее относительные определения не менее значимы, чем абсолютные (Кузин А.М. 1994). Применительно к данной геологической задаче он позволил выявить скоростную зональность разреза по латерали и глубине (рисунок 1.7).

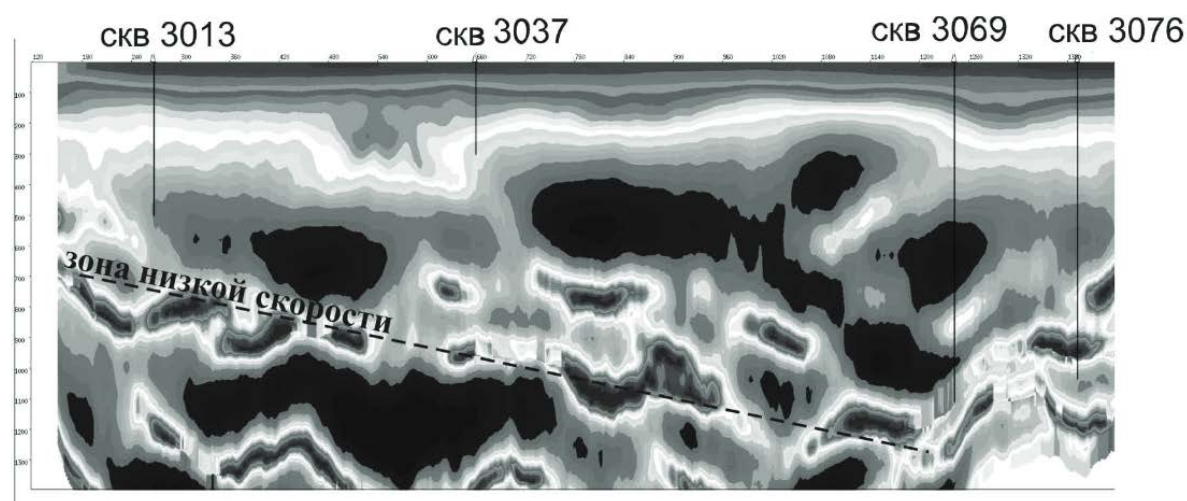


Рисунок 1.7 – Разрез интервальной скорости по методу ПРО (Колесов С.В., Кузин А.М., Кондрашков В.В. ВНИИГеофизика, Институт проблем нефти и газа РАН, 3ОАО Пангея, 2009) [40]

В итоге авторами были подтверждены общие закономерности локализации месторождений флюидного генезиса по сейсмическим данным [5], включая:

1 - в зонах гидротермально-метасоматически измененных пород (рудных интервалов) значения скорости продольной волны находятся в интервале между скоростями неизменённых и сильнотрещиноватых пород;

2 - коэффициенты отражения для гидротермально изменённых пород лежат в большинстве случаев в пределах от 0,008 до 0,07 и, соответственно, характеризуются как слабые сейсмические границы (Рисунок 1.8). С учетом шероховатости таких границ, вероятность регистрации зеркального отражения крайне мала;

3 - залежи отсутствуют в зонах вертикальных и наклонных разрывных нарушений, которые трассируются до рыхлых отложений самой верхней части разреза и характеризуются аномально низкими значениями скорости преломленной волны и/или наличием отражающей границей;

4- зоны градиентных (промежуточных) значений скорости преломленных волн, в основном, соответствуют рудным структурам.

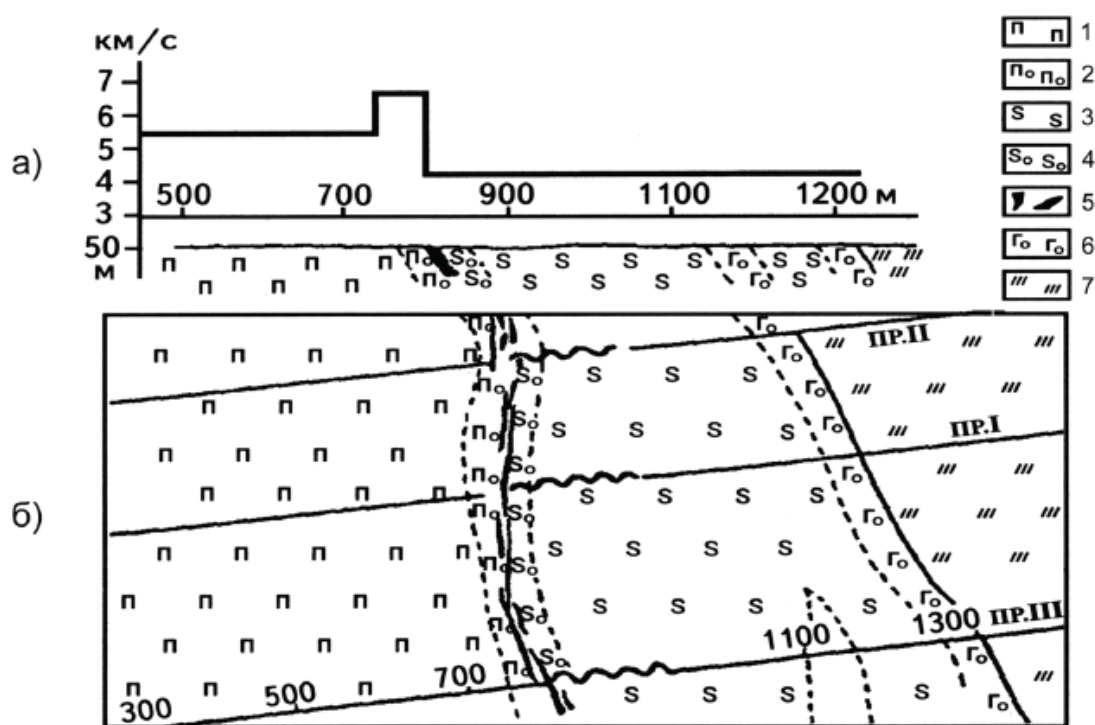


Рисунок 1.8 – Значения коэффициентов отражения продольных волн для пород, подвергнувшихся гидротермально-метасоматическим изменениям (Кузин А.М., 2008)

Эти закономерности соблюдаются в самых разных по возрасту и геологическому строению рудных районах. На рисунке 1.9 представлен сейсмогеологический разрез и график граничной скорости по медноникелевому месторождению на Воронежском кристаллическом массиве [40]. Местоположение рудной минерализации на разрезе четко коррелируется с градиентной зоной граничной скорости.

Из представленных данных видно, что скоростные неоднородности (ПРО) в верхней части разреза согласуются с распределением скорости преломленной волны вдоль профиля. Так, например, повышение скорости интервальной скорости ПРО хорошо согласуется с повышением скорости преломленной волны (Рисунок 1.8). По данным комплексного анализа распределений скорости преломленной и отраженной волнстранам была выявлена зона градиентного изменения скорости (на 20%-40%), к которой по геологическим данным приурочена рудная минерализация

Таким образом, повышение латеральной разрешённости сейсмической записи позволило: получить детальное распределение скорости ПРО по разрезу, по динамическим параметрам выделить сетку «тонкой» трещиноватости. Картина ее изменения вдоль профиля дала возможность оценить характер изменения вещественного состава в геологическом разрезе.



а – график граничной скорости; б – данные геокартирования. 1 – перидотиты; 2 – оливиновые пироксениты; серпентиниты; 4 – серпентиниты апооливинитовые; 5 – зона с богатой сульфидной медно-никелевой рудой; 6 – габбро, 7 – метасланцы

Рисунок 1.9 – Мамонское медно-никелевое месторождение (Воронежский массив) (А.П. Тарков, Л.Н. Калмыков, В.И. Дубянский). [39]:

Разрабатываемый и опробованный вибросейсмический способ разведки отраженными волнами, на Балтийском щите, в рудных районах с прослеживаемыми границами и до глубин 1—1,5 км позволяет отказаться от трудоемких буровзрывных работ и, что чрезвычайно важно, открывает возможности для накопления полезных сигналов и более эффективной борьбы с помехами. По сети сейсмических профилей во многих этих районах возможно построить площадные схемы граничной скорости, дополнив их результатами переобработки отраженных волн, что позволит выделить новые перспективные зоны рудной минерализации.

Сегодня много внимания уделяется использованию сейсмического метода в скважинах, совершенствуются методика и аппаратура акустического каротажа и вертикального сейсмического профилирования. Развивается и получил применение в производственных масштабах сейсмоэлектрический метод разведки при поисках пьезокварцевого сырья (скважинный и наземный варианты). Используются методы анализа и интерпретации сложных волновых полей с помощью инновационного программного обеспечения. Разработана и опробована аппаратура сейсмоакустического просвечивания, предназначенная для исследования межскважинного пространства в радиусе до 150—200 м [38].

Сейсмические наблюдения эффективно ведутся в системе скважина — поверхность при прослеживании крутопадающих разрывных нарушений и контактов интрузивных тел.

Перспективные исследования, особо интересные для сейсморазведки именно рудных объектов, выполняются в настоящее время с помощью сейсмической голографии («сейсмовидения»), а также направленных многокомпонентных регистраторов векторов смещения земной поверхности под воздействием сейсмических колебаний. Однако реальная отдача этих направлений — пока дело будущего.

Однако, отечественная и российская геофизика отстает от разведочной геофизики некоторых стран с развитой промышленностью, таких, как США, Канада, Франция, ФРГ, Австралия. Это связано с техническим уровнем и качеством геофизической аппаратуры, оборудования, а также специализированных компьютерных программ для обработки данных наблюдений [56].

Сегодня в Австралии, Европе, Канаде, Южной Африке разрабатываются методы, повышающие эффективность разведки глубоко залегающих твердых полезных ископаемых, используются более эффективные и безопасные технологии освоения рудных залежей.

Многолетние исследования в Канаде утвердили эту точку зрения, указав на возможную новую нишу для сейсмической разведки. Как и нефтегазовая промышленность, горнодобывающая промышленность является краеугольным камнем канадской экономики, где добыча твердых полезных ископаемых составляет порядка 12 млрд. долл. США в год. За некоторыми заметными исключениями (открытие никель-кобальтового месторождения в заливе Вуази в Лабрадоре) канадская горнодобывающая промышленность ищет новые месторождения руды для увеличения сокращающихся запасов на разрабатываемых сегодня месторождениях. Требование к выявлению глубоких рудоносных горизонтов до сегодняшнего дня стимулирует поиск новых технологий для снижения затрат и повышения эффективности бурения.

С 1990 года государственная геологическая служба Канады в сотрудничестве с промышленностью осуществляет систематическую программу оценки использования методов сейсморазведки для поисков и разведки твердых полезных ископаемых. Сейсморазведочные исследования были осуществлены для изучения как региональных структур земной коры в рудных районах Онтарио и Квебеке, так и по опытным детальным профилям через важные районы добычи полезных ископаемых в субпровинции Абитибби [80] (рисунок 1.10).

Темная зона показывает местоположение субпровинции Абитибби Канадского щита, одного из важнейшего горнорудного района в мире.



Рисунок 1.10 – Расположение крупных горнодобывающих провинций в Центральной и Восточной Канаде.

Детальные исследования осуществлялись с использованием высокочастотных параметров регистрации сейсмических сигналов (расстояние между источником и приемником 20м, развертка 30-140Гц, 240 каналов, 120-кратное покрытие, интервал выборки 2мс, длина коррелированной записи 5с с разверткой 12с).

Результаты этой работы показали, что рудовмещающие вулканогенные породы дают устойчивые отражения, отчетливо коррелирующиеся по простиранию на значительные расстояния (Clowes, 1994). Эти работы, послужили толчком для дальнейших исследований с целью оценки использования многоканальной сейсморазведки (MCS) для изучения глубоких рудных горизонтов (до 2 км и более) и проектирования эффективной технологии разработки месторождений.

Исследования упругих свойств горных пород показали, что ожидаемый разброс значений в акустическом импедансе между рудами и вмещающими породами достаточный для выделения наблюдаемых отраженных и (или) рассеянных волн. Однако для того, чтобы рудная залежь была выделена с помощью MCS, она должна соответствовать геометрическим критериям, включающие минимальные толщины (обычно ~5 м) и протяженность (обычно ~100 м) (рисунок 1.11). Минимальная разрешаемая толщина пласта ~25 м (верхняя и нижняя разрешаемая толщина)

Минимальная обнаруживаемая толщина слоя ~ 5 м или менее

Вертикальное разрешение ~10 м

Горизонтальное разрешение ~ 25 м

*Разрешение сохраняется с глубиной

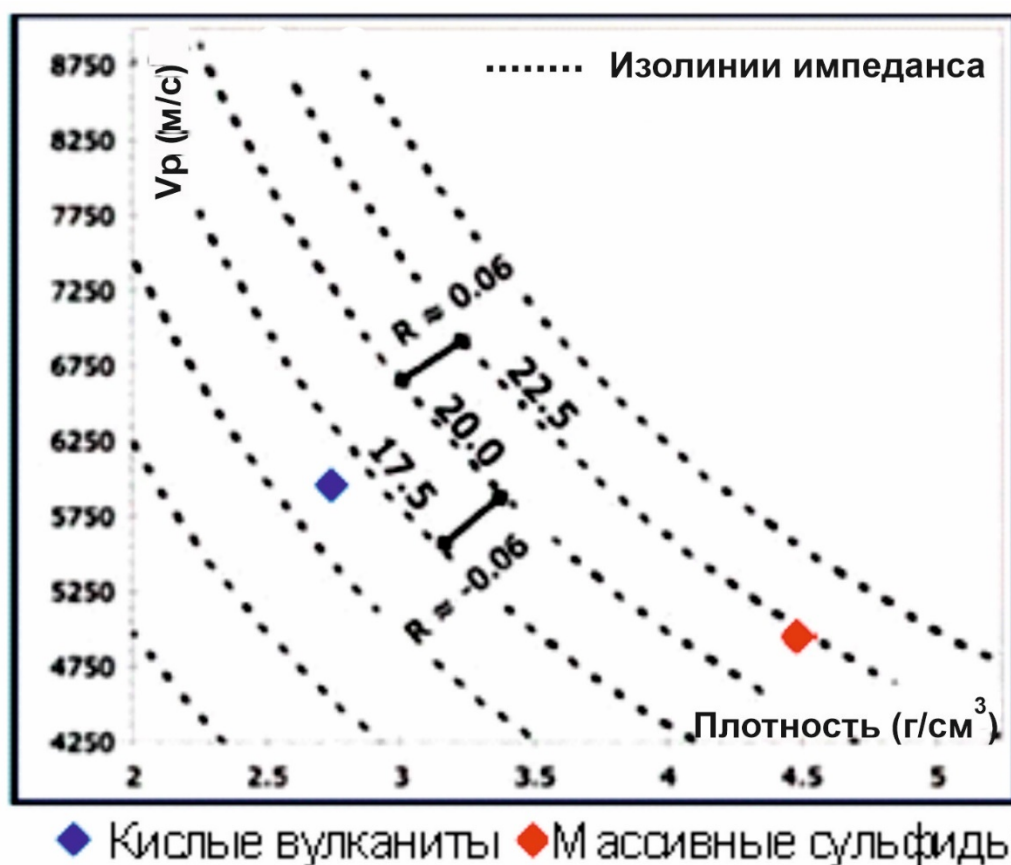


Рисунок 1.11 – Разница в значениях акустического импеданса на рудных месторождениях (Consolidated Minerals Ltd Bullabulling Gold Ltd, Northern Star Resources Ltd Lundin Mining MMG, 2013)

На рисунке 1.12 показан пример мигрированных сейсмических разрезов месторождений Матагами и Квебек, которые иллюстрируют отражения сейсмических волн, связанные с вулканическими рудовмещающими комплексами в рудной провинции Абитиби.

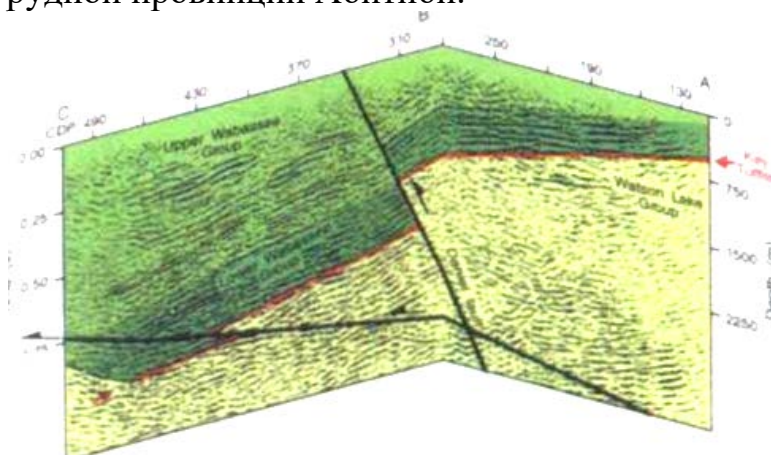


Рисунок 1.12 – Сейсмический разрез по линии высокого разрешения 29-3 района Матагами, Северный Квебек, (Adamet al., 1995)

Последующие сейсмические исследования в Канаде, увязанные с данными скважин, показали, что литологические контакты между ультраосновными и кислыми породами, характеризующиеся хорошей петрофизической дифференциацией и значительной протяженностью массивов, являются также благоприятными для выделения их с помощью MCS метода. Однако на некоторых месторождениях, таких как Бучаны, лучше фиксируются структурные зоны (разломы, сдвиги, смещения пластов и т.д.) чем литологические контакты. В обоих случаях эти исследования показали, что качественная регистрация и корректно обработанные сейсмические данные могут служить ценным геофизическим инструментом для интерпретации стратиграфического и структурного каркаса минеральных систем и, реже, прямого обнаружения глубоких рудных месторождений.

Широко известна возможность применения сейсморазведки для мониторинга разработки нефтяных месторождений (4D сейсморазведка). В этом направлении для рудных месторождений также имеется положительный результат по эффективному применению сейсмических методов для выявления отработанных блоков рудной залежи и построения моделей подземных выработок для дальнейшей успешной разработки месторождения. Анализ синтетического и наблюдаемого 2D немигрированного разреза на колчеданном месторождении Крейтон и массивной сульфидной залежи месторождения Гертруды в районе Садбери (Канада), показывает возможность выделения, по характеру рассеянного сейсмического сигнала, границы между нетронутой и выработанной в процессе разработки частями рудного тела. Важным параметром здесь является направление и характер рассеяния энергии сейсмического сигнала. Эти, и другие результаты моделирования сейсмических данных свидетельствуют о распространении прямого рассеяния по направлению падения линзовидных залежей, а по величине амплитуды сейсмических волн выделяется граница выработанной области рудной залежи, характеризующаяся максимальным дифракционным окликом (рисунок 1.13).

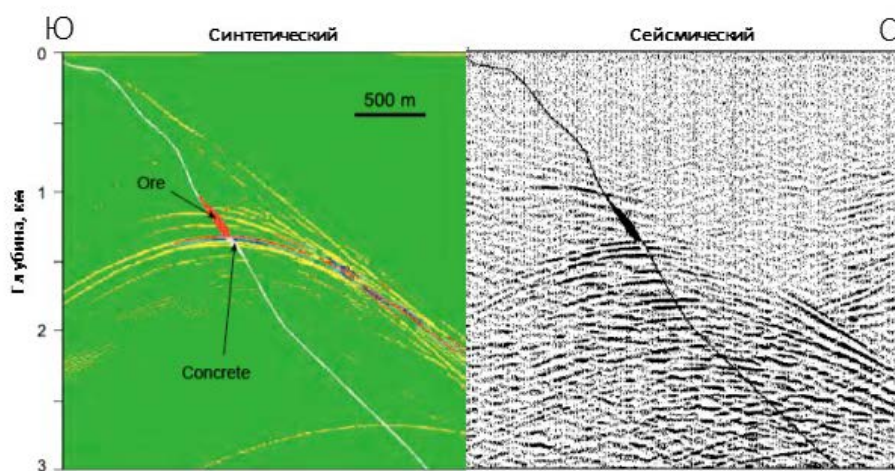


Рисунок 1.13 – Синтетические (слева) и наблюдаемые (справа) отражения от массивной сульфидной залежи месторождения Гертруды в Садбери

Дифракция сейсмических волн в верхней части рудного тела показывает границу нетронутой и выработанной части рудной залежи (Milkereit et al. 1996).

Комплексный анализ геолого-геофизических данных проведен австралийскими исследователями на месторождении Камбалда (западная Австралия). Сейсмическая съемка проведена по серии поисковых профилей (2D) и по площади непосредственно над рудной залежью (3D) (рисунок 1.14).

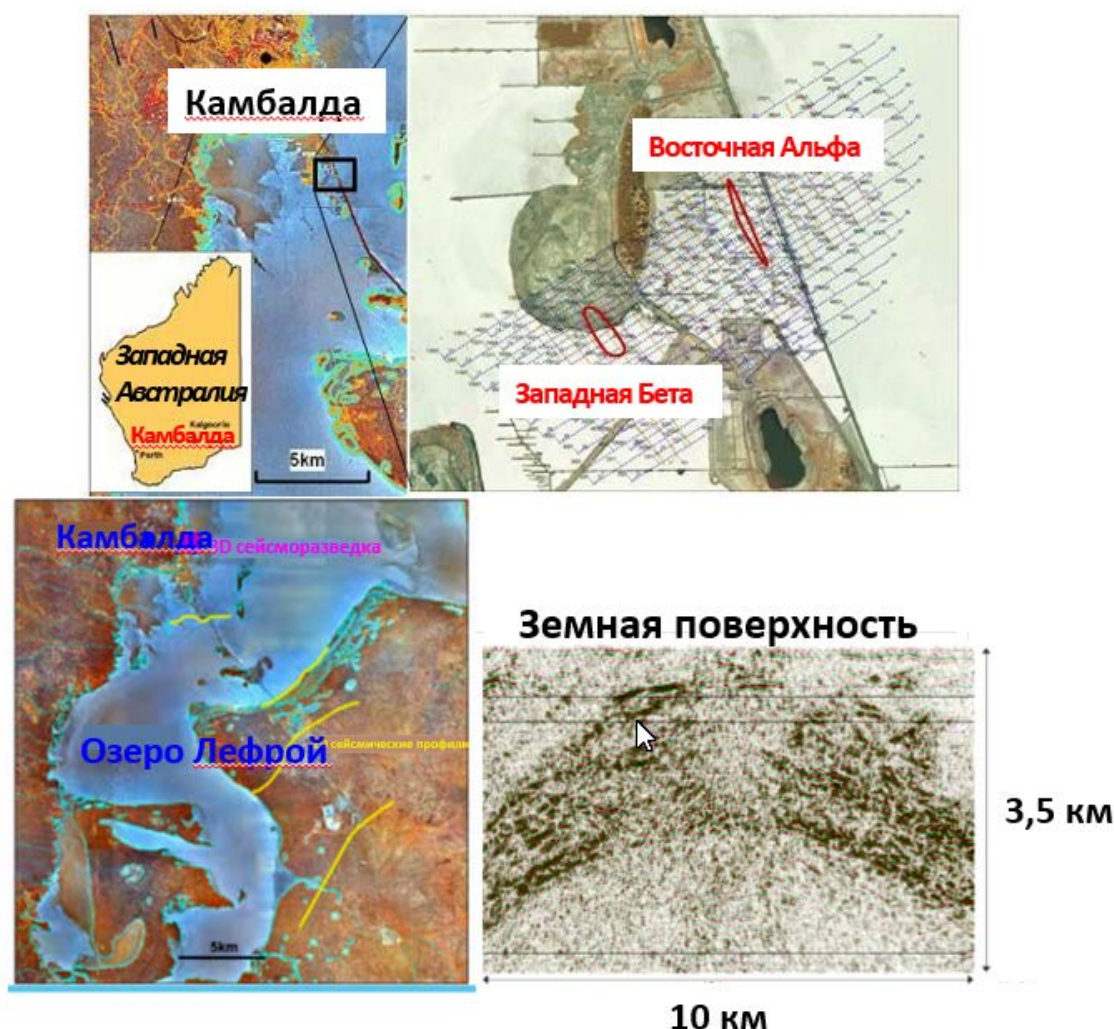


Рисунок 1.14 – Месторождение Камбалда (западная Австралия). Сейсмические 2D и 3D исследования (Stolz and Lally, 2006)

В результате показано, что сейсмические исследования (2D и 3D съемки) обеспечивают с достаточной степенью достоверности решение следующих геологических задач:

-дифференциация геологического разреза по скорости распространения сейсмических волн и плотности горных пород (рисунок 1.15);

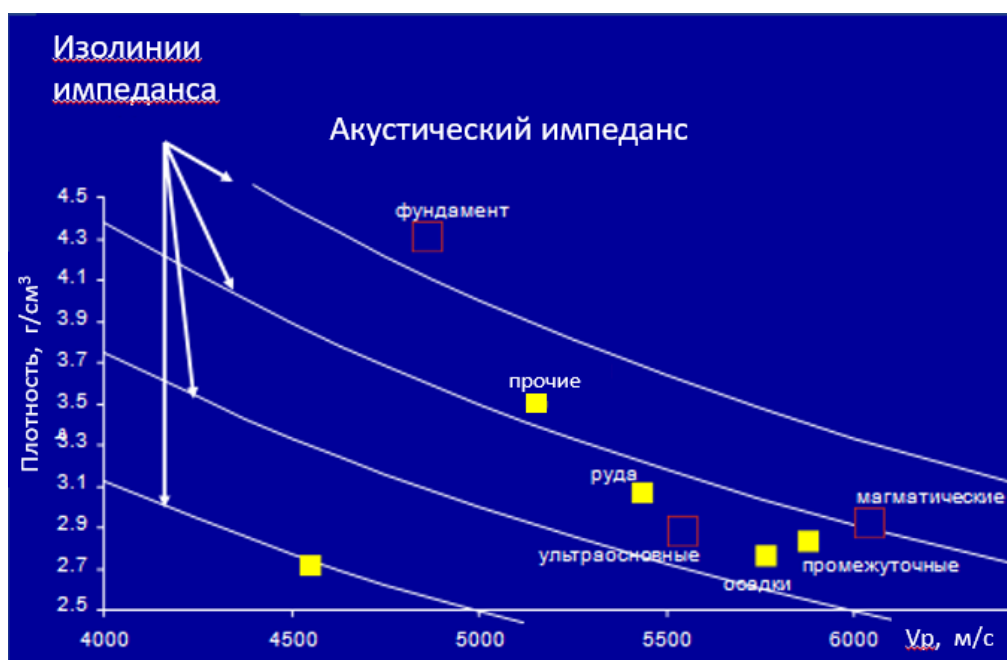


Рисунок 1.15 – Свойства горных пород месторождения Камбалда (западная Австралия). (Stolz and Lally, 2006)

-выделение литолого-фациальных неоднородностей геологического разреза, стратиграфических комплексов, зон минерализации на глубине (рисунок 1.16-1.17);

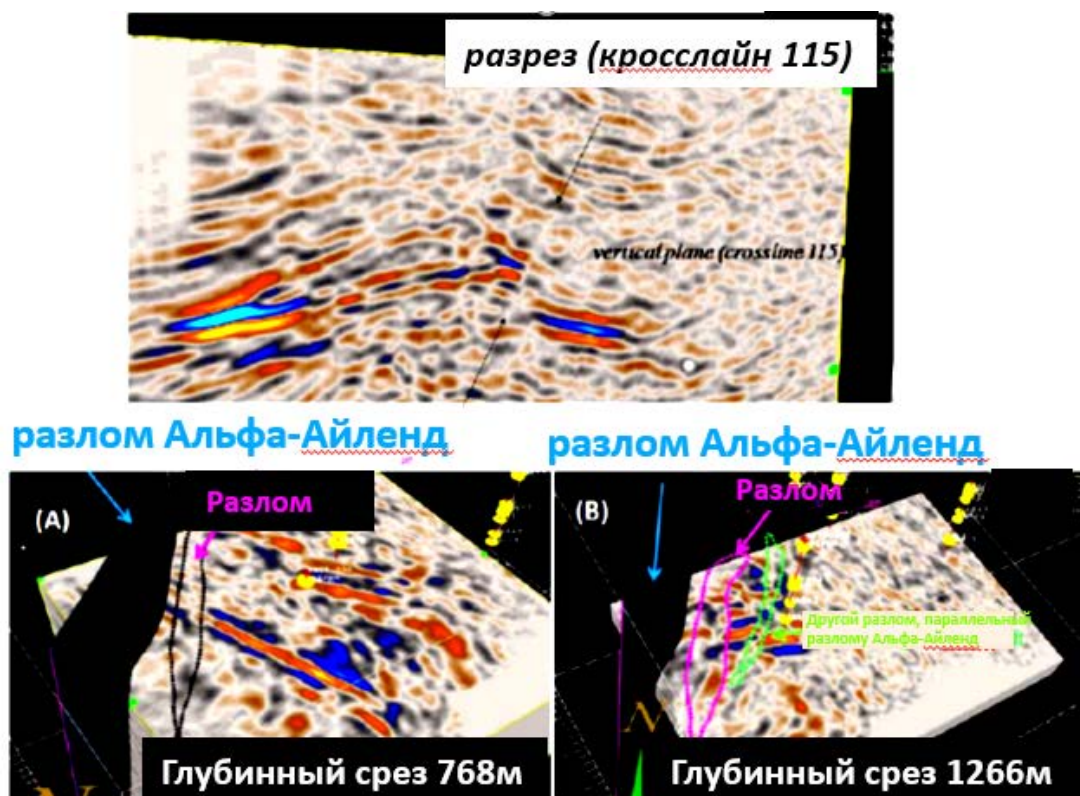


Рисунок 1.16 – Месторождение Камбалда (западная Австралия)

Никелевый рудник Лонг-Виктор

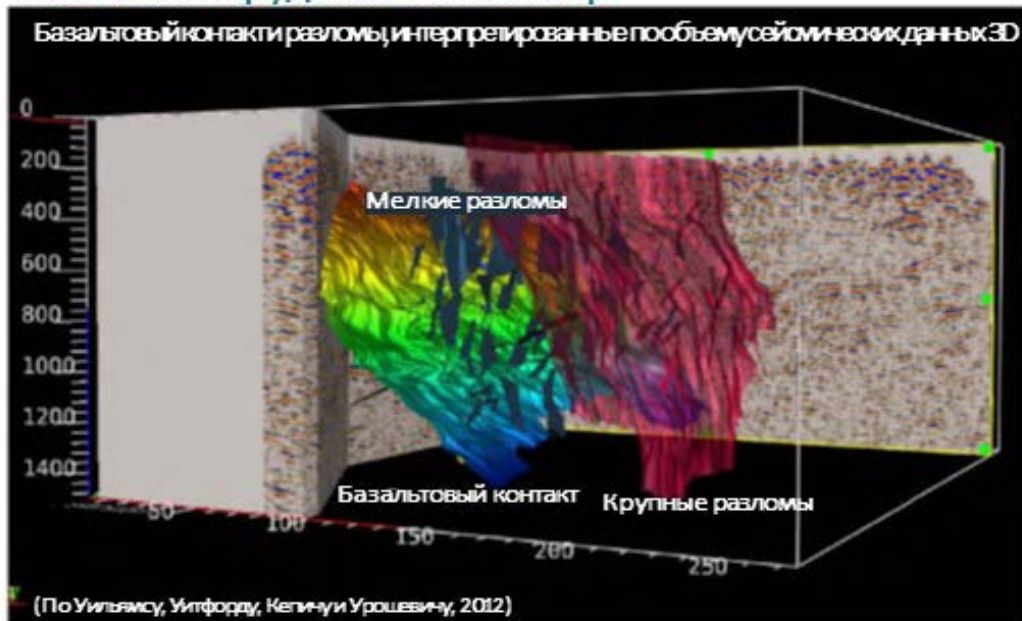


Рисунок 1.17 – Месторождение Камбалда (западная Австралия). 3D сейсмическая модель. Выделение контактов и зон разломов (Williams, Whitford, Keric, and Urosevic, 2012)

- выделение литолого-фациальных неоднородностей геологического разреза, стратиграфических комплексов, зон минерализации на глубине [83];
- выделение флюидных зон и площади их распространения;
- выделение контрастных по физическим параметрам (массивных) рудных залежей, их морфологию и геометрию (рисунок 1.18-1.19).

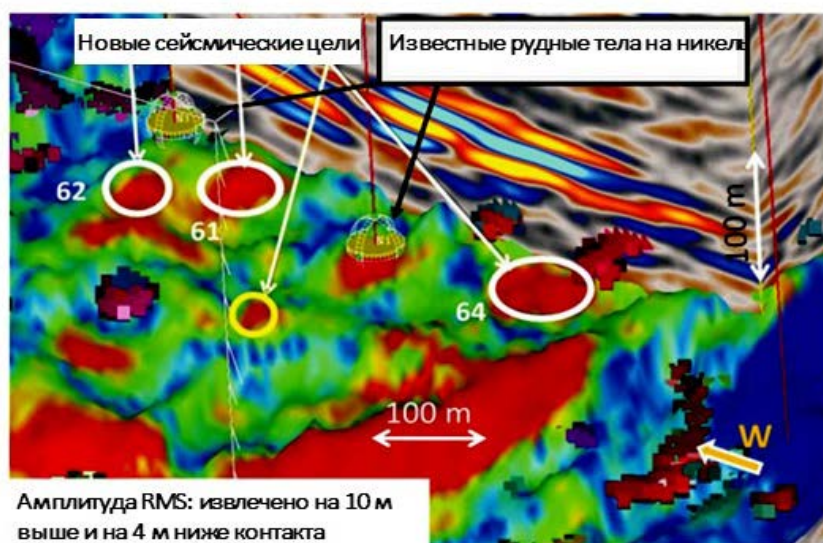


Рисунок 1.18 – Месторождение Камбалда (западная Австралия). Новые сейсмические объекты

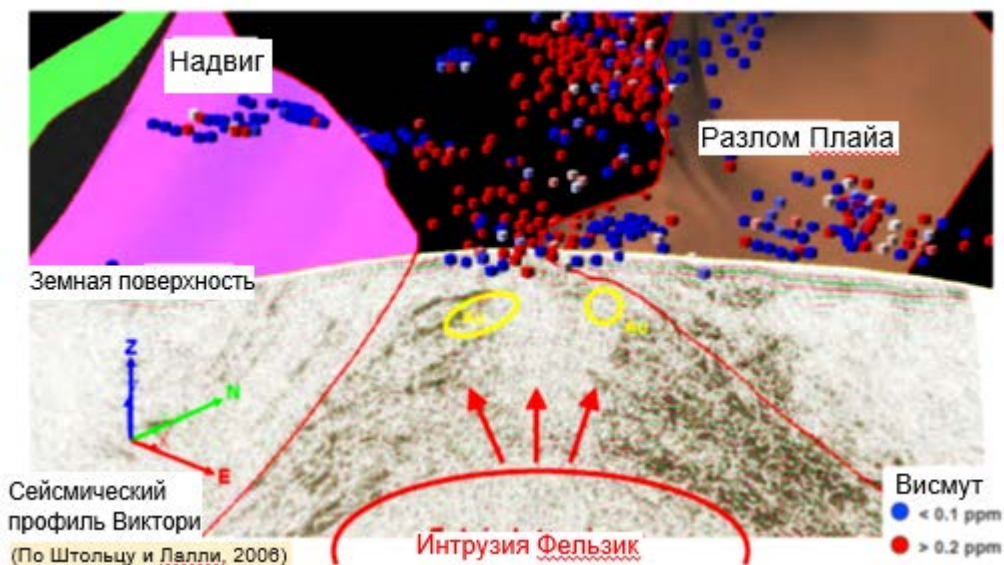


Рисунок 1.19 – Месторождение Камбалда (западная Австралия). Комплексная интерпретация геолого-геофизических данных при изучении золоторудных объектов (Stolz and Lally, 2006)

Высокоразрешающая 3D сейсморазведка была проведена на площади 21 квадратный километр вокруг медно-цинкового рудника Невеш-Корво. Месторождение было обнаружено в 1977 году по гравиметрической аномалии в ходе геофизических исследований Пиренейского колчеданного пояса на юге Португалии (рисунок 1.20).



Рисунок 1.20 – Месторождения Пиренейского колчеданного пояса. Невеш-Корво: крупное месторождение массивных сульфидов (Lundin Mining 2012г.)

Предварительные результаты позволили получить четкое изображение на сейсмических разрезах крупного месторождения Semblana, подтвердив тем самым эффективность сейсморазведки при выявлении «слепых» месторождений массивных сульфидных руд (Рисунок 1.21-1.22).



Рисунок 1.21 – Невеш-Корво. Сейсмический срез 3D на глубине 894 м. (Lundin Mining ,2012)

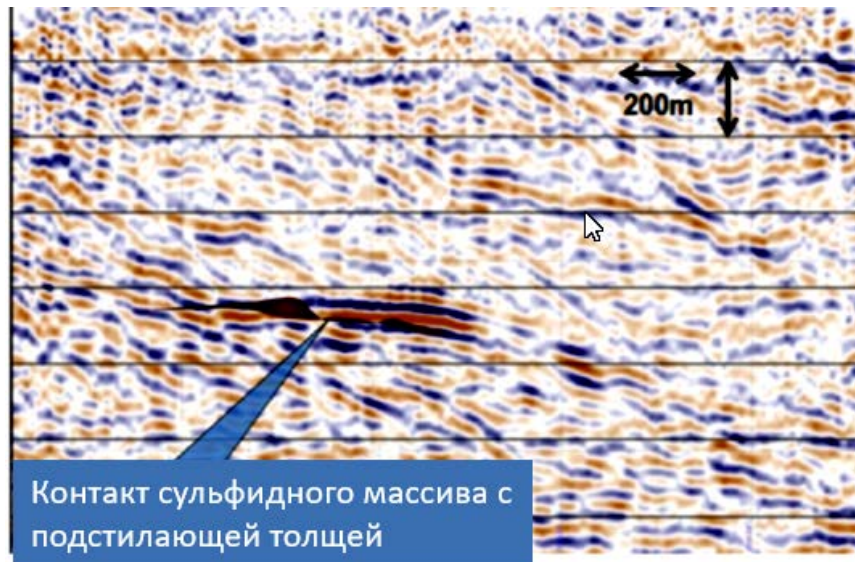


Рисунок 1.22 – 3D сейсморазведка на руднике Невеш-Корво. Выделение массивных сульфидных руд на границе с кристаллическим фундаментом (Lundin Mining ,2012)

На основе 3D-моделей, созданных с использованием вновь полученных сейсмических данных, были запроектированы 2 новые скважины, каждая из которых была пробурена на минимальную глубину 600 м. В итоге, выявлены

перспективные рудовмещающие ультрамафит-амфиболитовые комплексы ниже месторождения и установлены пересечения с глубинным продолжением рудных тел разрабатываемых продуктивных горизонтов.

Выводы. Проведенный обзор показывает, что, на сегодняшний день получены многочисленные положительные результаты 2D и 3D полевых сейсморазведочных работ на различных месторождениях твердых полезных ископаемых. Сейсмические методы все чаще используются в рудной геологии для выявления широкого спектра рудных объектов, включая основные металлы (Cu, Pb, Zn, Al и др), уран, алмазы и драгоценные металлы и обеспечивают изучение глубинных геологических структур вмещающие рудоносные горизонты, а в некоторых случаях могут использоваться для прямого выделения рудных залежей [81].

Успешно сейсморазведочные работы проводятся как с целью поисков и разведки рудных месторождений, так и для планирования подземных выработок при разработке глубоких рудных объектов.

В Казахстане традиционно для решения задач поисковой геологии в сложнопостроенных высокоскоростных средах при изучении верхних горизонтов (до 500 м) используется 2D сейсморазведка методом МОВ, характеризующаяся ограниченной информативностью при изучении глубинного строения площадей и участков, не содержащих устойчивых сейсмических границ. Во многих рудных районах установлена пространственно-генетическая связь рудолокализации с породами определенного литологического состава, магматическими телами, тектоническими зонами и др. Сейсмический метод чаще всего применяется для исследования структурно-тектонических особенностей строения складчатых районов, морфологии и условий залегания рудоносных интрузий, изучения структуры рудовмещающих полей на необходимую для поисковых задач глубину, как правило, в масштабе не крупнее 1:50 000.

Возрастающее применение современных методов отраженных волн (МОГТ) на различных рудных объектах показывает, что она, наконец, становится признанной и традиционной при решении разведочных задач и в горнодобывающем секторе. Это открывает новые возможности для геофизиков, но также ставит дополнительные задачи для решения новых проблем. [31,33, 89].

2 ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОСТАНОВКИ 3D СЕЙСМОРАЗВЕДКИ НА ОПЫТНЫХ ОБЪЕКТАХ ЖЕЗКАЗГАНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

Разработка технологии применения высокоразрешающей сейсморазведки на рудных месторождениях Казахстана осуществлена на примере Жезказганского рудного района, в пределах Жиландинского рудного поля, на участках Пектас, Донызауыз и Западная Сарыюба, где в последние десятилетия наработано огромное количество геолого-геофизических исследований, в том числе сейсмических данных различных методов и модификаций (ГСЗ, КМПВ, МОВ, МОВЗ, МОГТ) как в профильном, так и площадном вариантах [65].

2.1 Общие сведения и история изучения геологического строения месторождений медистых песчаников Жезказганского рудного района

Большой Жезказган – детище К.И. Сатпаева, несомненная заслуга которого как ученого в том, что он на примере Жезказганского рудного района первым применил системный подход к решению задач металлогении. Тем самым был внесен весомый вклад в современное представление о закономерностях распространения оруденения типа медистых песчаников на всех уровнях: от рудных районов до конкретных рудных тел. К.И. Сатпаев сумел привлечь для реализации важнейших научной, социальной и экономической задач исключительно сильный по научной и технической вооруженности коллектив – сплав передовой геологической науки и практики того времени [58].

В пределах бортов Жезказганской впадины и одноименной синклинали в значительных объёмах выполнены как региональные (1:500 000-200 000) так и крупномасштабные геолого-геофизические работы масштаба 1:25000-1:50000 с целью поисков структур, перспективных на медное оруденение.

Жиландинская группа медных месторождений расположена в северной части Жезказганского рудного района и включает месторождения Восточная и Западная Сарыюба, Итауыз, Кипшакпай, Карашошак и ряд рудопроявлений (Айранбай, Пектас и т.д.), которые относятся к широко распространенному в мире типу медистых песчаников и являются генетическими аналогами месторождений Жезказганского рудного поля (рисунок 2.1). Аналоги месторождений за рубежом это – месторождения Кабульского медно-рудного района (Айнак, Дарбанд, Тагхар, Джавхар и др.) и месторождений Северной Родезии в Африке (Чамбиши, Чибулума, Муфулира, Роан-Антелопе) и др. [48].

На месторождениях Жиландинской группы Жезказганской ГРЭ и Жиландинской ГРП многие годы выполнялись в больших объемах геологоразведочные работы. По их результатам детально изучен геологический разрез меднорудных месторождений указанной группы. Это позволило утвердить в ГКЗ по промышленным категориям запасы месторождений Восточная Сарыюба, Западная Сарыюба, Итауыз и Кипшакпай.

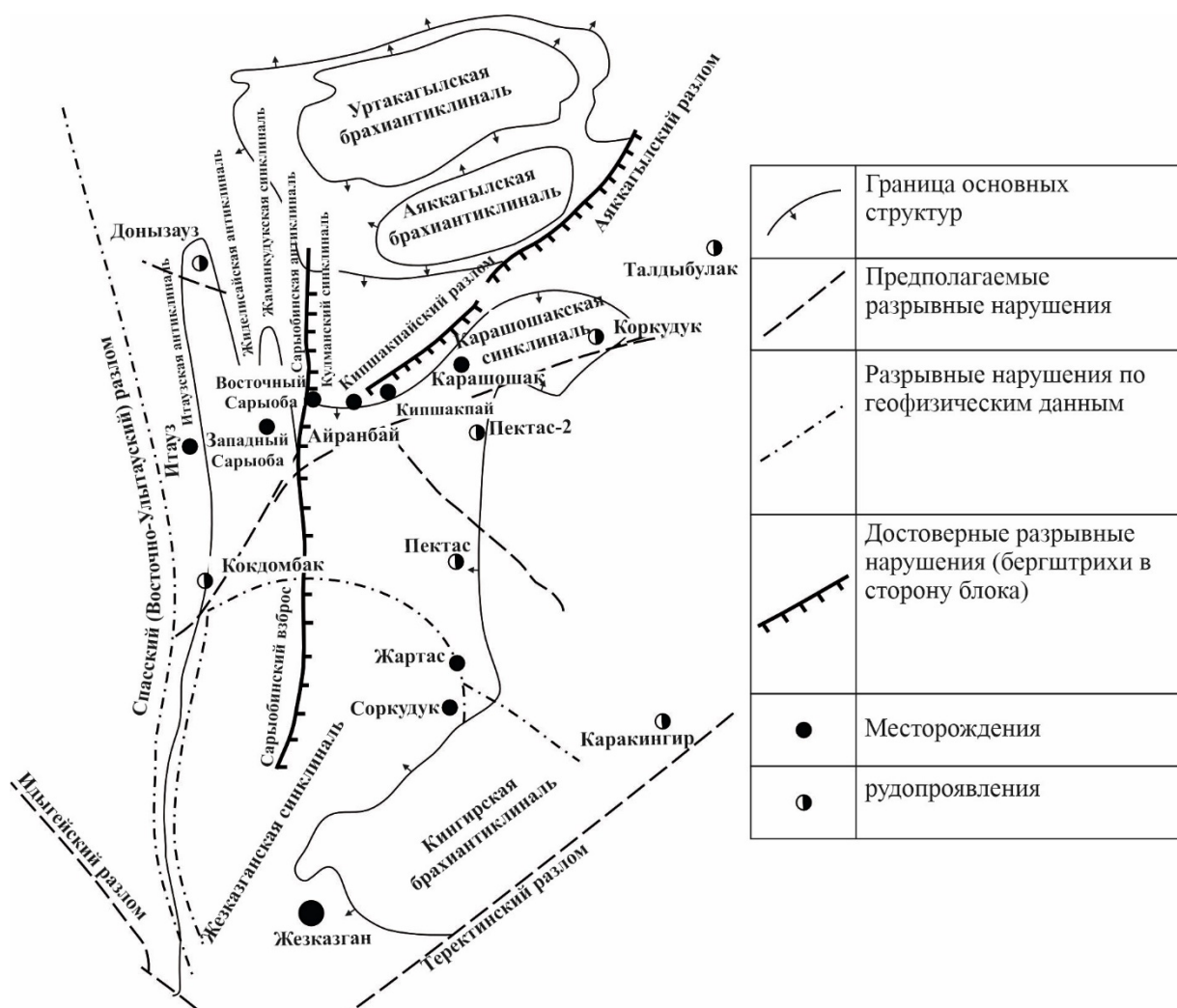


Рисунок 2.1 – Схема расположения месторождений и рудопроявлений Жезказганского рудного района (Ужва В.И. 2011г)

Жезказганской ГРЭ на площади месторождений Жиландинсеой группы планомерно проводились площадные геофизические работы (электроразведка, высокоточная магнитосъемка, гравиразведка), которыми уточнены геолого-структурные особенности этих объектов. Площадь исследований покрыта аэромагнитной съемкой масштаба 1:200 000-1:50 000 масштабов, которой выявлены аномалии, связанные с породами докембрийского комплекса и интрузиями ультраосновного и среднего состава.

Гравиметрические региональные и поисковые исследования масштаба 1:200 000-1:50 000 проведены в разные годы различными производственными организациями. Целью работ было выяснение общего геологического строения и структурных особенностей обрамления Жезказганской впадины и Сарысу-Тенизского поднятия, позволившей провести тектоническое районирование, выделить крупные тектонические блоки каледонского фундамента и дать их предварительную характеристику. На основании этих съемок были издана Государственная гравиметрическая карта масштаба 1:200 000.

Крупномасштабные комплексные геофизические исследования масштаба 1:50000-1:25 000 проводились в районе силами Жезказганской геофизической экспедиции с целью выяснения общих структурных особенностей и оценки перспектив площади на полиметаллы и железо-марганцевых руд, а также выявление областей перспективных на медь и свинец. На ряде известных месторождений и рудопроявлений меди (Итауз, Сары-Оба), марганца (Каратас) и кобальта (Восточный Шайтантас) были проведены опытные детальные работы методами магниторазведки и электроразведки (ВЭЗ, КЭП, ЕП) с целью выработки методики поисков месторождений подобного типа. В комплекс входили гравиразведка, электроразведка методом ВЭЗ и КП, магниторазведка, литогеохимия, сейсморазведка КМПВ. Геофизическими методами вышеуказанных масштабов успешно решались задачи геолого-структурного картирования и изучения рудоперспективных участков, выделены интрузивные образования и изучены их морфология, выявлены и протрассированы тектонические нарушения, сопровождающие зоны оруденения цветных и редких металлов. Важная роль при этом принадлежала гравиразведке. Был сделан вывод о доминирующем влиянии на гравиметрическое поле структурных элементов каледонского фундамента в то время, как локальные особенности поля отмечают детали строения средне - верхнепалеозойских отложений. Анализ работ на примере месторождения Жартас, подтвердил представление о том, что месторождения жезказганского типа проявляются в виде областей повышенных значений силы тяжести и удельных электрических сопротивлений. При этом, не было установлено значительных осложнений пород восточного борта Жезказганской синклинали, перспективной на поиски меди [3, 66].

В регионе неоднократно проводились тематические исследования по обобщению крупномасштабных геофизических и геохимических данных с задачей прогнозирования медистых песчаников по районам Жезказганской и Жиландинской групп месторождений. В зависимости от поставленных задач, в комплекс входили анализ результатов гравиразведки, магниторазведки, литохимия ГХВ и различные модификации электроразведки, сейсморазведка. При решении поисковых задач, кроме литохимической съемки, наиболее интересные результаты были получены методом ВП, которым была опoискована площадь продуктивных отложений в северо-восточном крыле Кумолинской синклинали.

Результатами обобщения геолого-геофизических материалов по Жезказганской синклинали стали составление структурно-тектонической карты и прогнозно-металлогенической схемы в масштабе 1:50 000. В итоге составлены сводные карты магнитного и гравитационного полей, ореолов рассеяния металлов и графиков η_k , выполненные по всей Жезказганской синклинали. Установлено, что рудные месторождения меди приурочены к гравитационным максимумам. Установлено, что наряду с широким развитием относительно рассеянных агрегатов меди в толще пород карбона, имеется определенная тенденция к возрастанию её концентрации в пределах тектонически нарушенных участков. Эта тенденция достаточно четко проявляется для верхних горизонтов

Центрального Жезказгана, смятых в крутые флексурообразные складки, а в районе месторождения Сарыоба в пределах Сарыобинского надвига и др. местах. Сделан вывод, что стратиграфический фактор имеет второстепенное значение. По данным интерпретации геофизических данных выделены две антиклинальные структуры: в северной части Жезказганской синклинали под пермскими отложениями южное продолжение Западно-Сарыобинской антиклинали и в средней части синклинали - приподнятый Кокдомбакский широтный приподнятый блок, где глубина залегания пород карбона не превышает 600 метров.

Установлены перспективы различных частей Жезказганской синклинали для поисков меди. На структурно-геофизической схемах оконтурены три области поисков первой очереди: в пределах Сарыобинской антиклинали, Карашошакской синклинали и на восточном борту Жезказганской синклинали в районе месторождения Жартас, рекомендовано бурение структурно-поисковых скважин.

В последующий период в районе Жезказганской синклинали в помощь геологическому картированию и поискам полезных ископаемых на перспективных участках были продолжены крупномасштабные комплексные работы масштаба 1:10 000. Геофизические исследования велись преимущественно силами Жезказганской геофизической и Жезказганской геологоразведочной экспедициями для оконтуривания рудоперспективных комплексов жезказганской и таскудукской свит и выделения рудных тел.

Сейсмические исследования в регионе проводились в комплексе с другими геофизическими работами неоднократно в пределах перспективных площадей Жезказганской синклинали. Эти работы позволили получить единое представление о структуре и характере распределения минерализации на её бортах и сделать обоснованные прогнозы для поисков медных руд. Сейсморазведкой было подтверждено наличие выявленных ранее тектонических нарушений.

Силами Жезказганской геологоразведочной экспедиции (Котляров, в 1975-77 гг.) проведены сейсморазведочные работы МОВ. Прослежены опорные горизонты и определены глубины залегания продуктивных отложений - в восточной и центральной частях надежно, а на западном крыле Жезказганской синклинали из-за его сложного строения и невозможности однозначной интерпретации сейсмических материалов весьма ориентировочно. Существенно уточнено строение отдельных частей Жезказганской синклинали, в первую очередь это относится к ранее выделенному району Сарыобинской антиклинали и Кокдомбакского поднятия. По сейсмическим данным Жезказганская синклиналь представляет собой резко асимметричную складку с пологим восточным и крутым, местами запрокинутым и надвинутым на внутреннюю часть структуры, западным крылом.

Жезказганской геологоразведочной экспедицией (Смирнова Н.Н., 1980-84 гг.) были проведены опытно-методические работы МОГТ на участке Северной группы месторождений меди (Жиландинское рудное поле) с целью оценки возможностей сейсморазведочных методов при прямых поисках медных месторождений по ряду

аномальных признаков. Кроме того, была сделана переинтерпретация материалов МОВ и КМПВ прошлых лет в свете новых скоростных параметров по Жезказганской синклинали и увязка их с материалами МОГТ.

Акционерным обществом «Жезказгангеология» (Смирнова Н. Н, 1994 г.) в северо-восточной части Жезказганской впадины проведена сейморазведка МОГТ методом 24-кратного профилирования с поисковым бурением. Целью работ являлось выявление перспективных на медистые песчаники структур, изучение геологического разреза верхнепалеозойских отложений, трассирование тектонических нарушений и проверка вновь выявленных структур на содержание меди. Были прослежены опорные отражающие горизонты RIII (подошва отложений C1), RII (подошва отложений C2ts), RII (низы подошвы C1v2), зона Теректинского разлома и другие нарушения. Оценена глубина залегания подошвы продуктивной таскудукской свиты.

В последнее десятилетие Корпорацией «Казахмыс» начат новый этап прогнозно-поисковых исследований в Жезказганском районе с использованием новейших методов ведения этих работ, включая современные данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) и новейшие технологии геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых [16].

В качестве первого полигона, на примере которого апробирован расширенный технологический комплекс, была выбрана достаточно большая площадь, включающая месторождение Жезказган и Жиландинскую группу. Эта обширная площадь (8 000 км²) была изучена в масштабе 1:200 000, что позволило идентифицировать на ней прогнозно-поисковые критерии в ранге рудных полей [32,33].

Выводы. Для Жезказганского рудного района (ЖРР) характерна высокая поисковая изученность, где была достигнута концентрация большого количества результатов геологических работ многочисленных научных и производственных коллективов как республиканского, так и международного значения, что обеспечило открытие целого ряда месторождений медистых песчаников (Жезказган, Жиландинская группа, Жаман-Айбат и др.).

Однако, основной результат проведенных геофизических исследований — это изучение структурно-геологической неоднородности прогнозных площадей и установление поисковых, как правило, региональных критериев локализации рудоперспективных комплексов. Исследования многих известных месторождений ЖРР позволяют использовать их как эталоны, для разработки наиболее информативных в поисково-разведочном отношении методов и эффективных технологических приемов обнаружения непосредственно рудных объектов и рудных тел месторождений меди стратифломного типа [36].

2.2 Особенности геологического строения и закономерности локализации медного оруденения стратиформного типа медистых песчаников

Исследования по результатам 3D сейсморазведочных работ выполнены на локальных разведанных участках Жиландинской группы мессторждений в Жезказганском меднорудном районе. На рисунке 2.2, изображено расположения опытных участков Западная Сарыоба, Пектас, Донызауыз.

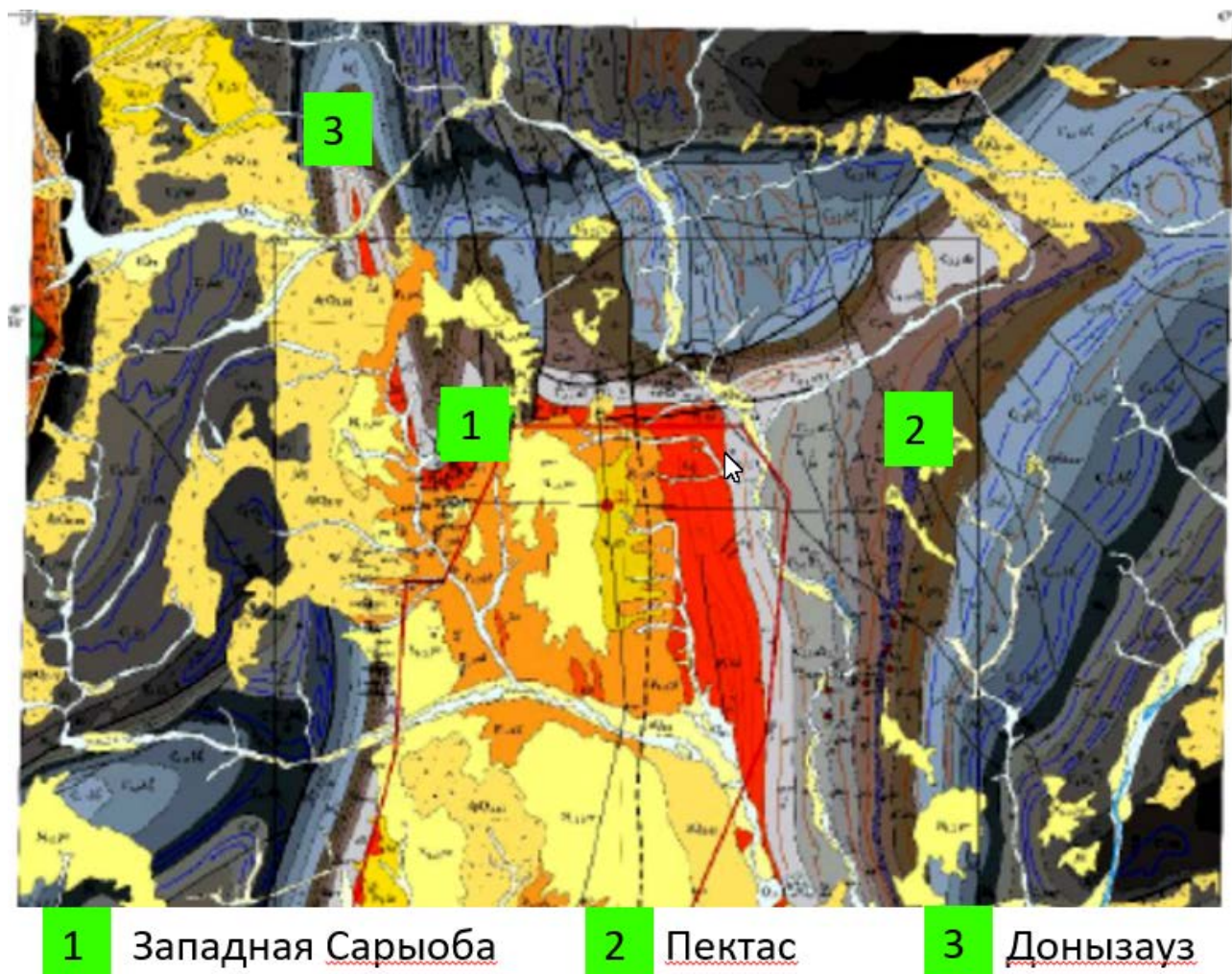


Рисунок 2.2 – Обзорная геологическая карта Жезказганского района с участками проведенных сейсморазведочных работ (фрагмент, по материалам Ю.А. Зайцева 1975)

Жезказганская меднорудная зона расположена в северной части Жезказган-Сарысуйской мульды, представляющей собой герцинскую структуру, наложенную на раннекаледонское складчатое основание [22] (рисунок 2.3) и охватывает фрагменты Сарысу-Тенизской, Жезказганской СФЗ, в небольшом объеме - Конской, Шагырлинской СФЗ [4].

В пределах площади Жезказганский СФЗ центральную часть составляет Жезказганская синклиналь, протяженностью 25 км при ширине (по подошве таскудукской свиты) - 16 км. Структура хорошо изучена, в её пределах

проводились детальные, геолого-съёмочные, поисковые работы, геофизические исследования, включающие широкий комплекс методов.



Рисунок 2.3- Структурная схема Жезказганского района (по Б. Журбицкому)

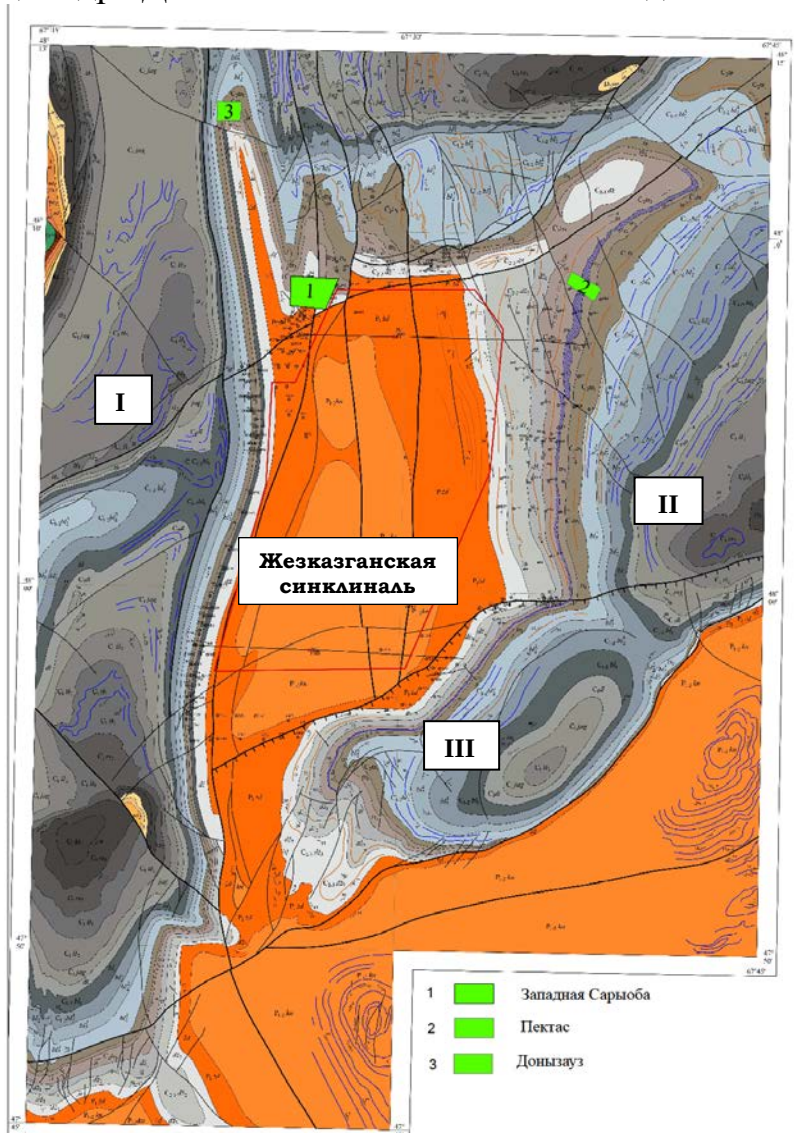
Жезказганская синклинали характеризуется резким различием в строении западного и восточного крыльев синклинали, определяя ее четко выраженную асимметрию. Северное центриклинальное окончание синклинали (по подошве жиделисайской свиты) имеет коробчатые очертания. Углы падения пластов здесь составляют $50-60^\circ$, крыло отвечает положению крутой Кипшакпайской флексуры. На западе синклинали контактирует по Восточно-Жиландинскому разлому с изоклинальными складками субмеридионального простирания Сарысу-Тенизской СФЗ.

Западное крыло структуры крутое, на отдельных участках характеризуется перевернутыми залеганиями пластов. Наиболее четко опрокидывание крыла устанавливается по данным бурения в ее северо-западной части, где она переходит в узкую Жиландинскую синклинали (восточнее гряды Итауз). Опрокидывание крыла устанавливается и южнее, вблизи широтного течения руч. Кокдомбак. Осевая поверхность осложняющей опрокинутой складки здесь падает на запад под углом 45° .

Восточное крыло синклинали имеет простое строение. Оно представляет собой пологую ($10-15^\circ$) моноклинали, нарушенную в северной части диагональными сбросами, в южной – структурными «носами» (антиклиналями) – Покровским, Крестовским и разделяющей их Златоустовской синклиналью, расположенными по западному периклинальному замыканию Кингирской брахиантиклинали и осложняющиеся складками второго порядка.

Ядро Жезказганской синклинали сложено кингирской свитой перми. Для его восточной части также характерны пологие залегания пластов, вскрытые

здесь скважиной № 99 (Зайцев, 1975). Западная часть синклинали отделена меридиональным Сарыобинским взбросом. По этому взбросу западная часть ядра поднята на 600-700м. У ручья Жиделисай в структуре ядра синклинали, по данным картировочного бурения, устанавливается небольшое антиклинальное седло, разделяющее ядро Джекказганской синклинали на две части (рисунок 2.4).



I - Улытау-Арганатинская СФЗ, II - Сарысу-Тенизская СФЗ, III - Конская СФЗ
(Малышев С.Н., Магретова Л.И., Якименко Р.Д., 2017).

Рисунок 2.4 – Тектоническая схема района работ

По данным геофизических (сейсмических) исследований глубинное строение Джекказганской синклинали резко различается по разные стороны Сарыобинского взброса, при этом фиксируется простое строение восточной части и сложное складчатое для западной половины.

Гравитационное поле района Джекказганской синклинали, в целом, интенсивно дифференцированное (выделяется несколько аномальных областей). Кроме геологических структур, закартированных на дневной поверхности, на гравитационное поле влияют особенности глубинного строения района. В

пределах рассматриваемой территории южное замыкание Жезказганской синклинали сопровождается спокойным отрицательным магнитным полем (ΔT) и фиксируется локальной отрицательной гравиметрической аномалией Δg , подчеркивающей субмеридиональное простираие структуры.

На структуру гравиметрического поля южной части Жезказганской СФЗ подавляющее влияние имеет распространение огромной массы среднепалеозойских гранитоидов на глубине, которые обуславливают наличие гравиминимума.

От северо-западной оконечности Жезказганской синклинали ответвляется Жиландинская синклиналь, протягиваясь в меридиональном направлении почти на 20 км. Эта узкая (от 3 до 5-6 км) протяженная складка обладает чертами типичной линейной складки при довольно сложном внутреннем строении. Она распадается на ряд синклинальных ячеек, самая южная из которых выполнена отложениями таскудукской, джезказганской и жиделисайской свит. Шарнир синклинали, ундулируя, погружается в направлении Жезказганской синклинали.

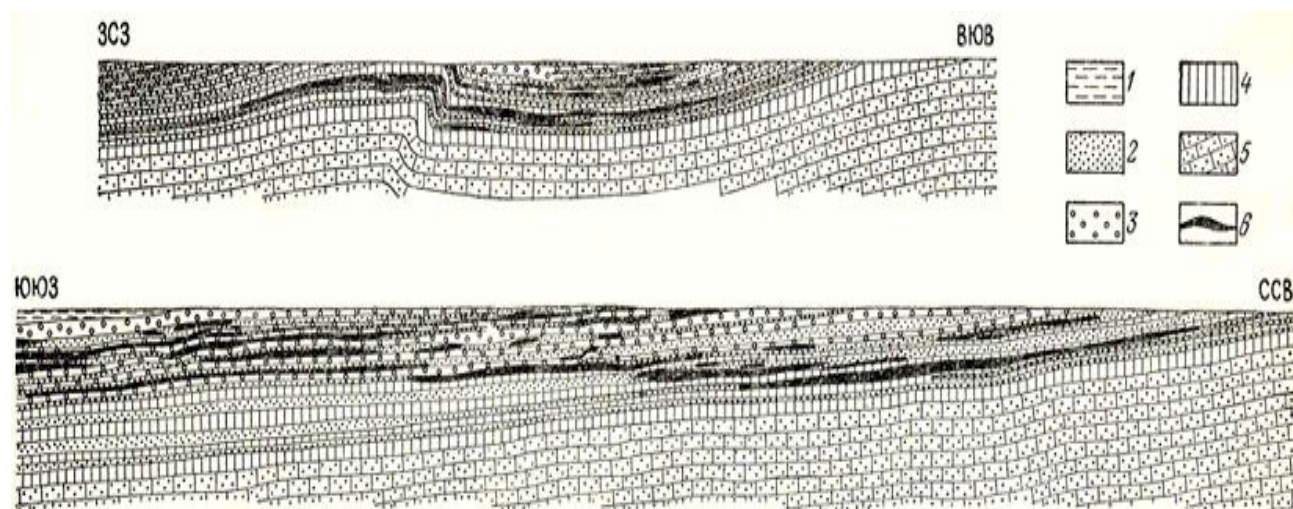
В южной части Жезказганской синклинали при переходе в западное периклинальное замыкание Кингирской брахиантиклинали расположены осложняющие складки второго порядка (так называемые структурные «носы» - Покровская, Крестовская антиклинали и разделяющая их Златоустовская синклиналь, к которым приурочен Спасский гравимаксимум субизометричной формы (10×17 км) интенсивностью до 3 мГал, совпадающий с Жезказганским месторождением. Этот гравимаксимум обусловлен, как более плотным составом фундамента, так и более высокой плотностью как руд, так и, главным образом, вмещающих их эпигенетически измененных пород (Струтынский, 1988).

Покровская антиклиналь имеет очертания клювообразного изогнутого структурного «носа», прослеживается в пределах рудного поля месторождения Жезказган, выражена изгибами слоев всех рудоносных горизонтов таскудукской и джезказганской свит. Её протяженность 6 км, ширина около 2,5 км. Залегание слоев рудоносных свит на северо-западном крыле Покровской антиклинали сравнительно пологое (18-20°); на юго-восточном крыле, в зоне ограничивающей его Центрально-Златоустовской флексуры, наклоны слоев весьма крутые [31,33].

В стратиграфическом разрезе площадь работ сложена карбонатно-терригенными отложениями каменноугольной и пермской систем, на западе района, по обрамлению Эскулинского блока, присутствуют терригенные образования ордовикской и девонской систем. Значительные площади перекрыты кайнозойскими отложениями.

Разрез горных пород, слагающих Жезказганскую синклиналь, начинается нижнедевонскими отложениями - вулканогенными породами различного состава, переслаивающимися с красноцветными песчаниками. Выше залегают только терригенные и карбонатные отложения: красноцветные песчаники и конгломераты среднего девона, кремненые известняки, песчаники и мергели нижнего карбона.

Суммарная мощность этих отложений 1500 м. На них согласно залегает продуктивная жезказганская свита средне-верхнекаменноугольного возраста мощностью около 700 м. Разрез её представлен ритмично чередующимися сероцветными и красноцветными песчаниками и алевролитами с подчиненными прослоями конгломератов. Жезказганская свита перекрывается малиново-красными песчаниками, аргиллитами, известняками и мергелями нижнепермского возраста. Палеозойские отложения местами перекрыты чехлом пестроцветных слабо сцементированных песчаников, глин, песков и галечников палеогена и неогена (рисунок 2.5).



1 - пермские красноцветные отложения; 2-4 - джезказганская свита (С₂ - з): 2 - рудоносные слои сероцветных песчаников, алевролитов и конгломератов, 3 - верхний отдел, 4 - нижний отдел. 5 - известняки, песчаники, мергели нижнего карбона; 6 - рудные залежи

Рисунок 2.5 – Схематические геологические разрезы Жезказганского месторождения (по материалам Жезказганской ГРЭ).

Геологическое строение площади осложнено серией тектонических нарушений. Наиболее крупным из них является Центральный Сарыобинский выбросо-сдвиг, который находится между месторождениями Западная и Восточная Сарыоба. Кроме него, на месторождениях откартированы мелкие разрывные нарушения.

В стратиграфической характеристике присутствуют: Палеозойская эратема, Ордовикская система.

Среди образований *ордовикской системы* выделены отложения шайтантасской свиты среднего отдела Западной подзоны Конской СФЗ. Свита фрагментарно тектонически перекрывает мафит-ультрамафитовый меланж. Полного разреза свиты на площади работ нет. Нижняя половина разреза свиты сложена серыми, зеленовато-серыми песчаниками, аргиллитами, зеленовато-серыми валунными и галечными конгломератами с галькой песчаников, сланцев, гранитогнейсов, габбро-амфиболитов и амфиболитов. Верхняя часть свиты представляет собой однообразную толщу зеленовато-серых, светло-серых мелкозернистых песчаников, туфопесчаников, алевролитов, с небольшими

прослоями аргиллитов. Все породы шайтантасской свиты значительно изменены, интенсивно рассланцованы, катаклазированы, зачастую будинированы.

По физическим параметрам конгломератопесчаниковая толща шайтантасской свиты характеризуется широким диапазоном значений средней плотности (от 2,67 до 2,82 г/см³) и магнитной восприимчивости (от 10 до 1500·10⁻⁵ ед. СИ). Толща является преимущественно немагнитной ($\chi_{\text{ср}}=12\text{--}37\cdot 10^{-5}$ ед. СИ), редко слабомагнитной ($\chi_{\text{ср}}=260\cdot 10^{-5}$ ед. СИ). Конгломераты с галькой магнитных габброидов и амфиболитов имеют повышенную магнитность.

Образования *девонской системы* формировались в различных геодинамических обстановках. В раннем девоне восточнее площади работ накапливаются вулканогенно-терригенные дифференцированные базальт-андезибазальт-андезит-дацит-риолитовые комплексы. В среднем девоне в Западной подзоне Девонского вулcano-плутонического пояса накапливались терригенно-вулканогенные субщелочные формации пород: риодацит-риолитовая туфотерригенной толщи (D2tt), базальт-андезитовая талдысайской (D2tl) свиты. В

Нижний отдел в пределах представлен кызылтауской свитой. Кызылтауская свита на площади работ имеет ограниченное площадное распространение, но значительную мощность (до 2000-2600 м). Мощность свиты по северо-восточному обрамлению Эскулинского блока не менее 1000 м. Возраст кызылтауской свиты определяется как раннедевонский (лохковско-пражско-эмский). По физическим параметрам песчаники и конгломераты кызылтауской свиты характеризуются плотностью 2,65 г/см³ и являются практически немагнитными со средней магнитной восприимчивостью, равной $28\cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Выходы терригенных отложений этого возраста отмечаются отрицательным магнитным полем (ΔT) а напряженностью -200-300 нТл. В гравитационном поле образования кызылтауской свиты отмечаются локальным понижением интенсивности гравитационного поля до -1,0 мГал.

В *верхнем отделе* девонской системы выделены жездинская свита франского-фаменского нерасчлененных ярусов и уйтасская, сульфидеровая, симоринская свиты фаменского яруса.

Отложения жездинской свиты, совместно с вышележащими отложениями уйтасской свиты, на изученной площади слагают основание рифтогенных структур позднедевонского-раннекаменноугольного возраста. На площади работ жездинская свита представлена терригенным типом разреза. Далее, за разрывным нарушением, – красноцветные терригенные отложения нижней подсвиты уйтасской свиты верхнего девона. Мощность приведенного разреза – 265 м. Иной тип разреза подсвиты наблюдается в южных частях района месторождений Северной группы, в восточных выходах рудопроявления Пектас, на месторождении Жартас. Для этих разрезов характерно присутствие сероцветных песчаников и конгломератов. Мощность маркирующего горизонта Н'₁₂ по скважинам составляет 20 м (Жартас), 38 м (Талдыбулак).

На площади работ каменноугольная система представлена как расчлененная на подсвиты таскудукская свита (C_{2ts1} , C_{2ts2} , C_{2ts3}). К отложениям свиты на северном и северо-западном крыле Жиландинской структуры приурочены месторождения меди: Сарыоба, Итауз, Кипшакпай, Карашошак, Джартас и множество рудопроявлений.

Таскудукская свита согласно залегает на белеутинской. Нижняя граница свиты проводится по слою сероцветных песчаников, залегающих на, достаточно мощной, пачке серо-черноцветных алевро-аргиллитов с прослоями известняков с угнетенной фауной брахиопод, гастропод, пелеципод и обильными мшанками. Верхняя граница свиты проводится по подошве «раймундовских» конгломератов джезказганской свиты.

Нижняя подсвита (C_{2ts1}) соответствует таскудукскому горизонту (C_{2tsk}). Полные разрезы подсвиты изучены на многих месторождениях и рудопроявлениях. Наиболее полный разрез, который условно можно принять как стратотипический, описан на Златоустовском участке Жезказганского месторождения. Мощность по разрезу составляет 127 м. В разрезах нижней подсвиты таскудукской свиты в полосе рудопроявлений Соркудук-Таскудук, северо-западнее описанного разреза, от разреза к разрезу резко меняется соотношение грубо- и тонкозернистых пород. Следует подчеркнуть, что в отдельных участках встречаются сероцветные тонкозернистые породы, которые практически отсутствуют на месторождении Жезказган. Среди тонкозернистых и глинистых пород сероцветные разности почти полностью вытесняют из разреза красноцветные.

Далее на север (центральная часть рудопроявления Таскудук) и северо-запад разрез нижней подсвиты сокращается по мощности, при этом песчаники уступают место красноцветным аргиллитам и алевролитам. Серые аргиллиты и алевролиты из разреза совершенно выпадают. Пачка НЗ-6 представлена, главным образом, красноцветными аргиллитами и алевролитами с тонким прослоем мелкозернистых красновато-серых песчаников. Мощность таскудукского горизонта составляет всего 70-92 м.

На севере района работ в разрезе Центральной части месторождения Сарыоба, выше мощного пласта зеленовато-серых песчаников, в кровле верхнебелеутинской свиты залегают серые песчаники. Мощность по данному разрезу составляет 160 м. К серым песчаникам нижней подсвиты упомянутых месторождений приурочена основная часть медного и свинцового оруденения. Относительно устойчивые разрезы подсвиты находятся на восточном крыле Жезказганской синклинали в полосе рудопроявлений Копкудук, Пектас, месторождений Жартас, Соркудук.

По данным Ю.А. Зайцева мощность подсвиты в Жезказганском районе изменяется от 42 до 263 м, причем максимальные мощности он отмечает в Талдыбулакской синклинали и на рудопроявлении Копкудук. Общая мощность подсвиты в районе работ изменяется от 40 до 270 м (рисунок 2.6).

В разрезе рудоносной толщи выделяются: мелко-среднезернистые песчаники, раймундовские и внутриформационные конгломераты, гравелиты, алевролиты и алевропесчаники.

Серые мелко-среднезернистые песчаники образуют выдержанные слои и горизонты мощностью до 20-30 м. Породы плотные, крепкие, по составу полимиктовые на глинисто-карбонатном и глинисто-кремнистом цементе. Текстура песчаников слоистая и массивная. В рудоносных горизонтах среди песчаников залегают плотные, крепкие раймундовские конгломераты и гравелиты на базальном песчаном цементе.

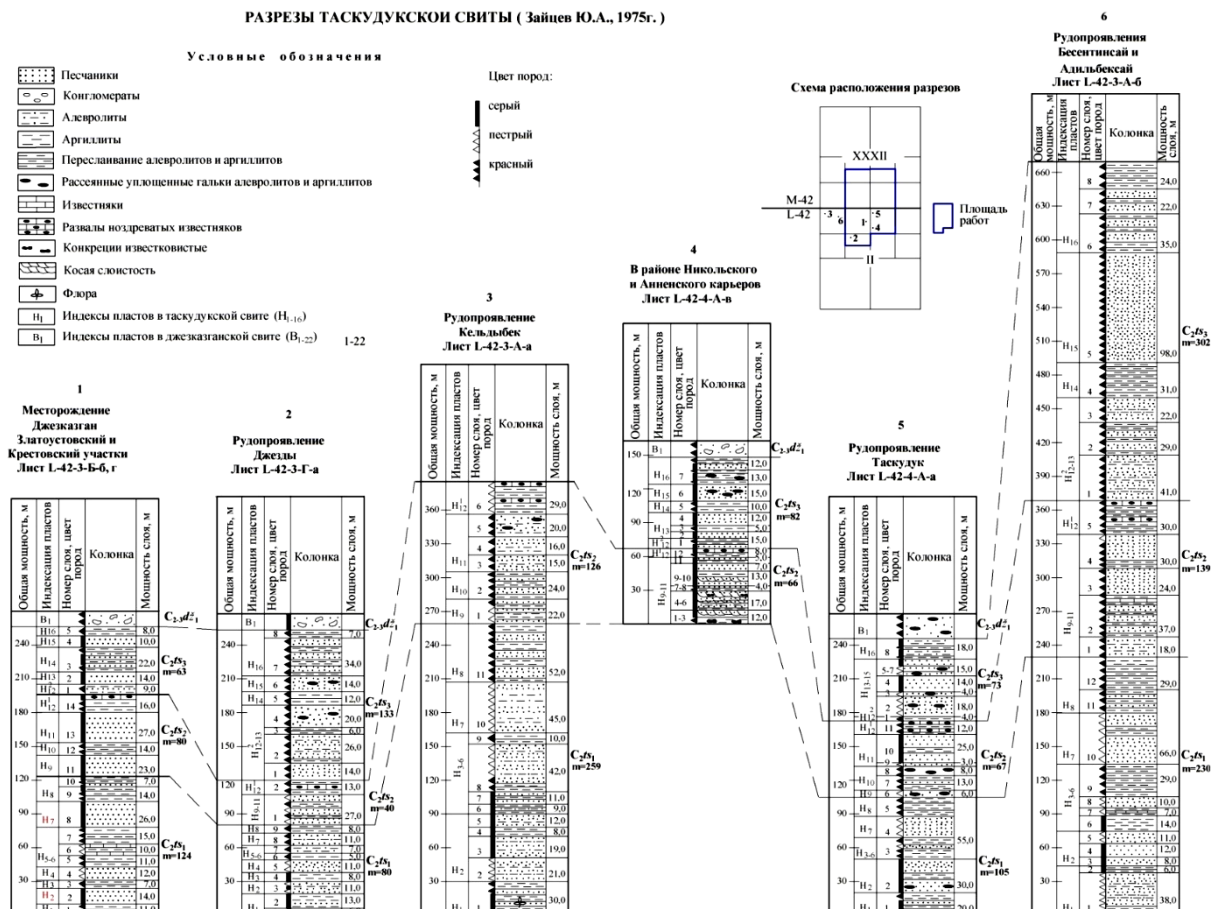


Рисунок 2.6 – Разрез Таскудуской свиты (Ужва, 2012)

Красные алевролиты с прослоями мелкозернистых песчаников чередуются в разрезе с горизонтами сероцветных пород. Они имеют тонкослоистую текстуру. КERN алевропесчаников и алевролитов быстро разрушается при контакте с атмосферным воздухом. Среди пластов красных алевролитов залегают прослои бурых плотных и крепких песчаников, которые аналогично серым песчаникам мало подвержены изменениям.

Жезказганский рудный район включает уникальное по количеству запасов месторождение Жезказган и ряд мелких месторождений меди Жиландинской группы (Итауз, Сарыоба, Кипшакпай, Карашошак и Жартас и др.). Все они в настоящее время отрабатываются Корпорацией «Казахмыс».

В районе работ промышленные месторождения меди полигенного осадочно-гидротермально-метасоматического типа связаны с пестроцветными свитами среднего и верхнего карбона - таскудукской и джезказганской. Медное оруденение приурочено к пластам сероцветных песчаников в этих свитах и по условиям образования принадлежит стратиформному типу (рисунок 2.6) [60].

Месторождения и проявления, связанные с меденосными свитами, могут быть подразделены в регионе на две группы. Первая группа включает месторождения и проявления, в которых оруденение охватывает широкий стратиграфический интервал, вторая включает месторождения и проявления, для которых характерна приуроченность оруденения к узкому стратиграфическому горизонту, точнее таскудукскому горизонту (нижнетаскудукской подсвите). Особенности размещения месторождений и проявлений по площади позволяют наметить четыре основных площади их концентрации: Жезказганская, Соркудук-Жартаская, Северная и Кумолинская. В первых двух оруденение широко развито по разрезу, в третьей и четвертой - преимущественно в таскудукском горизонте. В промышленном отношении наиболее важными являются Жезказганская и Северная группа (Жиландинская).

Жезказганская группа месторождений помимо самого месторождения Жезказган, включает проявления Северный и Южный Акчий, Спасское, Таскудук. Оруденение в этой группе захватывает сероцветные горизонты обеих рудоносных свит (рисунок 2.7).

Жезказганское месторождение является наиболее крупным в этой группе. В структурном отношении месторождение приурочено к юго-западной периклинали Кингирской брахиантиклинали. Внутренняя структура месторождения определяется его приуроченностью к серии поперечных и коробчатых складок, флексур и разрывов север-северо-восточного простирания. Флексуры и разрывы сопровождаются зонами дробления и брекчирования пород. Тектонические брекчии сцементированы кварцем, баритом и кальцитом.

Рудные тела внутри пластов серых песчаников имеют самую разнообразную форму (изометричную, линзообразную, ленточную). Границы между рудными телами и безрудными песчаниками бывают как постепенные, так и резкие. Основная масса рудных компонентов отложилась в первую фазу, образовав вкрапленные руды. Во вторую фазу отлагались те же минералы, что и в первую, но оруденение концентрировалось уже в прожилках и трещинах.

Месторождения обладают четкой вертикальной зональностью, при этом выделяются зоны окисления, вторичного сульфидного обогащения и первичных сульфидных руд.

В проявлениях этой группы оруденение, как правило, менее интенсивное, чем на месторождении и максимально сосредоточено в крестовском и петровском рудных горизонтах.

Соркудук-Жартаская группа объединяет месторождение Жарта, проявления Соркудук, Карагенгир и Пектас.

Месторождение Жарта приурочено к южной части восточного крыла Джезказганской синклинали. Рудные тела сосредоточены в горизонтах №№ 4, 5

раймундовского горизонта (нижнеджезказганской подсвиты). Основным рудоносным горизонтом является средний раймундовский. Руды вкрапленные полиметаллические, при этом свинцово-цинковая минерализация находится в тесной ассоциации с медной и подчинена ей.

Расчленение по К.И. Сатпаеву (1935)					Расчленение по Зайцеву, (1975)			Данный отчет	
	Номера и названия рудоносных горизонтов	Литера слоев	Колонка	Мощность, м		Номера и названия рудоносных горизонтов			
Красноцветная толща						P _{1gd} Жиделисайская свита		P _{1zd} Жиделисайская свита	
Д Ж Е З К А З Г А Н С К А Я	ВЕРХНИЙ ОТДЕЛ	Петро	B ₂₂		20	C _{3pt} Верхняя подсвита (петровский горизонт)	№8 Аненский №9 Акчийский	Петровский	C _{2-3 dz3} Верхняя подсвита
			B ₂₁		5				
			B ₂₀		25				
		№7	B ₁₉		45	C _{3kr} Средняя подсвита (крестовский горизонт)	№7 Крестовский №6 Верхне-раймундовский	Крестовский	C _{2-3 dz2} Средняя подсвита
			№6	B ₁₈					
		B ₁₇			12				
		№5	B ₁₆		25				
			B ₁₅		15				
			B ₁₄		5				
		№4	B ₁₃		5				
			B ₁₂		27				
			B ₁₁		5				
			B ₁₀		5				
		№3а	B ₉		20				
			B ₈		30				
		Верхний раймунд	B ₇		10	C _{3rm} Нижняя подсвита (раймундовский горизонт)	№5 Средне-раймундовский №4 Нижне-раймундовский	Раймундовский	C _{2-3 dz1} Нижняя подсвита
			B ₆		8				
			B ₅		6				
			B ₄		11				
			B ₃		7				
			B ₂		12				
			B ₁		25				
	№3	B ₁		25					
	НИЖНИЙ ОТДЕЛ	№2а	H ₁₆		24	C _{2pk} Верхняя подсвита (покровский горизонт)	№3 Покровский	Таскудукская свита	C _{2 ts3} Верхняя подсвита
			H ₁₅		12				
			H ₁₄		12				
			H ₁₃		28				
		№2	H ₁₂		30	C _{2zl} Средняя подсвита (златоустовский горизонт)	№2 Златоустовский		C _{2 ts2} Средняя подсвита
			H ₁₁		30				
			H ₁₀		7				
			H ₉		10				
		№1	H ₈		30	C _{2tsk} Нижняя подсвита (таскудукский горизонт)	№1 Таскудукский		C _{2 ts1} Нижняя подсвита
			H ₇		25				
			H ₆		26				
			H ₅		10				
			H ₄		12				
			H ₃		15				
H ₂				10					
H ₁				10					
Осадки вице					C _{1n bl} Белеутинский горизонт			C _{1-2 bl} , белеутинская свита	



1 - зелено-серые безрудные песчаники; 2 - зелено-серые рудоносные песчаники;
3 - красноцветные аргиллиты, алевролиты и песчаники; 4 - раймундовский конгломерат; 5 - окремненные известняки ("роговики")

Рисунок 2.7 –Схема расчленения рудоносных свит (К.И.Сатпаев,1935, Ю.А. Зайцев, 1975)

Месторождения Жиландинской группы пространственно приурочены к пластам серых песчаников таскудукского горизонта серпуховского яруса (C_{1sbl}). Горизонты, расположенные стратиграфически выше таскудукского горизонта, не содержат сероцветных пород и представлены полностью красноцветными фациями (рисунок 2.8).

Оруденения приурочены к отложениям верхней пачки верхнебелеутинских слоев белеутинского горизонта (C_{1sbl2} III) и низам таскудукской свиты (C_{2ts}). В верхней пачке верхнебелеутинских слоев выделены три горизонта рудоносных песчаников: копкудукский, жиландинский и промежуточный, в основании таскудукской свиты – таскудукский рудоносный горизонт. Горизонты, расположенные стратиграфически выше, практически не содержат сероцветных пород и представлены полностью красноцветными фациями. Промышленного оруденения в них не установлено [Ужва В.И., 2012].

Наиболее продуктивными являются таскудукский и жиландинский горизонты, сложенные пластами серых мелкозернистых песчаников, переслаивающихся с серыми, реже красными алевритами, внутриформационными конгломератами, бурыми песчаниками. Довольно часто отмечаются резкие фациальные переходы пород. В разрезе рудоносных горизонтов часто наблюдаются 2-4 прослоя среднезернистых темно-серых песчаников и конгломератов с высоким содержанием органического вещества

Рудоносные горизонты имеют выходы на дневную поверхность, в их составе выходят в виде коротких линз протяженностью около 200-500 м обычно прослежены канавами. По степени сложности рудные тела разделялись на 3 типа [48]:

- к первому типу отнесены крупные рудные тела с устойчивым залеганием в разрезе с выдержанным площадным распространением промышленного оруденения в плане (размером более 1200 м x 600 м), но с изменчивой мощностью и содержанием полезных компонентов. С этими рудными телами связаны основные запасы Жиландинского рудного поля. Для них были приняты параметры буровой сети: категории В-100x50-100м, категории С1-100x100-200м, категории С2-200x200 м.
- ко второму типу относились рудные тела средней морфологической сложности, имеющие размеры от 600x300 до 1200x600 м, которые характеризуются неравномерным распределением полезных компонентов и менее выдержанным залеганием по падению и простиранию. Для рудных тел приняты размеры разведочной сети: для категории В -50x50 м, категории С1 -100x100-200 м, категории С2 -200x200 м.
- к третьему типу отнесены рудные тела со сложной морфологией, которые объединяет небольшие рудные линзы и ленты (размером до 600x300 м) с весьма неравномерным распределением основного полезного компонента по мощности, простиранию и падению (Ужва В.И., 2005).

1 Серые песчаники

2 Алевролиты: а) серые; б) пятнистые, с основным серым фоном;

3 Красные песчаники

4 Раймундовские конгломераты

5 Известняки: а) окремненные; б) органогенные

6 Красные алевролиты

49

Самым крупным месторождением северной группы является месторождение Сары-Оба. В центральной части Сарыобинский взброс делит рудное поле на две части (месторождения Сары-Оба Западная и Сары-Оба Восточная) и прослеживается в виде зоны смятия и раздробленности в полосе шириной 250-400м. Иногда наблюдаются тектонические брекчии, состоящие из остроугольных обломков песчаников и конгломератов, сцементированных тонким кластическим материалом, кварцем, кальцитом, баритом с вкрапленностью халькопирита, борнита, халькозина, галенита. В наиболее изученной средней части месторождения зона разрывных нарушений падает на запад под углом 25-30°, при этом западное крыло взброса надвинуто на восточное в юго-восточном направлении. Вертикальная амплитуда смещения 300м.

К северной группе условно можно отнести проявления Пектас-2 и Междуречное, расположенные по восточному борту Джезказганской синклинали, в которых медное оруденение приурочено к верхнебелеутинской подсвите.

В юго-западной части рудного поля расположен субширотный Кипшакпайский сброс, который фиксируется зоной раздробленных пород шириной 15-25м, внутри которой наблюдается сильная баритизация, окварцевание с вкрапленностью медных минералов и галенита. При разведочных работах установлено, что Сарыобинский взброс и сопровождающие его мелкие разрывные нарушения являются рудоконтролирующими, хотя он имеет длительную историю развития. Изначально разлом сформирован до образования оруденения, поскольку перемещения по вмещающим породам более значительные (до 3 км), чем по рудным телам, которые практически не смещены по обе стороны от разлома.

Рудные тела приурочены к сводовым частям коробчатых антиклиналей, характеризуются пологим залеганием и имеют вид типичных пластообразных залежей. В крутопадающих разрывных нарушениях и флексурах рудные тела залегают в виде крутопадающих линз и жил. В целом оруденение на месторождении неравномерное, прожилково-вкрапленного типа, тесно связано с зонами разрывных нарушений разного ранга. В плане и в разрезе рудных залежей установлена определенная закономерность в распределении минеральных ассоциаций. От центра к периферии залежей отмечается следующая последовательность: халькозин, борнит, халькопирит, пирит, реже галенит.

По вопросу генезиса оруденения жезказганского типа нет единой точки зрения. Большая часть исследователей считает медное оруденение полигенным осадочно-гидротермально-метасоматического типа [23,58,59].

Основными доказательствами гидротермального характера оруденения являются следующие:

1. Оруденение приурочено к сероцветным песчаникам, но оруденение развито ограничено, не на всей площади их распространения.

2. Ярko выражен структурный контроль оруденения. Оруденение локализуется преимущественно в пределах мелких осложняющих складок,

имеющих в разрезе коробчатый профиль и нарушенных на крыльях ступенчатыми флексурами и сбросами. Более интенсивная минерализация приурочена к зонам дробления пород на крыльях складок, к зонам пологих внутри- и межпластовых нарушений. Крылья коробчатых складок и флексуры сопровождаются зонами интенсивного дробления пород.

3. Оруденение эпигенетическое и является результатом метасоматического замещения карбонатного цемента и зерен песчаника.

4. Породы джезказганской, таскудукской свит и верхнебелеутинской подсвиты не несут следов интенсивного регионального метаморфизма. В то же время в рудных горизонтах отмечаются гидротермальные изменения вмещающих пород: карбонатизация, окварцевание пород, серицитизация, альбитизация, каолинитизация полевых шпатом.

5. Закономерное и последовательное перемещение рудной минерализации из нижних стратиграфических горизонтов в более верхние по мере общего погружения структуры. Изолинии глубин интенсивной минерализации образуют поверхность, секущую косо под острым углом слои джезказганской и таскудукской свит. Наклоны этой поверхности близки к зонам внутрипластовых нарушений.

6. Наличие мощной жиделисайской свиты, являющейся экраном для дальнейшего подъема насыщенных металлами гидротерм. Достигнув нижних горизонтов этой толщи, растворы задерживались, и их активная сила была направлена на миграцию по горизонтали внутри литологически и тектонически наиболее благоприятных слоев таскудукской и джезказганской свит.

7. Приуроченность главных рудных узлов - Жезказганской и Северной группы месторождений - к участкам пересечения крупных глубинных разломов. Эпигенетический характер оруденения обусловлен этими разломами, являвшимися путями проникновения рудных растворов их магматических очагов.

Выводы. Обзор и анализ проведенных ранее поисковых работ полевыми партиями АО «Жезказгангеология» в пределах Жезказганской синклинали и граничных площадях показали, что сейсмогеологические условия района исследований благоприятны для проведения здесь детальных сейсмических исследований. По структурному положению, глубине погружения фундамента, характеру тектоники и по составу слагающих пород Жезказганская впадина обнаруживает ряд общих черт со структурами типа краевого прогиба и, в частности, с нефтеносным Предуральским прогибом, успешно изученного современными методами сейсморазведки.

2.3 Петрофизическое обоснование проведения сейсморазведочных исследований

Достоверность комплексной геолого-геофизической интерпретации при решении поставленных задач, в первую очередь, определяется полнотой и качеством измерений, пространственному анализу и соотношением объемов

магнитных, плотностных, электрических и упругих свойств пород, их систематизации на уровне формаций.

Автором в процессе интерпретации использованы результаты анализа и систематизации сведений о физических свойствах горных пород по Жезказганскому рудному району (Малышев С.Н. и др., 2017; Иверская А.П., Магретова Л.И., 2010; Смирнова Н.Н., 1978, 1984, 1994). Автором собран и проанализирован фондовый материал по физическим свойствам при геологических и геофизических съёмках различных масштабов. Этот материал был классифицирован по качеству, представительности и приведен к современной геологической легенде.

Всего проанализировано и систематизировано по физическим свойствам 13879 образцов, в том числе 10667 – вулканогенно-осадочных и 3212 – интрузивных комплексов, отобранных как предыдущими исследователями (Богач, 1978; Гайдышев, 1980, 1984; Долгань, 2008; Зайцев, 1970; Завражнов, 1980, 1987; Иверская, 2010, 2014; Исаков, 1991; Маркина, 1993; Минбаев, 1976; Ключков, 2008; Колчин, 1967; Скальский, 1960; Строкин, 1968; Чевердин, 1988), так и автором работ. Кроме того, были привлечены результаты изучения физических свойств по керну скважин, пробуренных ранее (Смирнова, 1989, 1994). Так как большинство скважин (глубиной 800-1200 м) в лучшем случае вскрыли отложения визе – серпуховского яруса, то наиболее полно изучены физические свойства пород среднего – верхнего карбона и перми. Пробуренные глубокие скважины на структурах Кызылкак, Бестакыр достигли фундамента Жезказган-Сарысуйской впадины, но вскрыли сокращенный осадочный разрез, в котором отсутствует часть отложений турнейского яруса и практически весь девон [35].

Результаты обобщений сведены в таблицу 2.1, в которой характеристика свойств пород приведена по отдельным структурно-формационным зонам (СФЗ): Конская, Жезказганская и Сарысу – Тенизская зона.

Средневзвешенная плотность всей мощной толщи пород Жезказганской и Сарысу-Тенизской зон рифтогенных структур (от верхнего девона до верхней перми) составляет $2,62 \text{ г/см}^3$. На этом фоне избытком плотности от $0,04$ до $0,08 \text{ г/см}^3$ выделяются терригенные отложения таскудукской свиты среднего карбона ($\sigma_{\text{ср.}} = 2,70 \text{ г/см}^3$) и джезказганской свиты среднего – верхнего карбона ($\sigma_{\text{ср.}} = 2,68 \text{ г/см}^3$), а также кингирской свиты нижней-верхней перми ($\sigma_{\text{ср.}} = 2,66 \text{ г/см}^3$). Плотность последних отложений может увеличиться до $2,72 \text{ г/см}^3$ за счет появления в разрезе плотных мергелей. Значительным недостатком плотности до $-0,08 \text{ г/см}^3$ отмечаются соленосные породы жиделисайской свиты нижней перми ($\sigma_{\text{ср.}} = 2,54 \text{ г/см}^3$). Но вероятнее эта цифра весьма завышена и плотность может понижаться до $2,18-2,2 \text{ г/см}^3$ (скв. Ю-20) за счет насыщения толщи нижней перми скоплениями каменной соли, широко развитыми в виде пластов, линз в отложениях перми, которые оказывают сильное влияние на картину гравитационного поля. Кроме того, на структуру гравитационного поля оказывают влияние процессы гипергенного изменения горных пород, проявленные как в пределах Жезказганского месторождения, так

и в Жезказганской синклинали в целом, в виде образования коры выветривания, выщелачивания и децементации. Как следствие этих процессов, имеет место и изменение значений физических параметров. Этот процесс влечет за собой значительное понижение плотности до 2,2-2,4 г/см³.

Таблица 2.1 – Физические свойства горных пород и руд Жезказганского рудного района

№ пп	Наименование горных пород	Возраст	Кол- во опред.	Удельное эл. сопротивл. (ρ_k) в Ом·м			Поляризуе- мость (η_k) в %		Ск-ть прод. волн, км/сек
				мин.	мак	сред	мин	мак	
1	Пески, песчаники, суглинки, конгломераты	Mz-Kz	100	2	100	30	0,2	1,2	0,5-1,5
2	Мергели, мергелистые известняки, песчаники, алевролиты, аргиллиты	P ₁ kn	300	50	200	100	0,5	2,0	3,5-4,5
3	Малиново-красные аргиллиты, алевролиты, песчаники	P ₁ qd	270	5	50	30	0,2	1,0	1,8-3,6
4	Красноцветные мелкозернистые песчаники, алевролиты, аргиллиты	C ₂₋₃	226	150	400	200	0,5	1,0	4,1-4,6
5	Среднезернистые бурые и серые песчаники, алевролиты конгломераты, известняки	C ₂₋₃	165	300	800	300	0,5	2,2	-
6	Зелено-серые песчаники, известняки, аргиллиты	C ₁	286	50	200	120	0,6	2,2	-
7	Красные аркозовые песчаники	D ₂₋₃	236	200	500	300	0,6	2,2	5.0-5.5
8	Конгломерато- порфировая толща	D ₁	212	200	3000	300	0,6	2,2	-
9	Сланцы, порфиритоиды, эффузивно-осадочные породы	Pz ₁	280	700	5000	До 1000	0,5	2,0	До 6,0
10	Метаморфические сланцы, гнейсы, мраморы	R	350	500	6000	До 1 000	0,9	2,0	6,0-6,5
11	Гранитоиды	D ₁	284	500	8000	1000	0,5	1,3	6,0
12	Габброиды		272	500	8000	1000	0,5	1,3	6,0
13	Медные руды	C ₂₋₃	20	0,1	50	20	4,0	23	-
14	Богатые медные руды	C ₂₋₃	30	0,05	0,1	0,07	14	27	-

Терригенные образования шайтантасской свиты среднего ордовика и кызылтаусской свиты нижнего девона Конской и Шагырлинской зон (соответственно), небольшие фрагменты которых закартированы вдоль западной границы района работ, имеют средневзвешенные плотности в пределах от 2,65 до 2,73 г/см³, но из-за небольших своих мощностей в гравитационном поле не проявляются (Малышев Н.Н. 2017г).

Среди интрузивных пород, закартированных севернее изучаемой площади, наблюдается более четкая дифференциация по физическим свойствам в зависимости от их состава.

Для интрузивных образований в ряду граниты–гипербазиты наблюдается повышение значений плотности пропорционально основности пород. Между гранитами и гранодиоритами возрастание параметра составляет 0,12-0,17 г/см³, а на границе гранодиориты - диориты – 0,05-0,14 г/см³. Между диоритами и габбро избыток плотности достигает 0,13-0,19 г/см³. Низкой плотностью, равной 2,56 г/см³, характеризуются лейкограниты теректинского комплекса среднего девона. Гранодиориты раннего девона отмечаются плотностью 2,66 г/см³, кварцевые диориты – 2,81 г/см³, а габбро – до 2,99 г/см³, значительно отличаясь от группы пород среднего состава. Серпентиниты раннего кембрия (Эскулинский купол) составляют две группы: в первую входят хризотилитовые серпентиниты с плотностью 2,57 г/см³, во вторую – амфиболизированные серпентиниты с плотностью 2,73 г/см³. Максимальной плотностью обладают габбро – $\sigma_{\text{ср}}=2,99$ г/см³.

Рыхлые отложения мезокайнозоя отличаются немагнитностью и пониженной плотностью. Значение средней плотности этих образований находится в пределах от 1,8 до 2,38 г/см³, что на 0,24- 0,8 г/см³ ниже, чем палеозоя.

Как видно из таблицы, отложения жезказганской и таскудукской свит характеризуются постоянными физическими параметрами ввиду их относительной однородности по литологическим, структурным и другим особенностям. Незатронутые процессами выветривания породы свит имеют преимущественно среднюю плотность 2,68-2,70 г/см³, незначительно варьирующую по площади и глубине. Плотность медных руд (горизонт II–VII) увеличивается до 2,77-2,85 г/см³. Надо отметить, что на плотность руд оказывает влияние целый ряд других факторов, как сопутствующих процессу оруденения, так и являющихся следствием этих процессов (изменение общей пористости, структуры и текстуры вмещающих пород, некоторое изменение первоначального минерального состава и другие).

Подводя итоги анализа и систематизации плотностных свойств пород исследуемой территории, можно сделать следующие основные выводы:

1. Характер гравитационного поля определяется, вероятно, двумя плотностными границами.

В Сарысу-Тенизской зоне рифтогенных структур первая из них совпадает с подошвой фамен–каменноугольных отложений, которые, обладая недостатком плотности от -0,06 до -0,10 г/см³, определяют появление отрицательных аномалий Δg , а вторая плотностная граница связана с отложениями

нижележащих образований нижнего протерозоя с избыточной плотностью 0,05-0,12г/см³ и, возможно, с олистостромовой толщей верхнего ордовика, насыщенной крупными олистоплаками серпентинитового меланжа, что было отмечено западнее, в районе Эскулинского купола. Поэтому приближение их к дневной поверхности сопровождается значительным повышением интенсивности гравитационного поля.

В Жезказганской СФЗ кроме вышеперечисленных плотностных границ появляются две дополнительные границы. Одна обусловлена кровлей нижне-верхнепермских (кинбирская свита) и среднего-верхнего карбона (джезказганская, таскудукская и, частично, белеутинская свиты) отложений с положительной избыточной плотностью +0,06-0,08г/см³, приближение её к поверхности и увеличение мощности толщи ведет к появлению локальных положительных аномалий Δg второго порядка. Вторая – связана с кровлей нижнепермских соленосных образований с отрицательной избыточной плотностью от – 0,08 до - 0,3г/см³, которая создает отрицательный эффект и обуславливает появление более интенсивных гравитационных аномалий второго порядка.

2. Кроме рассмотренных двух плотностных границ на структуру гравитационного поля влияют, вероятно, крупные интрузивные массивы, которые были закартированы севернее отчетной площади. Гранитоидные интрузии с недостатком масс до -0,06г/см³ относительно средневзвешенной плотности по всему стратиграфическому разрезу 2,62г/см³ создают самые крупные гравитационные минимумы, а диоритовые, габброидные, с избытком масс до +0,12-0,38 г/см³ - максимумы силы тяжести.

Скоростную характеристику пород всего разреза на основании имеющихся сейсмических материалов можно представить в следующем виде (таблице 2.2). В самой верхней части разреза располагается весьма рыхлый слой зоны малых скоростей (ЗМС). Мощность его изменяется от 2-3м до 25-35м. Скорость в ЗМС колеблется от 500 до 1700м/с. Стратиграфически зоне малых скоростей соответствуют отложения четвертичной системы. Ниже ЗМС прослеживается толща пестроцветных глин кайнозоя, мощность которой достигает 20-60м. Значения пластовой скорости в ней 1500-2400м/с. Пластовые скорости коры выветривания различных пород изменяются от 2200 до 2700м/с.

Большой скоростной дифференциацией (от 3500 до 6500 м/с) характеризуются отложения нижнекаменноугольного возраста. Образования турнейского яруса отмечаются повышенными значениями скоростей 5000-6000 м/с, что обусловлено наличием в этих отложениях пачек окремненных известняков. Скорости отложений визейского яруса изменяются в пределах 4000-6000м/с, причем максимальные значения скоростей, по-видимому, соответствуют зонам распространения плотных известняков, доломитов и ангидритов. Красноцветная терригенная толща верхнего-среднего карбона характеризуется скоростями 4000-5500м/с. В подавляющем большинстве случаев скорость джезказганской свиты равна 4700-5000м/с. По данным сейсмокаротажа по скв. Ю-29 Vпл. составляет 4600м/с, по скв. Ю-24 – 4500-

4650м/с. Отложения пермской системы в различных частях впадины по скоростным параметрам существенно различаются.

Красноцветные образования жиделисайской свиты и светлые мергели, песчаники, аргиллиты низов кингирской свиты имеют скорость от 2600 до 4000м/с (скв. Ю-29, Ю-2).

Таблица 2.2 – Данные определения скоростей продольных волн

№ пп	Наименование пород	Возраст	Значение пластовых скоростей в м/сек	Способ определения	Район, место определения
1	Пески, суглинки	Q(?)	400-800	МСК	Жезказган- Сарысуйская впадина
2	Супеси, глины	Kz	800-2200	МСК	Жезказган- Сарысуйская впадина
3	Мергели, известняки темноцветные	P ₁₋₂ kn	4700-5500	Сейсмокаротаж, КМПВ	Скв.1700, Ю-16, Ю-30
4	Мергели, песчаники, алевролиты серые	P ₁₋₂ kn	2000-4000	Сейсмокаротаж, КМПВ	Восточная половина впадины
5	Соль	P ₁₋₂ kn P ₁ žd	4000-4400 3300-3900	Сейсмокаротаж, звуковой каротаж	Скв. Ю-30 Скв. Ю-29
6	Песчаники, алевролиты красноцветные	P ₁ žd	1800-2000 3400-4500	Сейсмокаротаж, КМПВ	Жезказганская синклиналь, Скв. Ю-30, Скв. Ю-27, Скв. Ю-29
7	Песчаники красноцветные (нижняя часть разреза)	P ₁ žd	4250-4550	Сейсмокаротаж	Скв. 7852,7860
8	Песчаники, левролиты, аргиллиты бурые, серые	C ₂₋₃ dž	4850-4920	Сейсмокаротаж	Скв. 7852, 7860, 7862
9	Песчаники, алевролиты, аргиллиты	C ₂ ts	5200-5400	Сейсмокаротаж	Скв. 7852, 7860, 7862
10	Песчаники, известняки	C _{1v1}	5000-5900	Сейсмокаротаж, КМПВ	Скв. Ю-23, 27, 7862
11	Известняки, песчаники	C ₁ t	5000-6100	КМПВ	На бортах впадины
12	Известняки	D ₃ fm	5060	Сейсмоскопия	Скв.29
13	Кристаллические сланцы	PR	6000-6200	КМПВ	Уйтасское поднятия

Галогенные образования, имеющие широкое распространение в разрезе жиделисайской и нижней части кингирской свит, характеризуются значительным диапазоном изменения скорости – от 3500 до 5000 м/с (скв. Ю-29). Верхняя часть кингирской свиты (темные мергели, известняки, песчаники) обладают повышенными, по отношению к подстилающим её красноцветным отложениям, скоростями, равными 5000-5500 м/с (скв. Ю-30, Ю-17 и др.)

Для метода отраженных волн существенным фактором, определяющим волновое поле, является форма залегания различных толщ. Неблагоприятным фактором, влияющим на точность определения эффективных скоростей, является неоднородность верхней части разреза (от 100-150 до 1000 м/с) и, как следствие, значительные горизонтальные градиенты скорости. Причины таких неоднородностей могут быть различными, в частности, они создаются за счет резкого различия скорости пермских осадков и особой формы их залегания. Характер изменения эффективных скоростей в какой-то степени соответствует характеру изменения граничных скоростей по кровле палеозойских отложений.

Выводы. Данные об изменениях *плотности* позволяют выделить в районе несколько плотностных границ раздела:

- между мезокайнозойскими рыхлыми образованиями и коренными породами палеозоя с дефектом плотности 0,24-0,8 г/см³;
- между подошвой пестроцветной толщи кингирских отложений и кровлей соленосной толщи с избытком масс 0,1-0,3 г/см³;
- между подошвой соленосно-лагунной формации перми и кровлей континентальной толщи карбона, дефект плотности 0,14-0,3 г/см³;
- между каледонским фундаментом впадины и выполняющими её отложениями девона-карбона (дефект плотности 0,06-0,14 г/см³).

В результате изучения *скоростной* характеристики района подготовлена обобщенная скоростная модель среды, на которой скорости резко нарастают в верхней части разреза до 5600 м/с. Наиболее резкими скоростными границами является подошва рыхлых отложений, подошва верхнетурнейских пород, кровля известняков верхнефаменского подъяруса и отдельные горизонты внутри продуктивной толщи фамена.

3 ОСНОВНЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ МОГТ 3D НА ДЕТАЛЬНЫХ УЧАСТКАХ ЖИЛАНДИНСКОЙ ГРУППЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В работе представлены результаты исследований по оценке возможности 3D сейсморазведки на рудных объектах Жезказганского района в Центральном Казахстане. В качестве опытных объектов использованы данные по локальным разведанным участкам Жиландинской группы месторождений медистых песчаников (Западная Сарыоба, Пектас и Донызауз) Жезказганского рудного района, расположенных в Улытауском районе Карагандинской области. Автор диссертации был активным участником проведения 3D сейсмических исследований на всех этапах: полевых работ, обработки и интерпретации сейсмических данных.

3.1 Особенности планирования трехмерных систем наблюдения и регистрации полевых данных

На основе анализа геологического строения, скоростной характеристики и технико-технологических условий проведения полевых работ на опытных участках был разработан дизайн системы наблюдений, обеспечивающий получение сейсмического сигнала с высокой разрешенностью. По результатам опытно-методических работ обоснованы параметры возбуждения, приема и регистрации полезных отражений, с повышенным уровнем высокочастотной составляющей упругих колебаний [8].

При планировании 3D съемки МОГТ учитывались следующие основные факторы:

- Размер площади исследований;
- Глубина исследований;
- Расположение целевых границ и горизонтов;
- Углы падения границ геологических тел;
- Явление анизотропии упругих свойств;

Размеры потенциальных объектов, поиск которых будет регламентирован параметрами системы наблюдений.

Размер площади исследований – это основной экономический фактор, определяющий продолжительность и стоимость будущих работ. Необходимым условием при планировании трехмерной съемки является покрытие объекта исследований полнократными наблюдениями ОГТ и учет пространственной базы, необходимой для сейсмического сноса (апертуры миграции). Игнорирование этих требований приводит к искажениям в сейсмическом волновом поле и к ошибкам при построении сейсмической модели. На рисунке 3.1 показана схема набора кратности от 1 до 54 (полная кратность) на участке Пектас, где вокруг площади полной кратности можно отметить белый ореол, который, вследствие малой кратности будет содержать краевые эффекты и связанные с ними искажения. Параметр апертуры сейсмического сноса

(миграции) зависит от глубины расположения целевых границ и их углов падения.

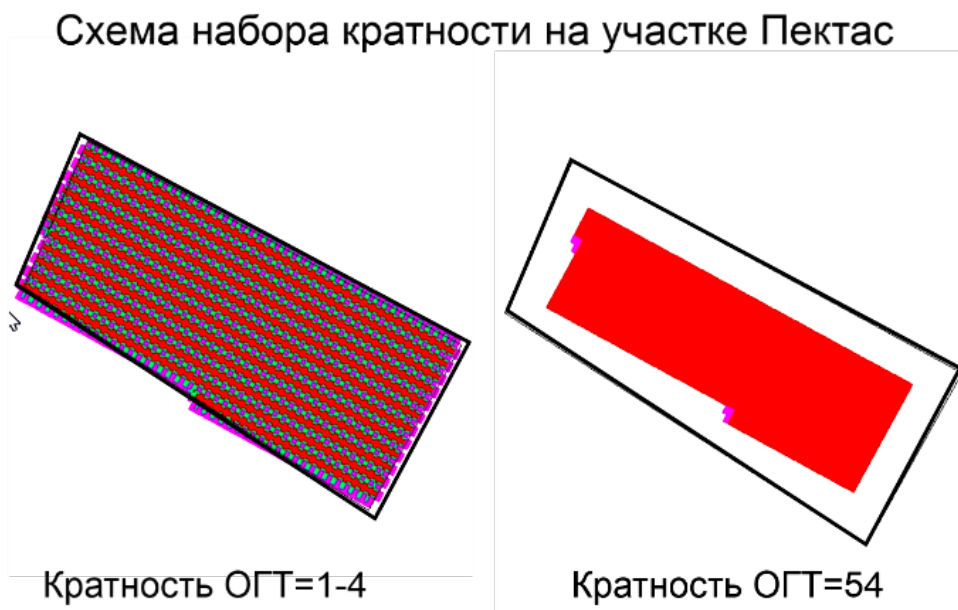


Рисунок 3.1 – Сравнение площади покрытия участка Пектас данными с малой кратностью ОГТ (1-4) и данных с полной кратностью (54). Черным цветом показан контур участка работ

Глубина исследований и расположение целевых границ и горизонтов – определяет выбор максимальных удалений между приемниками и источниками. На участке работ могут присутствовать несколько групп целевых границ – первоочередные, а также второй, третьей и т.д. очереди. В зависимости от их положения в разрезе планируется распределение удалений в площадной сетке ОГТ (т.н. «бине»). Максимальное удаление выбирается, как правило, равным глубине исследований, однако удаления увеличивают с возрастанием углов наклона геологических границ.

Углы падения границ геологических тел – влияют на расстояние выхода отраженных волн к дневной поверхности, где расположены регистрирующие их сейсмоприемники. Таким образом, геометрия сейсмических лучей определяет максимальные удаления пунктов приема (ПП) от пунктов возбуждения упругих волн (ПВ) для качественных наблюдений

Современные средства регистрации и обработки сейсмических данных хорошо справляются даже с такими сложными геологическими структурами, как опрокинутые складки и карнизы (т.н. «козырьки») соляных диапиров, которые зачастую выступают в роли экранов для отраженных волн.

Явление анизотропии упругих свойств – это, в основном, зависимость скорости распространения упругих волн от направления их распространения, но в отдельных случаях может рассматриваться и изменение поляризации волн. Для учета анизотропии очень важным является распределение азимутов между парами ПВ-ПП внутри отдельных бинов, поэтому широкоазимутальные съемки являются предпочтительнее узкоазимутальных (Рисунок 3.2).

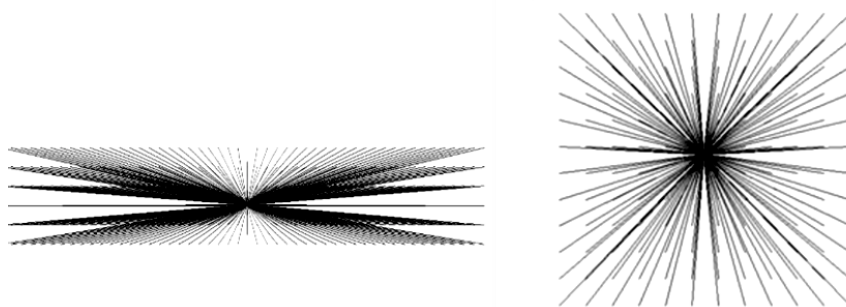


Рисунок 3.2 – Распределение азимутов в бине (вид сверху) для узко-азимутальных (слева) и широко-азимутальных (справа) съемок

Размеры потенциальных объектов на участке исследований определяют требования к вертикальной и горизонтальной разрешенности систем наблюдения. Вертикальная разрешенность сигнала определяется такими параметрами, как выбор подходящего шага дискретизации и рабочей полосы частот, обусловленной типом и/или характеристиками источника упругих колебаний. Горизонтальная разрешенность в сейсморазведке определяется размерами первой зоны Френеля. Каждый из вышеперечисленных факторов влияет на выбор параметров систем наблюдения и определяет степень успеха при оконтуривании геологических тел.

Проблемой параметра кратности ОГТ является необходимость учета нарастания кратности с глубиной исследований. Полная кратность достигается не сразу, а на глубине, соответствующей величине

$$F_z = (F_{\text{пл}} / 2 - 0.5) * \text{SLI}, \quad (1)$$

где $F_{\text{пл}}$ – кратность вдоль линий приема, SLI – расстояние между линиями возбуждения.

Поэтому важен не сам параметр кратности, а его зависимость от глубины либо от удаления ПП от ПВ. Часто встречаются случаи, когда при кажущейся плотной съемке наблюдается неэффективная кратность ОГТ на малых глубинах/удалениях. В качестве примера рассмотрим случай аналогичный опубликованным результатам исследований на участке Киллилахти (Kylylahti, Финляндия) [95], где использовалась фиксированная расстановка из 19 линий приема (Таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Параметры системы наблюдений на участке Киллилахти (Kylylahti, Финляндия)

Сейсмостанция	Oyo-Geospace GSR
Количество линий приема	19 линий
Шаг между линиями приема, м	200
Шаг пунктов приема на линии, м	50
Количество пунктов приема	994
Площадь съемки, кв.км.	~10,5
Тип геофона	GS-20, 10 Гц, 6 шт. на пикете
Шаг пунктов врыва на линии, м	20-100

Продолжение Таблицы 3.1

Количество пунктов взрыва	738
Размер бина ОГТ, м	25х25
Взрывной источник	Заряд 120-240 г., глубина 2 м.
Вибросейс источник	2 x INOVA UniVibe, 9,5т.
Параметры СВИП-1	4-220 Гц 16 с./3
Параметры СВИП-2	3-200 Гц, 20 с./2
Длина записи, мс.	6000
Шаг дискретизации, мс.	2

Если смоделировать аналогичную сеть из 19 линий приема, но с регулярной сетью ПВ (Рисунок 3.3), то кратность ОГТ по площади также станет более регулярной.

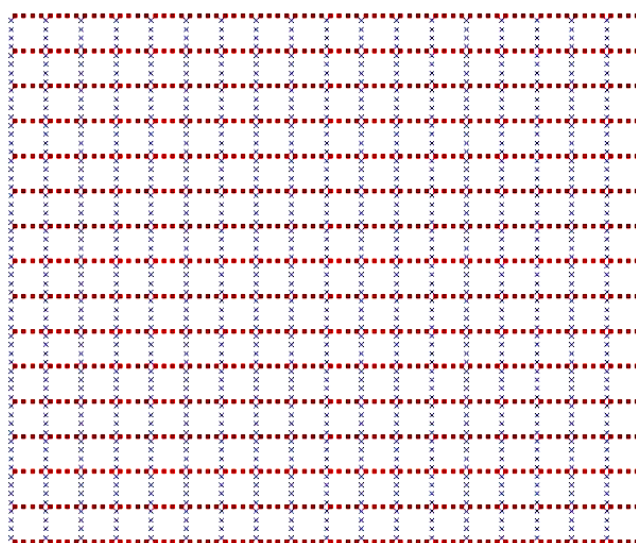


Рисунок 3.3 – Пример стационарной сети наблюдения из 19 линий приема (синие линии).

При параметрах съемки 1152 ПВ на площади около 11 км² дают плотность около 100 ПВ/км², где наблюдается следующее распределение кратности с глубиной (Таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Сравнение эффективной (участок 3. Сарыоба) и неэффективной (Киллилахти) кратности ОГТ на малых глубинах

Кратность прослеживания горизонтов	Сарыоба	Киллилахти
на удалениях 100	2-3	0-1
на удалениях 200	4-6	0-1
на удалениях 300	9-13	1-3
на удалениях 400	18-21	2-4
на удалениях 500	29-33	4-6
на удалениях 600	48-53	4-8
на удалениях 800	62-63	11-14
Номинальная кратность	64	270

Таким образом, при кажущейся регулярности сети и высокой номинальной кратности система наблюдения не всегда освещает строение разреза на малых глубинах, в нашем случае критичными являются глубины до 800 м.

При проведении исследований на участках Пектас, Донызауз и З. Сарыоба использовались два варианта системы наблюдения (Таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Параметры систем наблюдения на исследуемых участках

Параметры системы наблюдений	Варианты		
	Западная Сарыоба	Пектас	Донызауз
Количество линий приема	16	18	18
Количество пунктов приема на линии приема	64	36	36
Количество активных каналов	1024	648	648
Общая площадь съемки	3,52	1,32	1,32
Площадь полной кратности	1,58	0,63	0,69
Общее количество пунктов возбуждения	2176	1090	1100
Общее количество пунктов приема	2386	1809	1794
Геофизические параметры			
Соотношение полуосей шаблона	1,00	1,00	1,00
Кратность прослеживания горизонтов:			
на удалениях 200	4-6	13-14	13-14
на удалениях 300	9-13	28-31	28-31
на удалениях 400	18-21	48-50	48-50
на удалениях 500	29-33	54	54
на удалениях 800	62-63	-	-
Номинальная кратность	64	54	54
Максимальное значение минимального удаления	99	58	58
Максимальное удаление "взрыв-прием"	891	495	495

Во всех случаях использовался взрывной источник возбуждения упругих волн с массой заряда 125 г., что позволило получить качественный полевой материал (рисунок 3.4).

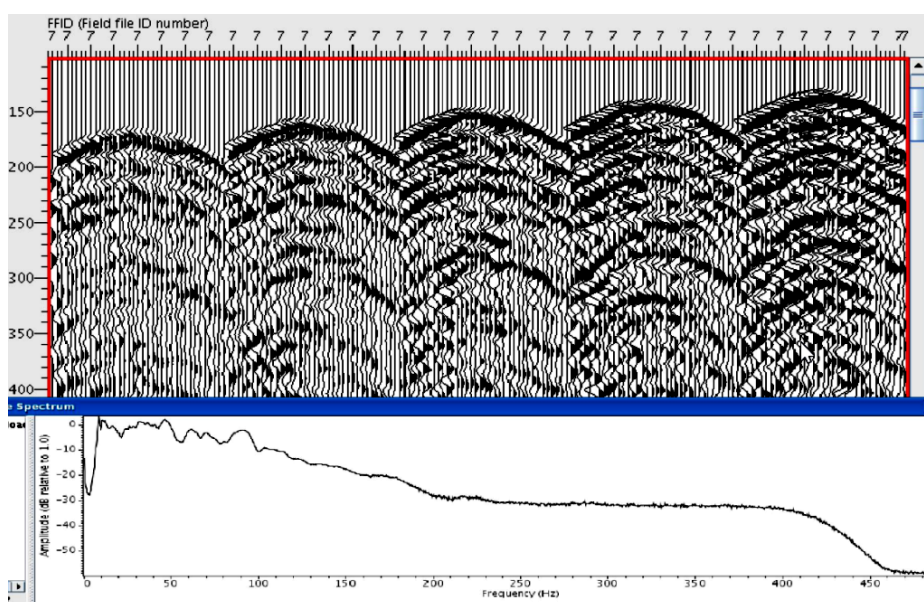


Рисунок 3.4 – Фрагмент полевой сейсмограммы и соответствующий ей амплитудно-частотный спектр участка Пектас

Анализа данных при разработки эффективной системы наблюдений 3D сейсморазведки на рудных объектах позволил разработать рекомендации по практическому применению сейсмических 3D систем наблюдений для неглубокозалегающих рудных объектов. Дальнейшим развитием исследований в этом направлении рекомендуется проводить с учетом:

- 1) опробования гибридных систем наблюдения с использованием дополнительных линий приема в зоне ближних удалений;
- 2) регистрации обменных волн.

Добавление линий приема в ближней для ПВ зоне дает прирост кратности для небольших глубин, в первую очередь – для 100-200 м. Пример такой расстановки приведен на рисунке 3.5.

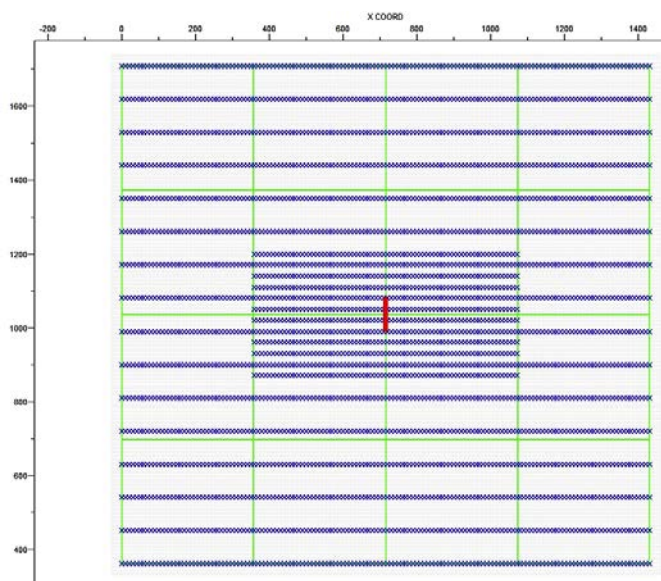


Рисунок 3.5 – Пример единичной расстановки (шаблона) с дополнительными линиями приема в ближней для ПВ зоне

Такие гибридные расстановки должны обеспечивать равномерное распределение удалений в ближней и дальней зоне, но в то же время они не должны быть слишком сложными для отработки в поле.

На участках Жиландинского рудного поля можно отметить несоответствие между имеющимися размерами участка и утвержденной методикой полевых сейсморазведочных работ МОГТ-3D. Это связано с компромиссным выбором между размерами выделенного участка и позволили полноценно выполнить сейсмический снос на периферии площади и отобразить точное геологическое строение.

При выборе методики сейсмических работ в условиях сложных сред, представленных интенсивно дислоцированными комплексами эффузивно-осадочных и магматических пород складчатых зон, важно применение обоснованных параметров возбуждения, приема и регистрации полезных отражений, с повышенным уровнем высокочастотной составляющей упругих колебаний.

Выводы. При планировании исследований МОГТ-3D рекомендуется, в зависимости от особенностей геологического строения и глубины исследований, выбирать шаблон единичной расстановки с количеством трасс ближних удалений не менее 6-8 для более качественного отображения неглубокозалегающих геологических границ. При выборе методики сейсмических работ для неглубокозалегающих границ преимущество имеет сейсморазведка высокого разрешения (МОГТ ВРС) при обязательном комплексировании наземных и скважинных наблюдений.

Все приведенные в работе факторы подчеркивают новые требования, предъявляемые к дизайну трехмерных съемок при поиске и разведке рудных объектов.

3.2 Особенности полевых сейсморазведочных работ на участках исследований

При обосновании и выборе методики поисков месторождений жезказганского типа очень важно учитывать специфические особенности состава и структуры рудных залежей, отличающие их от многих других сульфидных месторождений. Прежде всего, это состав руд, в которых доминирует триада сульфидов меди: халькозин, халькопирит, борнит и практически полностью отсутствует пирит. Вследствие этого многие электрические методы, часто и успешно используемые, например, при поисках месторождений колчеданного и порфирового типов, оказываются неэффективными для медистых песчаников.

Важной особенностью является локализация медистых песчаников (в виде пластовых или ленточных залежей) в пределах проницаемых горизонтов. В перекрывающих и подстилающих отложениях (как правило, значительно менее проницаемых) концентрации меди без какого-либо ореола резко снижаются до кларковых. Поэтому обычными геохимическими поисками, как правило, выявляется, в лучшем случае, видимая медная минерализация (по существу, локальные рудные тела) или же вторичные ореолы над неглубоко погребенными рудными телами. Это еще раз подтверждает, что сегодня задача укрепления минерально-сырьевой базы может быть решена только на основе применения современных технологий прогнозно-поисковых работ, включающих методы исследования и обработки результатов, которые были недоступны и ранее не применялись на рудных месторождениях [56].

Перед автором стояла задача дать оценку возможности использования высоко-плотностной широко азимутальной сейсморазведки 3D, имеющей на сегодняшний день в своем арсенале многочисленные методические и технические средства проведения сейсморазведочных работ на суше и на море, современные методы обработки сейсмической информации и получения на этой основе видимых изображений геологической среды.

При использовании существующих отечественных и зарубежных способов обработки и интерпретации, полученных полевых сейсмических материалов,

широко применяются технологии извлечения информации не только о структурных формах изучаемых объектов, но и тонкой внутренней неоднородности слагающих их горных пород (литологическая неоднородность, фильтрационно-емкостные свойства, флюидонасыщенность, трещиноватость и др.). Сейсморазведка отличается высокой разрешающей способностью, технологичностью и большим объёмом получаемой информации. Применение современных геоинформационных систем для процедур обработки полевых сейсмограмм, получения временных и глубинных разрезов, геологического толкования полученных на разрезах аномальных участков применительно к рудным объектам дает возможность выявить специфические признаки волнового поля, с которыми могут быть связаны скопления полезных ископаемых.

Для решения поставленных задач на опытных участках Пектас, Донызауыз и Западная Сарыоба проведена в полном объеме детальная 3D сейсморазведка (рисунок 3.6), включающая следующие виды работ:

- составлены и согласованы технические проекты по участкам Пектас, Донызаус, Западная Сарыоба;
- топо-геодезические работы;
- изучение ВЧР МСК: на участке Пектас – в 3-х, Донызауыз – в 6, Западная Сарыоба - 9 скважинах;

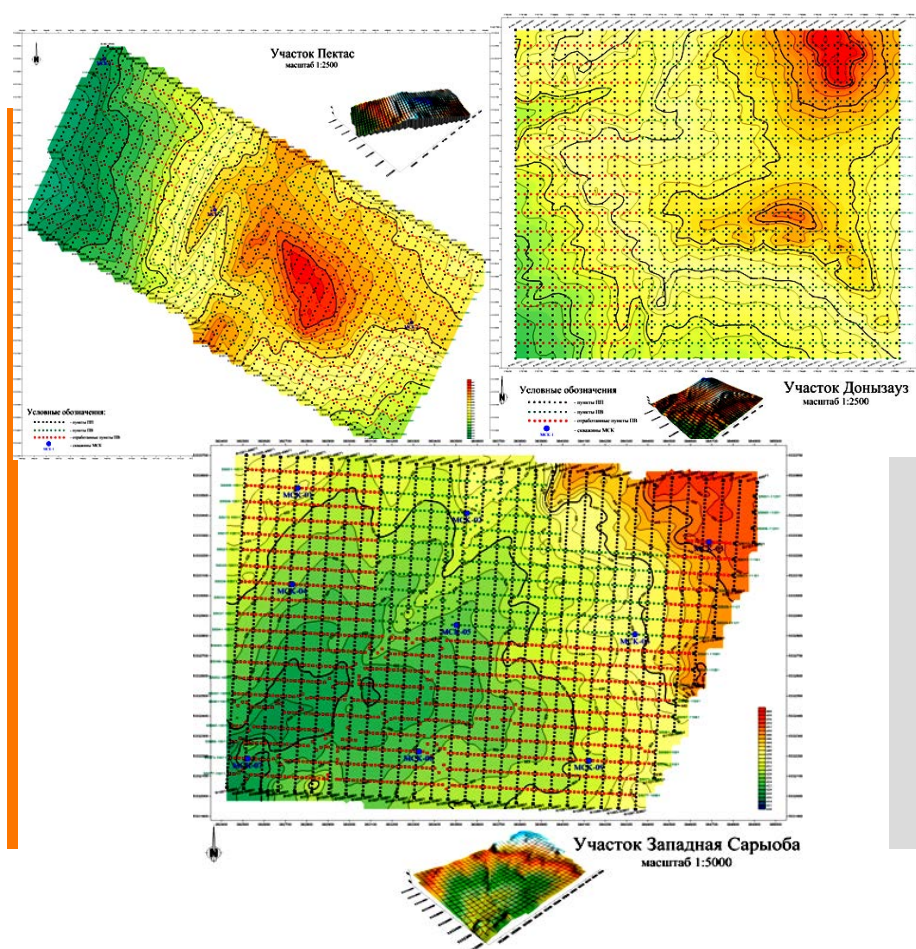


Рисунок 3.6 – Схема отработанных точек на опытных участках

- опытные работы на участках исследований;
- МОГТ-3D на участке Пектас, Донызауз, Западная Сарыоба.
- обработка данных сейсморазведки МОГТ.

На основе анализа геологического строения исследуемых участков, скоростной характеристики и технико-технологических условий проведения полевых работ был разработан дизайн системы наблюдений. По результатам опытно–методических работ обоснованы параметры возбуждения, приема и регистрации полезных отражений, с повышенным уровнем высокочастотной составляющей упругих колебаний.

Для выполнения 3D сейсморазведочных работ, привлекалась современная бескабельная сейсмосистема SCOUT. Благодаря отсутствию кабелей и наличию беспроводных интерфейсов SCOUT позволяет организовать гибкую схему выполнения проектов, сэкономить финансовые средства путем сокращения затрат на логистику, персонала, техники, повысить скорость выполнения работ.

Оперативный контроль качества полевых материалов и предварительная обработка сейсмических данных 3D в поле осуществлялась в полевом обрабатывающем центре. С целью контроля качества регистрируемых сейсмических данных проводилась оперативная обработка материалов в поле. Далее данные с каждого участка передавались на обработку на стационарный вычислительный центр.

Обработка выполнялась с сохранением относительных амплитуд, что позволило в дальнейшем применить методы динамической интерпретации данных. В качестве альтернативного метода для отображения сейсмических границ в сложных геологических районах был опробован метод 3D глубинной миграции до суммирования (ГМДС). Контроль выполнения и сопровождение производственных полевых сейсморазведочных и сопутствующих работ выполнялся с привлечением внешних супервайзеров, согласно техническому проекту для: анализа и оценки выполненных объемов полевых сейсморазведочных работ; анализа и оценки выполненных объемов работ по обработке и интерпретации сейсмических данных; анализа и оценки выполненных объемов работ по комплексному геолого-геофизическому моделированию [8,56]

В результате обработки данных сейсморазведки МОГТ-3D были получены сейсмические кубы временной и глубинной миграции до суммирования, построены скоростные модели по сейсмическим данным.

Работы по изучению верхней части разреза на опытных участках проводились для получения информации о скоростной модели ВЧР, которая учитывалась для определения оптимальной глубины размещения заряда скважин ОГТ и использовалась для расчёта статических поправок.

На участке Пектас методом микрокаротажа (МСК) были отработаны 3 скважины (таблица 3.4).

Исследования МСК проводились методом обращенного каротажа путем подрыва электродетонаторов вдоль ствола скважины. В качестве источника

возбуждения колебаний использовались детонаторы ЭДС – одиночный детонатор на каждом интервале глубины.

Взрывы в скважине производились с помощью гирлянды детонаторов ЭДС с расстояниями 2-а метра меду ними для МСК-01, для последующих МСК-02, МСК-03 использовалась гирлянда с шагом 1 м для интервалов глубин 1-11 м и с шагом 2 м. для интервалов глубин 11-35 м. Подрыв ЭДС и запуск сеймостанции осуществлялся с помощью взрыв-машинки по радиоканалу.

Схема расположения сейсмоприемников относительно устья скважины, а также интервалы шага наблюдения по стволу скважины представлены на рисунке 3.7.

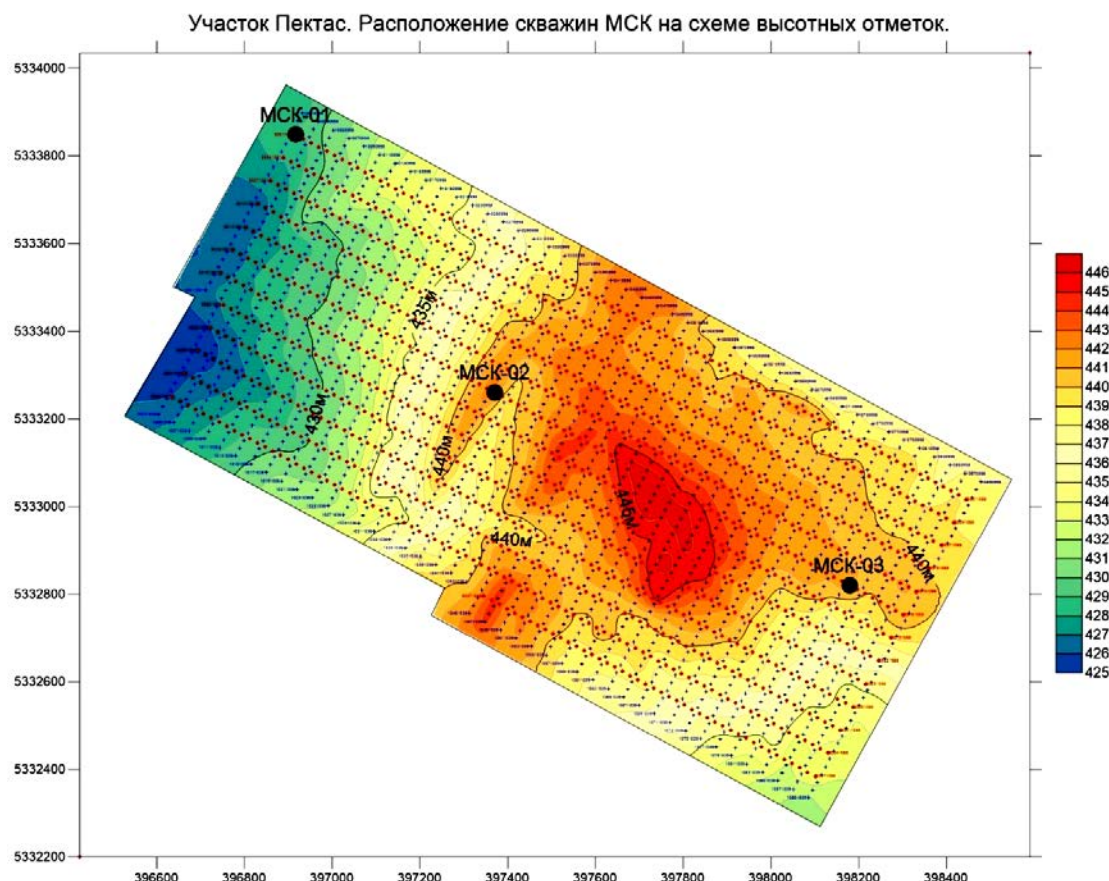


Рисунок 3.7 – Участок Пектас. Расположение скважин МСК на рельефе местности

Полевые работы по изучению ВЧР проводились сеймостанцией СБТС "SCOUT", оснащённой специальным программным обеспечением и системой синхронизации "SCOUT". Перед началом работ МСК на участке тестирование регистрирующей станции и наземного оборудования не проводилось.

На участке Донызауз было отработано для отработки 4 скважины МСК.

В виду, сложного строения ВЧР и анализа данных на участке Донызауз проектный объем скважин МСК был увеличен и составил 6 скважин. (рисунок 3.8).

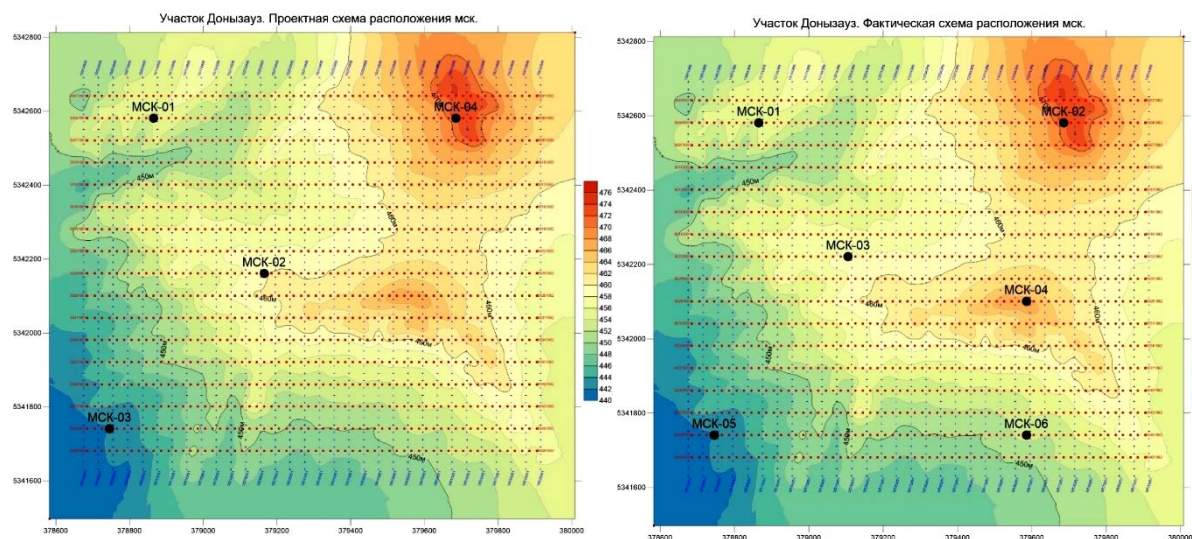


Рисунок 3.8 – Схема проектного (а) и фактического (б) расположения скважин МСК участка Донузауэ

Увеличение проектного объема МСК позволило системно изучить скоростную модель ВЧР и рассчитать корректнее статические поправки за счёт увеличения информативных данных.

Отработанный объем скважин МСК был увеличен после анализа проведенных работ по изучению ВЧР на участках Пектас и Донузауэ и составил 9 скважин (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Фактические скважины МСК на участках Пектас и Донузауэ

Номер МСК	Пикет ПВ	Глубина каротажа, м	X	Y	Абс. отметка, м
МСК-01	50051013	35	382758.70	5333536.70	436.21
МСК-02	50091053	35	383552.91	5333411.99	432.83
МСК-03	50131110	35	384686.70	5333268.19	453.19
МСК-04	50291013	17	382731.78	5333057.38	426.54
МСК-05	50371052	33	383501.64	5332854.02	424.71
МСК-06	50371094	35	384340.21	5332806.87	438.07
МСК-07	50731005	11	382522.71	5332187.80	421.47
МСК-08	50691045	27	383325.91	5332222.80	424.48
МСК-09	50691085	35	384124.59	5332177.99	431.11

Работы по изучению верхней части разреза на участке Западная Сарыоба были отработаны по 6 скважинам МСК (таблица 3.5, рисунок 3.9).

Таблица 3.5– Проектные скважины МСК участка Западная Сарыоба

NN МСК	Пикет ПВ	X	Y	Абс. отметка, м
МСК-01	50011001	382523.48	5333630.01	438.00
МСК-02	50571061	383658.89	5332444.53	424.62
МСК-03	50011049	383482.01	5333576.20	432.05
МСК-04	50731005	382522.71	5332187.80	421.47
МСК-05	50011101			
МСК-06	50731049	383401.32	5332138.50	426.77

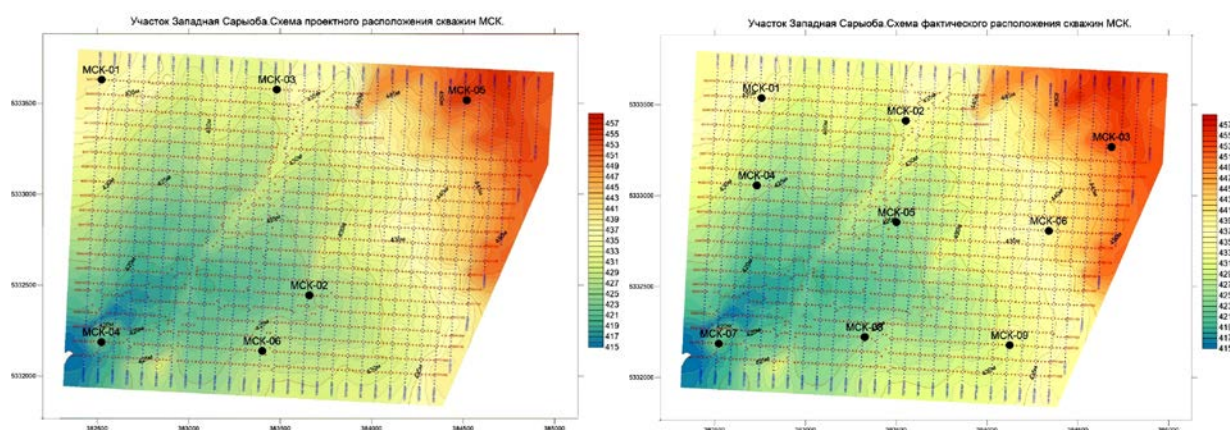


Рисунок 3.9– Схема проектного расположения скважин МСК на участке Западная Сарыоба

Программой опытных работ на месторождениях Пектас, Донызауыз, Западная Сарыоба предусматривалось тестирование на пунктах возбуждения (ПВ) различных глубин заложения заряда и различных весов зарядов. Регистрация проводилась на активную расстановку с большим количеством регистрирующих каналов и хорошим распределением удалений и азимутов. Учитывая значительные изменения геологического строения верхней части разреза опытные работы проводились в разных частях исследуемого участка (Магзимова С.Е., Ужва В.И., 2014). По результатам исследований МСК определялись оптимальные глубины заложения зарядов. Эти же данные использовались для построения модели зоны малых скоростей и расчета статических поправок.

После определения оптимально возможной глубины погружения заряда проводились опытные работы по выбору оптимальной массы заряда. Критерием выбора оптимальной массы является достаточная энергия взрыва, обеспечивающая возбуждение упругих волн и регистрацию отраженной волны на всем интервале исследуемого разреза.

На стадии обработки на полевом обрабатывающем центре (ОЦ) проведен качественный и количественный анализ опытных данных с использованием специального программного обеспечения и рассчитаны амплитудные спектры в

заданных окнах зарегистрированных сейсмограмм. Основным критерием оптимальности условий возбуждения сигнала являлось сохранение максимально широкого частотного спектра отраженных импульсов на целевых временах с обеспечением заданной длины записи 2 сек.

На участке Пектас при проведении опытных работ были использованы данные по трем МСК, полученные обращенным методом (детонаторы в скважине, приемники на поверхности) с опробованием двух расстановок детонаторов: МСК-01 (глубина 32м) – шаг детонаторов в гирлянде = 2 м (32-30-28 и т.д.); МСК-02 (35 м.) и МСК-03 (23 м.) – до глубины 11 м. шаг детонаторов в гирлянде = 2 м (35-33-31 и т.д.), далее 1 м. (11-10-9 и т.д.)

Анализ спектров записи по разной глубине, а также сопоставление с данными литологического описания разреза позволили определить оптимальный отклик на глубинах 15-17 м. На МСК-01 граница между корой выветривания и коренными породами залегает на отметке 15 м. Данный интервал был принят за минимальный и опорный для дальнейшего тестирования на глубину заложения заряда (рисунок 3.10).

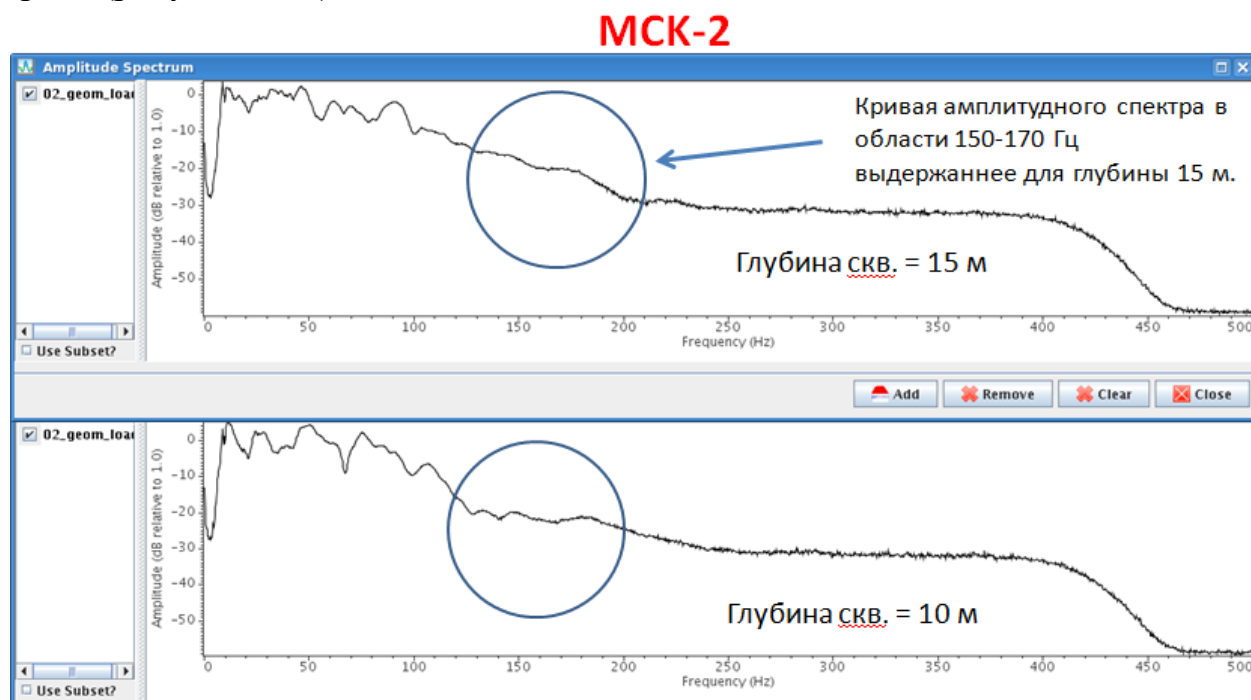


Рисунок 3.10 – Участок Пектас. Определение значимой части спектра по опытным данным

На МСК-02 (центр площади) проведены две серии контрольных отстрелов: по выбору оптимальной глубины производственных взрывных скважин, по определению массы ВВ. С этой целью расстелены ЛП 1001-1035 и отработаны в окрестности от позиции МСК по 2 группы скважин – на глубины 10-15-20-27м и на массу заряда ВВ 62,5-125-250-500г. На рисунке 3.10 приведено сравнение спектров опытных данных на примере глубин 10 и 15м.

С целью удобства деления на равные части масса заряда определялась из параметров массы цельной шашки (равной 250 г). Активная расстановка из 18

линий приема позволила оценить качество данных в ближней и дальней от ПВ зонах. Данные тестов на глубину и вес заряда приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Выбор глубины и веса заложения заряда (участок Пектас)

Выбор оптимальной глубины заложения заряда				
Пикет	FFID	Глубина скв. м.	Вес заряда, Q	Группирование скважин
50161035	6	10	0.125 кг	нет
50161035	7	15	0.125 кг	нет
50161035	8	20	0.125 кг	нет
50161035	10	27	0.125 кг	нет
Выбрана оптимальная глубина заложения заряда = 15 метров				
Выбор оптимального веса заряда				
50161035	12	15	0.125 кг	нет
50161035	13	15	0.250 кг	нет
50161035	15	15	0.500 кг	нет
50161035	17	15	0.0625 кг	нет
50011001	18	16	0.0625 кг	нет
50011001	19	16	0.125 кг	нет
Выбран оптимальный вес заложения заряда = 0,125 кг				

По результатам опытных работ и данным МСК масса заряда принята не менее 0.125 кг. Глубина бурения при вскрытии коренных пород/проходка по коренным породам составляла не менее 1-1,5 м. В случае не вскрытия коренных пород, при входе в глинистую кору выветривания по коренным породам, проходка составила 5-8 м.

На участке Донызауыз расположение опытных пикетов возбуждения было выбрано с учетом изменений в рельефе земной поверхности, с целью изучить по площади строение ЗМС в местах пониженного, повышенного и среднего рельефа. Пикеты опытных ПВ выбирались на позициях заранее проведенных исследований МСК. При проведении опытных работ в качестве дополнительной информации были использованы данные по трем МСК (рисунок 3.11). На МСК-02 (центр площади) были проведены две серии контрольных отстрелов: по выбору оптимальной глубины производственных взрывных скважин, по определению массы ВВ. С этой целью были расстелены ЛП 1001-1035 и отработаны в окрестности от позиции МСК по 2 группы скважин – на глубины 10-15-20-27м и на массу заряда ВВ 62,5-125-250-500г.

Активная расстановка из 18 линий приема позволила оценить качество данных в ближней и дальней от каждого опытного ПВ зонах. ЗМС согласно данным бурения и анализа скоростей имеет на участке резкую изменчивость и сложное строение. Анализ спектров записи данных МСК по разной глубине, анализ скоростей в выделенных слоях, а также сопоставление с данными литологического описания позволили определить оптимальный отклик на глубинах 10-15 м. По данным бурения на МСК-02 имелись прослой известняков, граница между корой выветривания и коренными породами лежала на отметке 12 м.

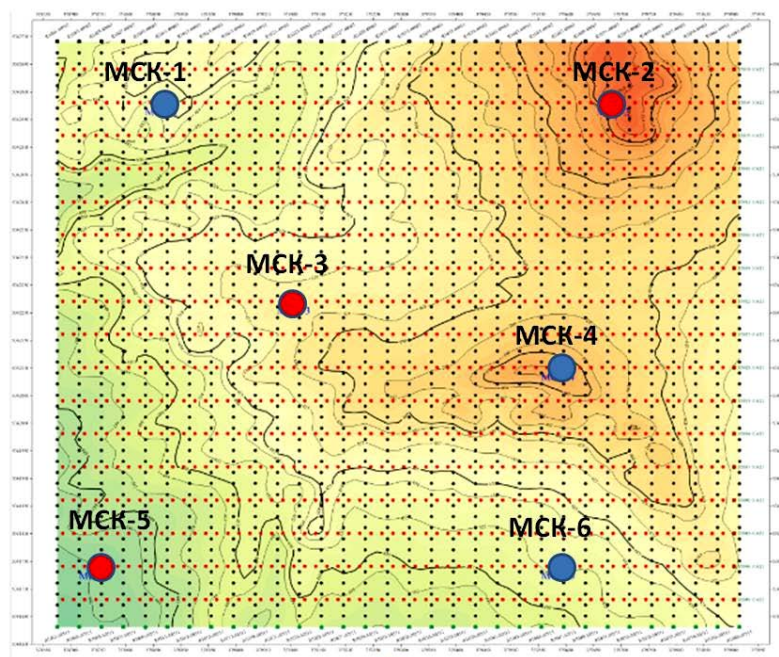


Рисунок 3.11 – Расположение опытных ПВ (красные точки) участка Донызауз

При производстве опытных работ по выбору глубины заряда делался сравнительный анализ частотных спектров для каждой сейсмограммы. Спектры имеют схожие характеристики, однако для глубины 12 м. (график в середине) энергия в области частотного спектра до 100 Гц имеет более предпочтительный вид, что согласуется с данными литологического описания (рисунок 3.12).

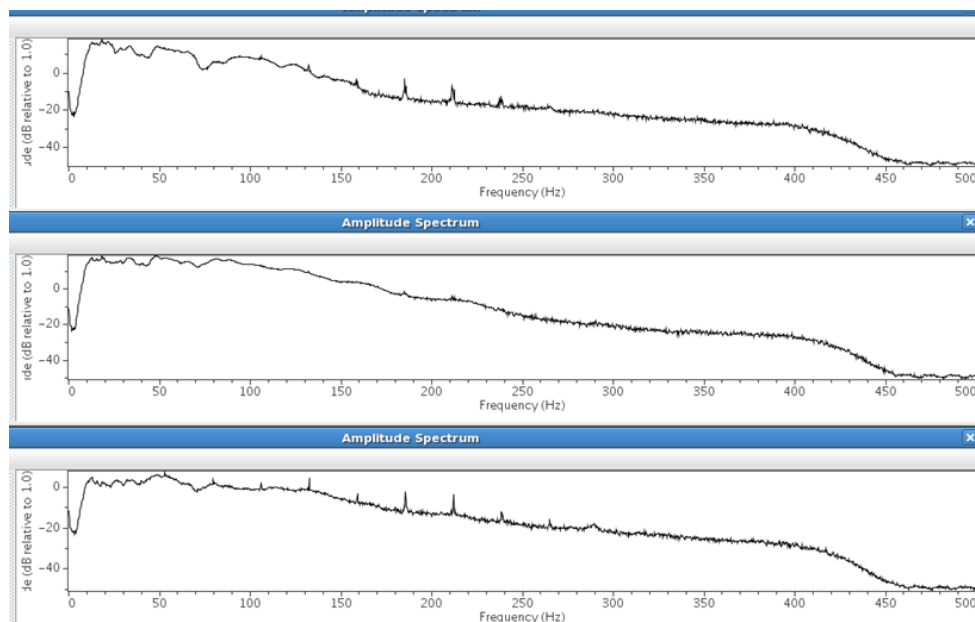


Рисунок 3.12 – Сравнение амплитудно-частотных спектров для глубин (сверху вниз) 7, 12 и 17 м. на участке Донызауз

На основании комплексного анализа интервал заложения заряда был принят равным 12м, как минимальный и рекомендованный для дальнейших производственных работ. После выбора оптимальной глубины заложения заряда были проведены тесты на массу ВВ. Данные тестов на глубину и вес заряда по участку Донызауз приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Выбор глубины и веса заложения заряда (участок Донызауз)

Выбор оптимальной глубины заложения заряда				
Пикет	FFID	Глубина скв. м.	Вес заряда, Q	Группирование скважин
50041051	1117	7	0.125 кг	нет
50041051	1118	12	0.125 кг	нет
50041051	1119	17	0.125 кг	нет
50221022	1120	7	0.125 кг	нет
50221022	1121	12	0.125 кг	нет
50221022	1122	17	0.125 кг	нет
50461004	1123	3	0.125 кг	нет
50461004	1124	7	0.125 кг	нет
50461004	1125	11	0.125 кг	нет
Выбрана оптимальная глубина заложения заряда = 12 метров				
Выбор оптимального веса заряда				
50221022	1127	12	0.0625 кг	нет
50221022	1128	12	0.125 кг	нет
50221022	1129	12	0.250 кг	нет
Выбран оптимальный вес заложения заряда = 0,125 кг				

Опытные сейсмические работы на участке Западная Сарыоба проведены по стандартной методике с учетом рельефа, геологического строения участка и результатов тестирования на участках Пектас и Донызауз.

Схема расположения скважин в районе пикета опытных работ приведена на рисунке 3.13. Карта площади с расположением точек МСК и пикетов опытных работ приведена на рисунке 3.14.

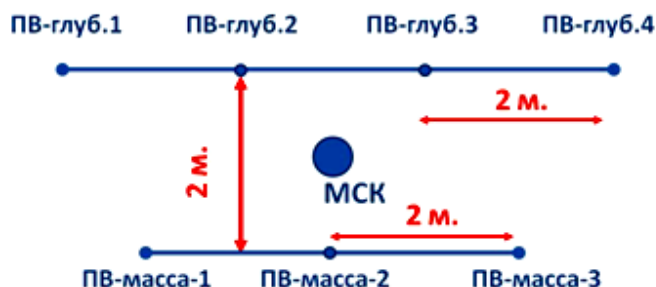


Рисунок 3.13 – Схема расположения скважин при проведении опытных работ участка Западная Сарыоба

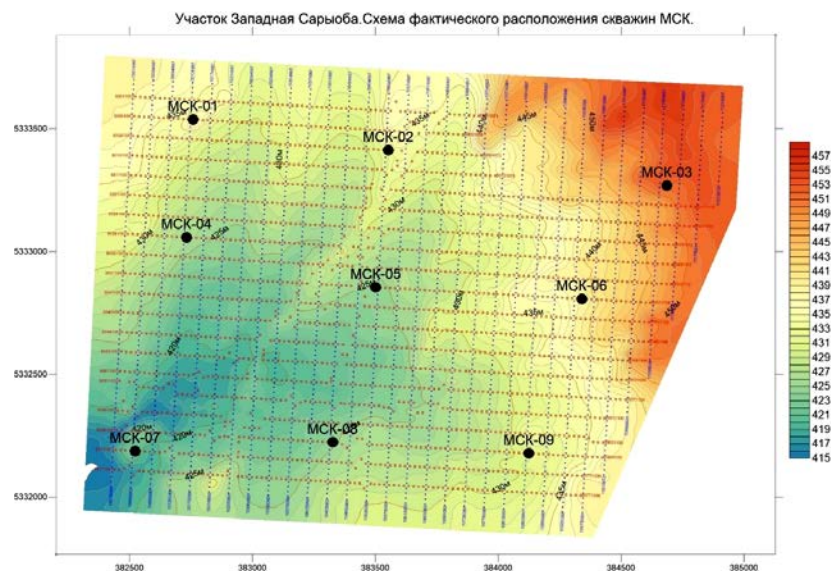


Рисунок 3.14 – Карта рельефа местности и расположения скважин МСК участка Западная Сарыоба

Активная расстановка из 16 линий приема позволила оценить качество данных в ближней и дальней от каждого опытного ПВ зонах.

Для МСК-3, ввиду удаленности от начала отстрела для опытных работ МОГТ-3D были использованы только 2 ближние линии приема. ЗМС согласно данным бурения и анализа скоростей имеет на участке резкую изменчивость и сложное строение, однако ее мощность составила первые метры (до 7 м.). Анализ спектров записи данных МСК по разной глубине, анализ скоростей в выделенных слоях, а также сопоставление с данными литологического описания позволило определить оптимальный отклик на глубинах 10-15 м. По данным бурения на МСК-07 коренные породы лежат практически на поверхности. - Построение и аппроксимация годографа первых вступлений МСК-7 $t(z)$ показан на рисунке 3.15.

В других МСК также наблюдалась аналогичная картина, в среднем граница разделения верхних рыхлых отложений и подстилающих пород со скоростями 1800-2300 м/с составила 2-7 м.

При производстве опытных работ по выбору глубины заряда проведен сравнительный анализ частотных спектров ПВ 50371052 и 50131110 для глубин 10, 15, 20 и 25 м. (рисунок 3.16). Спектры имеют схожие характеристики для всех глубин, поэтому, на основании комплексного анализа была выбрана глубина заложения заряда, равная 10 м., и эта глубина была принята в качестве рекомендованной для дальнейших производственных работ.

Тесты массы заряда проводились на пикете 50091053 (МСК-2). Тестировались варианты 62,5 г., 125 г. и 250 г., которые показали схожие характеристики по энергии, поэтому был выбран вариант 125 г., как наиболее средний и оптимальный.

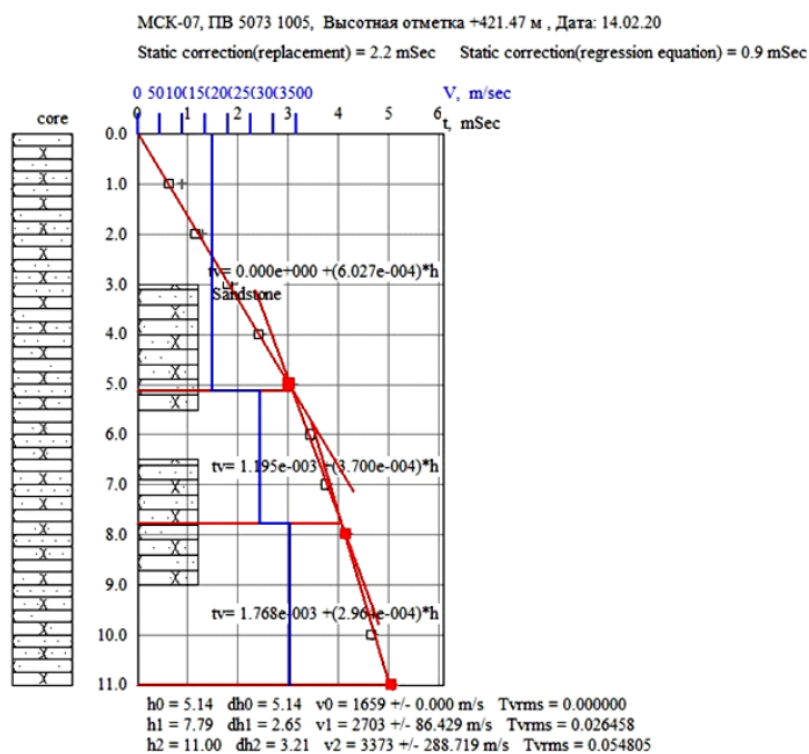
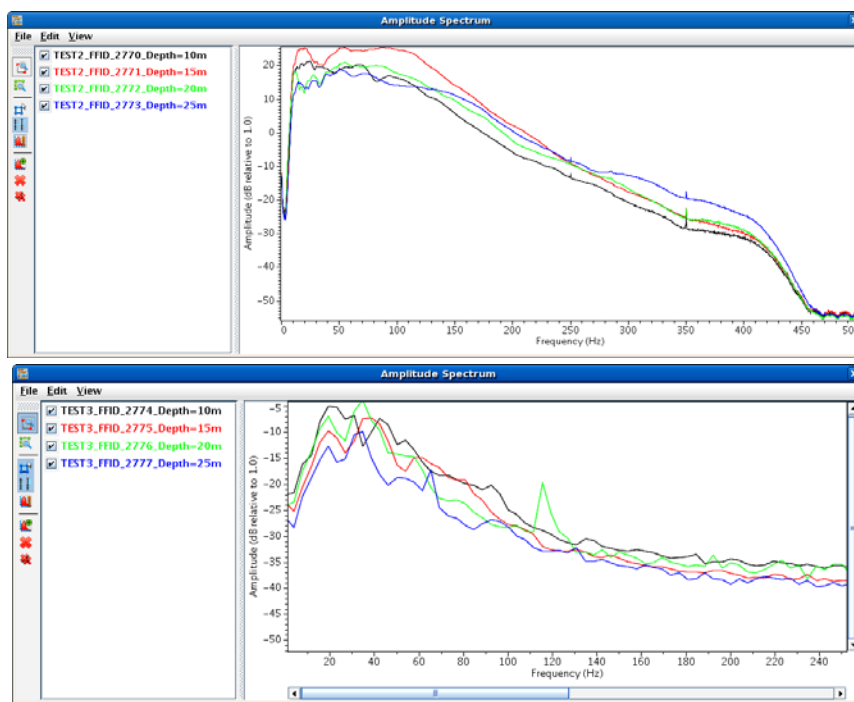


Рисунок 3.15 – Построение и аппроксимация годографа $t(z)$. Участок Западная Сарыоба. МСК-7



ПВ 50371052 –глубины 10,15, 20 и 25 м.

ПВ 50131110 –глубины 10,15, 20 и 25 м.

Рисунок 3.16 – Участок Сарыоба. Примеры сравнения спектров для различных глубин заряда

Данные тестов на глубину и вес заряда по участку Западная Сарыоба приведены в таблице 3.8.

На всех опытных участках для проведения сейсморазведочных работ выполнены топогеодезические работы, включающие согласно инструкции по топографо-геодезическому обеспечению геологоразведочных работ следующие этапы: рекогносцировку, развитие базовой геодезической сети, вынос профилей (пункты приёма ПП шаг 20м, пункты возбуждения ПВ шаг 20м), вынос скважин МСК.

Таблица 3.8 – Выбор глубины и веса заложения заряда

Выбор оптимальной глубины заложения заряда				
Пикет	FFID	Глубина скв. м.	Вес заряда, Q	Группирование скважин
50731005	2766	10	0.125 кг	нет
50731005	2767	15	0.125 кг	нет
50731005	2768	20	0.125 кг	нет
50731005	2769	25	0.125 кг	нет
50371052	2770	10	0.125 кг	нет
50371052	2771	15	0.125 кг	нет
50371052	2772	20	0.125 кг	нет
50371052	2773	25	0.125 кг	нет
50131110	2774	10	0.125 кг	нет
50131110	2775	15	0.125 кг	нет
50131110	2776	20	0.125 кг	нет
50131110	2777	25	0.125 кг	нет
Выбрана оптимальная глубина заложения заряда = 10 метров				
Выбор оптимального веса заряда				
50091053	2780	10	0.0625 кг	нет
50091053	2781	10	0.125 кг	нет
50091053	2782	10	0.250 кг	нет
Выбран оптимальный вес заложения заряда = 0,125 кг				

Методика сейсмической съемки МОГТ-3Д. На основе анализа геологического строения, скоростной характеристики и технико-технологических условий проведения полевых работ был разработан дизайн и параметры системы наблюдений. По результатам опытно-методических работ обоснованы параметры возбуждения, приема и регистрации полезных отражений, с повышенным уровнем высокочастотной составляющей упругих колебаний (таблица 3.9-3.10). Фактическая кратность не опускалась ниже 90% полного номинального значения кратности.

Таблица 3.9– Основные параметры 3D систем наблюдений

№ пп	Наименование параметров	Значения
		Рудное месторождение
1	Полная кратность	до 64
2	Кратность в направлении ортогональном ЛП	8
3	Кратность по направлению линий приема (ЛП)	8
4	Размер бина (м х м)	10х10
5	По направлению линий приема (ЛП) (м)	10
6	По направлению ортогональному ЛП (м)	10
7	Количество возбуждений на 1 кв.км.	625
8	Площадь съемки (кв.км.)	3,52
9	Площадь полной кратности	1,57
10	Количество ПВ на площади съемки	2172
11	Количество ПП на площади съемки	2376
12	Шаг пунктов приема (ПП) на ЛП (м)	20
13	Шаг пунктов возбуждения (ПВ) на линии взрыва (ЛВ) (м)	20
14	Интервал между линиями приема (м)	80
15	Интервал между линиями возбуждения (м)	80
16	Количество линий приема (ЛП) в полосе	16
17	Количество пунктов приема (ПП) на линии приема	64
18	Количество активных каналов	1024
19	Максимальное значение минимальных удалений	99
20	Максимальное удаление “взрыв-прием”.	891
21	Количество каналов на длинной ветке годографа	32
22	Размеры полуосей единичной расстановки (м х м)	630х630
	В направлении линий приема X_r (м)	630
	В направлении ортогональном ЛП X_s (м)	630
	Соотношение полуосей шаблона $X_s : X_r$	1.00
23	Количество линий возбуждения на единичной расстановке	1
24	Количество пунктов возбуждения (ПВ) на линии взрыва (ЛВ)	4
25	Количество перемещаемых ЛП на полосе	4
26	Тип системы наблюдений (в направлении ЛП)	Симметричная
27	Характер расположения линий возбуждения	Крестовая ортогональная

Таблица 3.10 – Основные параметры регистрации сейсмических данных

№	Наименование параметров	Значение
Параметры группы приема		
1	Количество приборов в группе	6
2	Количество приборов в секции	3
3	Количество секций в группе	2
4	Тип геофонов	SG-10 10Hz (или аналогичные)
5	База группы приема	По результатам опытных работ
6	Расстояние между соседними приборами в гр.	По результатам опытных работ
7	Центр группы приема	На пикете приема
8	Полярность сейсмоприемников	SEG normal
Параметры регистрации		
9	Длина записи	2 секунды
10	Шаг дискретизации	0,001-0,002 с
11	Фильтр низких частот	Выключен
12	Фильтр высоких частот	0,8 частоты Найквиста
13	Коэффициент усиления	12 дБ
14	Коррелятор/сумматор	Корреляция до суммирования
15	Тип носителя	Накопитель записи RAID массив 2ТБ
16	Формат записи	SEGD 8058
Параметры возбуждения		
Взрывной источник:		
17	Глубина заряда	От 5 до 15м
18	Вес заряда	По результатам опытных работ
19	Электродетонатор	ЭДС-1
20	Взрывчатое вещество	Петроген или БШД

Распределение геофизических параметров 3D съемки, рассчитывался с учетом реального геологического строения и инфраструктуры участков с использованием программного обеспечения MESA Core (GMG). Для повышения качества полевых наблюдений проводились:

- оперативная корректировка реальных ПП и ПВ в зависимости от поверхностных условий;
- размещение выносов и компенсационных ПВ;
- расчет теоретической кратности и атрибутов бина;
- занесение теоретических, принятых разбитых, пробуренных и отработанных ПП и ПВ в полевую базу данных Field Geo Data Base и построение карт прогресса работ;
- регулярную подготовку и проверку окончательных SPS-файлов для камеральной обработки, и передачи в стационарный вычислительный центр на обработку.

3.3 Технология обработки полевых сейсмических данных в условиях сложнопостроенных сред рудных районов

Основное назначение цифровой обработки - преобразование первичных сейсмических данных к виду, обеспечивающему их эффективную интерпретацию. На различных этапах геологоразведочного процесса выделяются следующие задачи обработки [55-56]:

- обработка данных, зарегистрированных с помощью конкретных схем наблюдения 2D, 3D, криволинейные или широкие профили;
- выделение и прослеживание заданных, целевых горизонтов;
- достижение высокой разрешенности или повышение разрешенности по сравнению с ранее полученными результатами на данной площади;
- обеспечение точных структурных построений для целевых горизонтов;
- обработка и увязка данных, зарегистрированных методами ВСП, корреляционным методом преломленных волн (КМПВ), многоволновой сейсморазведки;
- дополнительное повышение точности, разрешенности и сохранения кинематических и динамических особенностей материала, что характерно при последовательном переходе от регионального этапа геологоразведочных работ к детализационному;
- дополнительное повышение точности и надежности структурных построений глубоко расположенных целевых горизонтов за счет максимального исключения влияния вышерасположенных геологических объектов;
- для задачи мониторинга месторождения при повторном цикле исследований требование проведения обработки с жестким сохранением графа, который использовался в начале цикла мониторинга, а при необходимости включения в граф новых процедур, требование переобработки всего объема данных (новых и старых).

Обработка данных по площади Пектас, Донызауз, Западная Сарыоба выполнена на обрабатывающем комплексе системы SeisSpace-5000 (Halliburton).

Граф и параметры обработки для каждого участка выбирались и оптимизировались из существующего на сегодняшний день широкого набора процедур на основании обработки материалов, проведенной на тестовых данных каждого участка. Многообразие применяемых в ходе обработки математических процедур позволили подобрать качественный и оптимальный граф обработки сейсмических данных, включающий следующие основные этапы обработки данных МОГТ-3D для исследуемых опытных участков (Пектас, Донызауз, Западная Сарыоба):

- Ввод и переформатирование полевых данных в систему обработки
- Присвоение геометрии наблюдений заголовкам трасс. В заголовки вводится информация об X, Y координатах, пунктах взрыва/приема, абсолютных отметках рельефа Z, априорных статических поправках, описание расстановки, распределение удалений и др.
- Контроль качества геометрии.

- Редактирование сейсмограмм/трасс.
- Подавление (вычитание) среднескоростных и/или низкоскоростных волн-помех.
- Регулировка амплитуд, компенсация затухания, связанного со сферическим расхождением упругих волн.
- Поверхностно-согласованная деконволюция по сейсмограммам.
- Полосовая фильтрация.
- Сортировка по ОГТ
- Ввод статических и кинематических поправок, используя априорный скоростной закон.
- Анализ скоростей по регулярной сети.
- Получение куба скоростей суммирования
- 3D коррекция статических поправок.
- Ввод скорректированных статических и кинематических поправок.
- Получение суммарного куба.
- Вывод контрольных сечений.
- Повторение цикла коррекции кинематических и статических поправок.
- Подавление кратных волн.
- Контроль качества подавления кратных волн
- Коррекция остаточных фазовых сдвигов и получение окончательного суммарного куба.
- Получение куба скоростей миграции. Контроль качества.
- 3D миграция до суммирования и получение мигрированного куба данных.
- Деконволюция (нульфазовая) по разрезу.
- Полосовая фильтрация.
- Подавление нерегулярных помех по разрезу в 3D варианте
- (FXY-деконволюция).
- Окончательный вывод контрольных сечений.

С целью оперативного контроля качества и оценки параметров регистрируемого материала, в полевой партии предусматривалась предварительная обработка сейсмических данных на полевом вычислительном центре (ВЦ).

Состав работ в полевом ВЦ:

1. Обработка данных МСК и выдача результатов, включающая:
 - формирование монтажей сейсмограмм МСК из отдельно зарегистрированных трассах на скважине,
 - выделение на сейсмограммах МСК пластов с разной пластовой скоростью и расчете этих скоростей,
 - расчет статических поправок в точках бурения скважин МСК,
 - построение геологических колонок по стволам скважин МСК,
 - расчет статических поправок по ПП и ПВ,
 - определение и выделение интервалов по стволу скважины, где получен максимально широкий спектр упругих колебаний, для чего по каждому

восходящему импульсу сейсмограммы МСК рассчитывались амплитудные и фазовые спектры,

- построение карты оптимальных глубин взрывных скважин;

2. Обработка материалов опытных работ и выдача оптимальных условий возбуждения для решения задачи картирования пластов медистых песчанников мощностью от 1,5 до 4,5м;

3. Контроль качества производственных сейсмограмм.

- Дальнейшая обработка полученных сейсмограмм проводилась в стационарном вычислительном центре и была направлена на выполнение следующих основных требований к обработке трехмерных данных:

- сохранение относительных амплитуд;
- сохранение высокочастотной составляющей полезного сигнала;
- повышение отношения «сигнал/помеха» с применением необходимых итераций подавления шумов;
- тщательный анализ скоростей суммирования;
- применение коррекции статических поправок;
- применение алгоритмов сейсмической миграции до суммирования;
- В итоге окончательной обработки сейсмических данных получены:
- окончательные временные разрезы общей срединной точки ОСТ;
- временные или глубинные разрезы после миграции;
- материалы тестирования по выбору параметров фильтрации, регулировки амплитуд и других процедур;
- вертикальные и горизонтальные спектры скоростей и разрезы скоростного сканирования в отдельных точках;
- скорости суммирования и миграции (для 3D данных - скоростной куб);
- значения и поля скорректированных статических поправок.

Для повышения информативности сейсмических материалов дополнительно использованы специализированные программы интерпретационного анализа сейсмических трасс, основанные на совместном использовании акустических моделей среды и динамических характеристик отраженных волн. К последним относится определение и коррекция формы импульса, AVO - анализ, сейсмическая инверсия, а также определение и использование сейсмических атрибутов, сейсмическое моделирование и другие. Для применения специализированных программ необходимы сейсмические материалы с высоким соотношением сигнал-помеха и отсутствием искусственных искажений сигнала вдоль отражающих границ. С этой целью при обработке полевых данных, предшествующей интерпретации, использованы специализированные режимы и процедуры, обеспечивающие устранение искажений волнового поля и ослабление волновых помех без существенного изменения соотношений динамических параметров волн, связанных с целевым интервалом исследований.

Может потребоваться дополнительная обработка сейсмических данных для улучшения эффективности интерпретации сейсмических материалов на

рудных объектах (медистых песчаников), основная обработка которых была осуществлена с использованием стандартных процедур, применяемых для изучения нефтяного разреза. Применение этих процедур обосновано тем, что изучаемые целевые горизонты представлены осадочными плоско-залегающими стратиграфическими комплексами, а рудные тела – согласно-залегающими субпараллельными линзовидными пластами.

Учитывая специфику геологического строения жезказганского рудного района, в рамках поставленных геологических задач проведены дополнительные процедуры стандартной обработки, включающие:

- повышение разрешенности волн и ослабление волновых помех в целевом интервале исследований за счет дополнительной фильтрации, деконволюции и иных процедур;
- устранение искажений волнового поля, обусловленных неучтенными при обычной обработке длиннопериодными статическими поправками и т.п.

На этапе анализа исходных данных, поступившие на обработку полевых сейсмических данных были преобразованы из формата SEG-D-8058 во внутренний формат системы SeisSpace и по SPS файлам выполнено создание базы данных проекта, далее заголовкам трасс была присвоена геометрия.

Полученный исходный материал был осложнён различными помехами, особую интенсивность имели низкочастотные (10-20 Гц.) помехи в ближней от пункта взрыва зоне, вследствие чего на всех сейсмограммах отмечалась амплитудная перегрузка в зоне ближних к пункту взрыва каналов. Почти на всех сейсмограммах наблюдался цуг низкоскоростных волн-помех (звуковая волна и волна Релея). На рисунке – 3.17-3.20 представлены примеры сейсмограмм с характерными помехами, и отказавшими/забракованными каналами.

В ходе поступления полевого материала на обработку выполнялся контроль качества входных данных. Строились карты и гистограммы распределения отдельных параметров (глубина скважины, т-вертикальные, рельеф, статические поправки из SPS-файлов) по площади, визуализировались сейсмограммы и служебные каналы.

На рисунке 3.17 приведен пример контроля качества по глубине скважин и распределению кратности ОГТ по участку 3. Сарыоба.

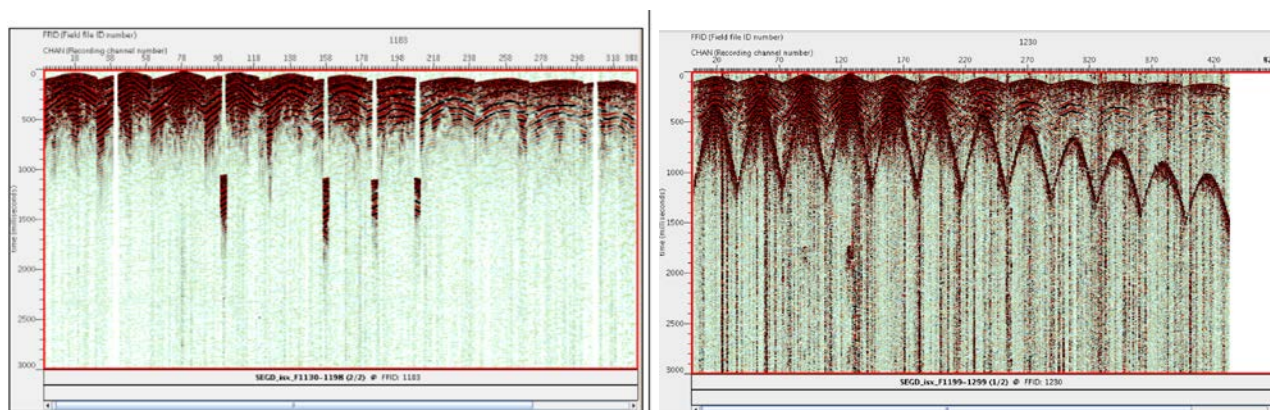


Рисунок 3.17– Примеры сейсмограмм. Участок Донызауз

В процессе обработки материалов было выполнено тестирование процедур и их параметров. Для выбора графа стандартной обработки тестирование проводилось по сейсмограммам и контролировалось по суммарным разрезам.

Глубина скважин (слева). Кратность ОГТ (справа).

Восстановление амплитуд за сферическое расхождение

Восстановление амплитуд тестировалось с использованием формул, описанных двумя различными законами:

а) $A=A(i)*T^{N(i)}$, где A - амплитуда для дискрета “i” после восстановления, $T(i)$ - время дискрета “i”, N - показатель степени функции усиления.

Для компенсации затухания амплитуды сейсмической волны, которое происходит при распространении её в среде, на участках опробовались значения $N=1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0$. На Рисунке 3.18-3.20 показаны результаты тестирования.

б) $A=A(i)*T(i)*V^2$, где A - амплитуда для дискрета, “i” после восстановления, $T(i)$ - время дискрета “i”, N - показатель степени функции усиления, V - скорость суммирования на времени $T(i)$.

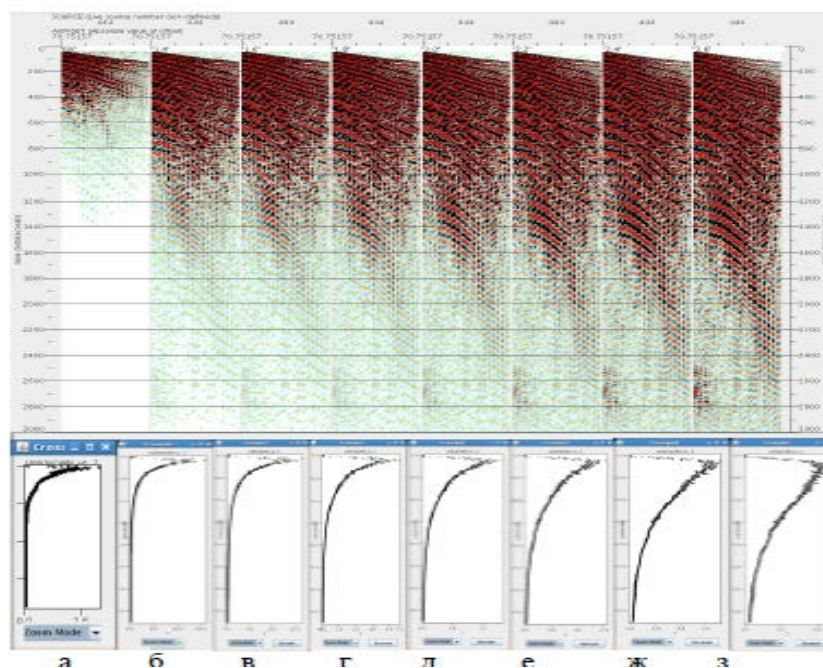


Рисунок 3.18 – Участок Западная Сарыоба. Тесты компенсации амплитуд за сферическое расхождение $T(i)^N$ и соответствующие графики зависимости амплитуды сигнала от времени регистрации: а - до компенсации; б - функция $N=1.4$; в – $N=1.6$; г - функция $N=1.8$; д - функция $N=2.0$; е - функция $N=2.2$; ж - функция $N=2.4$; з - функция $N=2.6$

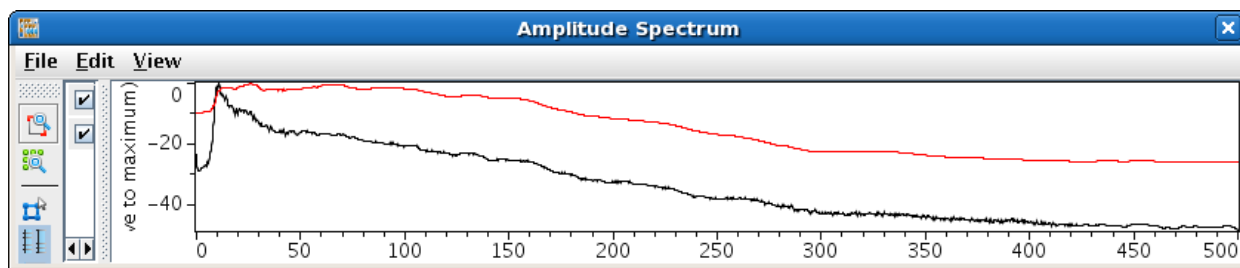


Рисунок 3.19 – Частотные спектры до и после компенсации сферического расхождения. Участок 3. Сарыюба

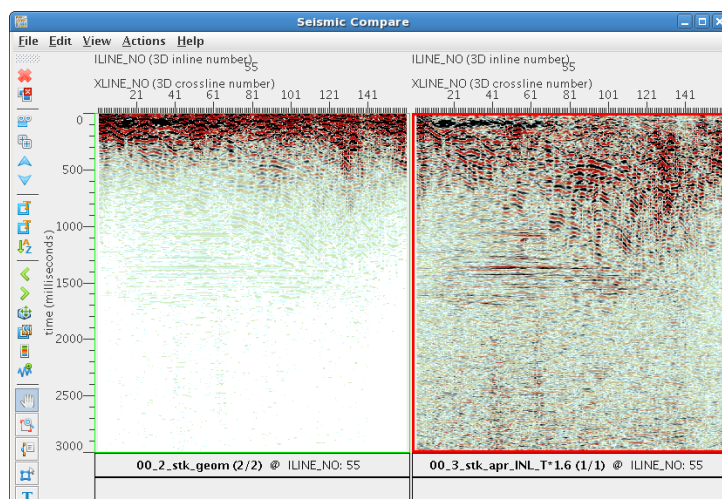


Рисунок 3.20 – Компенсация сферического расхождения. Пример разреза до и после компенсации амплитуд.

На основании анализа результатов тестирования и графиков зависимости амплитуды сигнала от времени была выбрана функция усиления, зависящая от скоростей суммирования.

Полевой материал был осложнен присутствием сейсмических волн-помех различной природы, поэтому в ходе обработки тестировались различные методы подавления таких помех.

Подавление поверхностных волн-помех методом 3D FKxKy фильтрации позволяет задать 3D фильтр по кажущейся скорости. Наиболее распространенное применение этого модуля – это подавление поверхностной волны-помехи в объеме. FKxKy фильтрация является развитием общеизвестного процесса 2D FK фильтрации. Плоское событие (отражение) в ТХУ области преобразуется в точку в FKxKy области.

Упругие волны с разными кажущимися скоростями и/или азимутами можно легко разделить в FKxKy области. Это разделение позволяет эффективно обнулить (отфильтровать) нежелательную энергию, которая теряет свою интенсивность после обнуления в FKxKy области и обратного преобразования в ТХУ область.

Для того чтобы избежать краевые эффекты Гиббса (искусственные амплитуды после обратного преобразования), применяется тейперинг (конусовидный переход от 0 до 100% амплитуды).

Для подавления энергии помех, вызванных поверхностной волной, по исходным данным тестировалось применение процедуры 3D-FKxKy-фильтрации в режиме режекции [50-52]. Пример применения 3D-FKxKy-фильтрации показан на рисунке 3.21.

Модуль «Подавление шума методом TFD» фильтрует изолированный шум на отдельных трассах, замещая его амплитудами с соседних трасс. Каждая подборка последовательно подается в счет модуля, трансформируется в аналитическую область Время-Частота (Т-F область) с помощью классического преобразования БПФ или stft [Short Time Fourier Transform]. Преобразование выполняется отдельно для амплитуд и фаз каждой выбранной полосы частот. После чего для каждой подборки вычисляется медиана амплитудного спектра по каждой из выбранных полос частот. Медиана, умноженная на коэффициент уравнивания, становится калибровочной функцией для данной подборки.

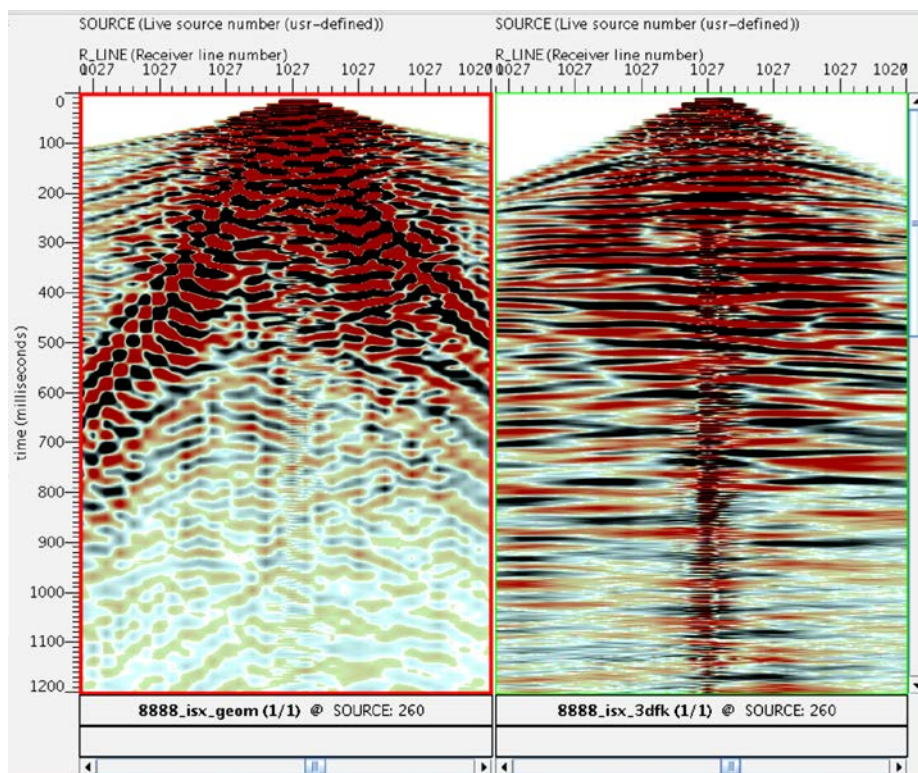


Рисунок 3.21 – Пример фрагмента сейсмограммы после применения 3D-FKxKy-фильтрации. Участок Донызауз

Каждый дискретный отсчет в каждой из заданных полос частот сравнивается с соответствующим калибровочным значением. Если амплитуда данного дискретного отсчета превышает калибровочное значение, то она замещается медианным значением с соседних отсчетов, определяемых параметром Апертуры трассы. Если же амплитуда анализируемого отсчета

напротив слишком мала, то данные подлежат балансировке, т.е. многие амплитуды будут замещены медианными значениями. Если амплитуда во много раз больше калибровочного (например, аномальные пики), то они должны эффективно подавляться подбором соответствующего параметра Threshold Multiplier. После этого выполняется обратное БПФ и данные записываются в выходные наборы.

Для подавления энергии помех, вызванных поверхностной волной, по исходным данным тестировалось применение адаптивной обработки соотношения сигнала/помеха.

Адаптивная обработка соотношения Сигнал/Помеха - метод подавления помех, в котором шумящие участки сейсмограмм выборочно замещаются предварительно обработанной версией того же участка данных. Таким образом, шум подавляется адаптивно, и только в тех местах, где это требуется, не затрагивая полезные данные.

Подход адаптивной обработки сигнала подразумевает метод «Обработки данных без их трансформации», в котором избегаются нежелательные преобразования в 3D области, с целью сохранить амплитудные характеристики зарегистрированных данных. Метод адаптивной обработки основан на принципе ограниченности шума во времени, частоте, пространстве, либо комбинации всех трех факторов.

В ходе выполнения процедур по подавлению шума выполнялся контроль качества по сейсмограммам и временным разрезам. На рисунке 3.22 показано сравнение априорного разреза до и после применения итеративного подавления шума и сравнение спектров до и после подавления помех. На каждом этапе выполнялся контроль сохранения частотного состава данных.

Для получения максимальной вертикальной разрешенности сигнала и сохранения спектра в диапазоне полезных частот тестировались различные алгоритмы деконволюции: одноканальная деконволюция и поверхностно-согласованная деконволюция.

При тестировании параметров деконволюции были опробованы:

- величина и количество окон настройки оператора деконволюции;
- длина оператора;
- уровень добавляемого белого шума;
- интервал предсказания.

После деконволюции было выполнено дополнительное подавление шума (рисунок 3.23).

Далее выполнялась поверхностно-согласованная коррекция амплитуд (SCAC). Эта процедура позволяет компенсировать вариации амплитуд сейсмических трасс, связанные с поверхностными неоднородностями и затуханием амплитуд с удалением от пункта возбуждения.

Расчеты коэффициентов делались в трех областях – ПВ, ПП и удалений. Можно отметить положительный эффект от коррекции амплитуд, при этом относительные амплитуды в сейсмическом волновом поле не затрагиваются (рисунок 3.24-3.26).

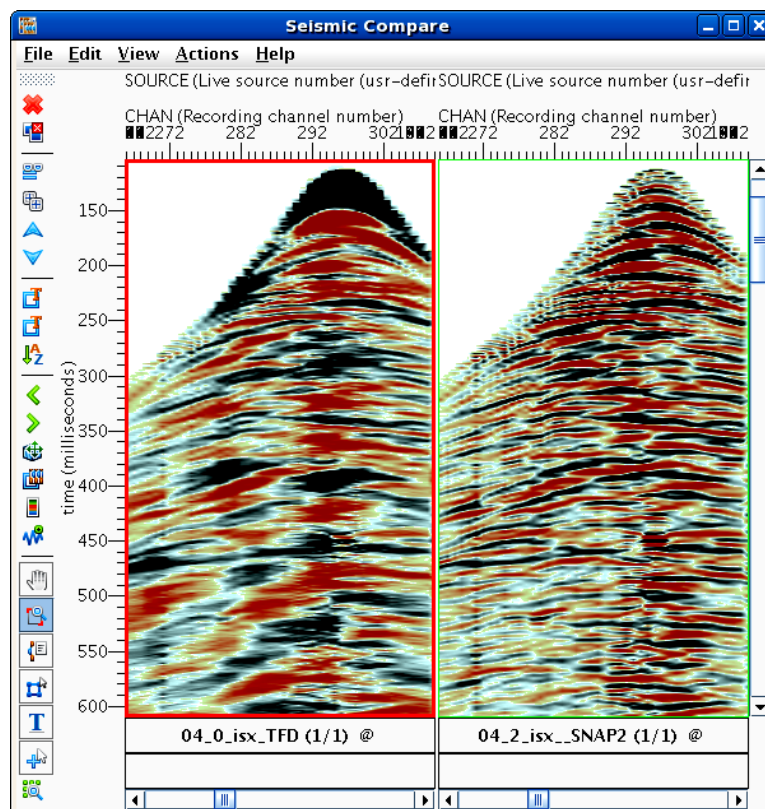


Рисунок 3.22 – Подавление помех методом адаптивной обработки сигнала. Участок 3.Сарыюба. Фрагмент сейсмограммы до (слева) и после подавления помех (справа)

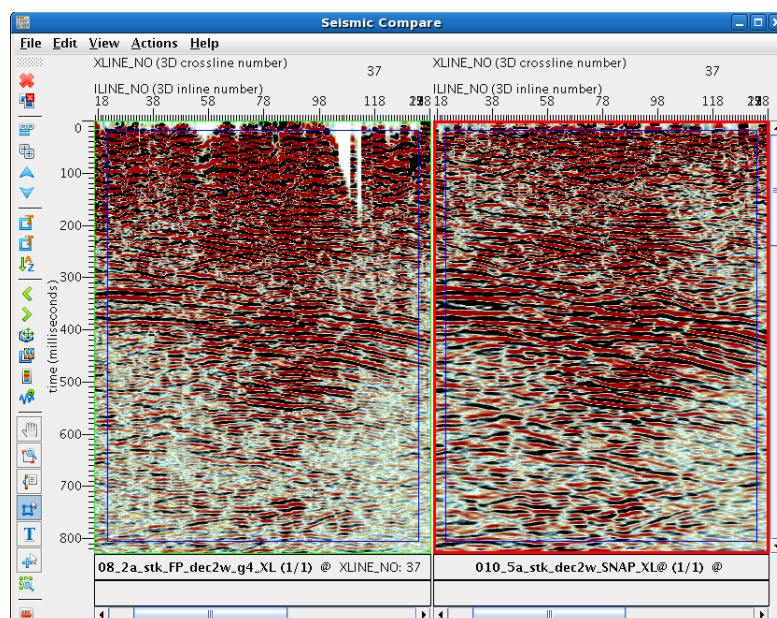


Рисунок 3.23 – Результат подавления помех. Участок Западная Сарыюба. Фрагмент временного разреза: слева – до дополнительного подавления, справа - после подавления шума

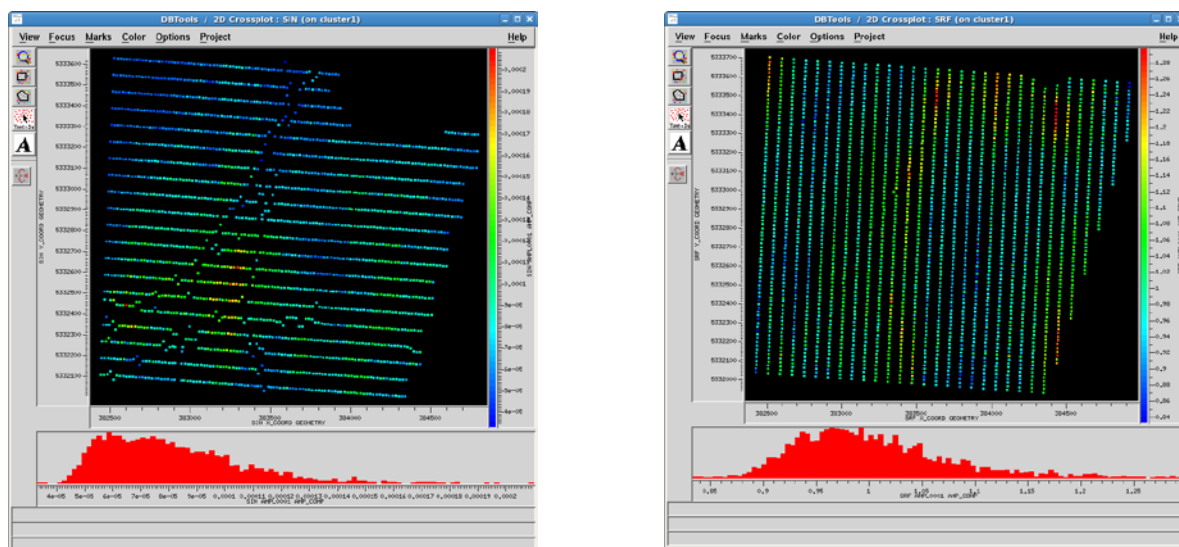


Рисунок 3.24 – Коэффициенты поверхностно-согласованных изменений амплитуд и их гистограммы для ПВ (слева) и ПП (справа). Участок 3. Сарыоба

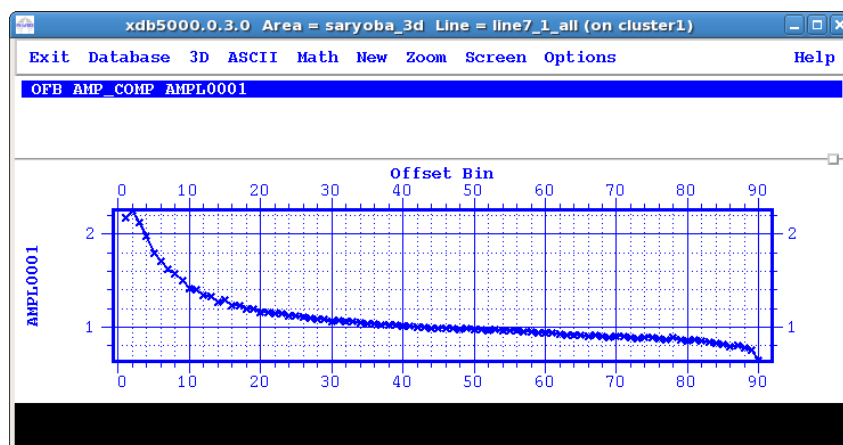


Рисунок 3.25 – Коэффициенты поверхностно-согласованных изменений амплитуд от удалений ПВ-ПП. Участок 3. Сарыоба

После поверхностно-согласованной коррекции амплитуд были сделаны анализ скоростей и коррекция статических поправок. Первая итерация анализа скоростей проведена по равномерной сети с шагом 240x240 м и автоматической 3D коррекцией статических поправок (рисунок 3.27).

В ходе обработки были выполнены вторая итерация анализа скоростей по сгущенной сети 120x120 м. и ввода кинематических поправок, а также вторая итерация коррекции статических поправок. Данные процедуры являются обычной практикой и позволяют улучшить прослеживаемость осей синфазности отражающих сейсмических границ. Размер сети для анализа скоростей на практике определяется параметрами системы наблюдения и размером площади исследований.

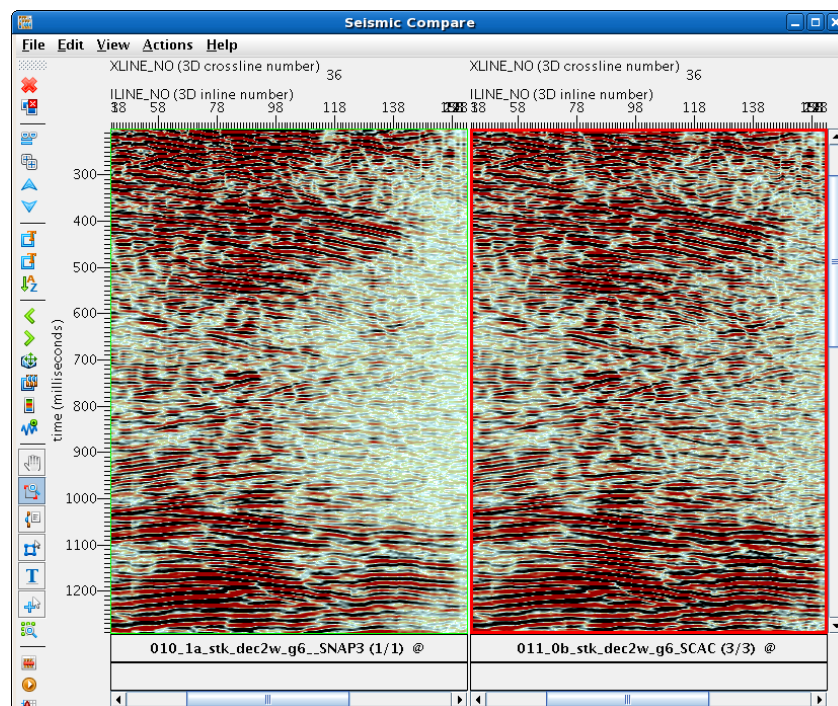


Рисунок 3.26 – Фрагмент разреза до (слева) и после SCAC (справа) Участок 3. Сарыоба

Сравнение разрезов до и после второй итерации анализа скоростей и коррекции статических поправок. Здесь также наблюдается улучшение коррелируемости отражающих границ (рисунок 3.28).

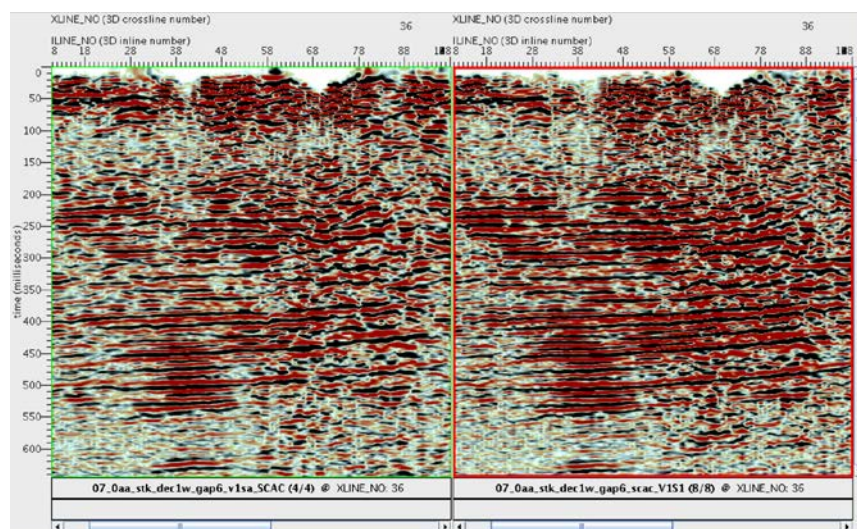


Рисунок 3.27– Участок Пектас.
Коррекция статических поправок (1-я итерация). Фрагмент временного разреза:
слева – до коррекции статических поправок, справа – после.

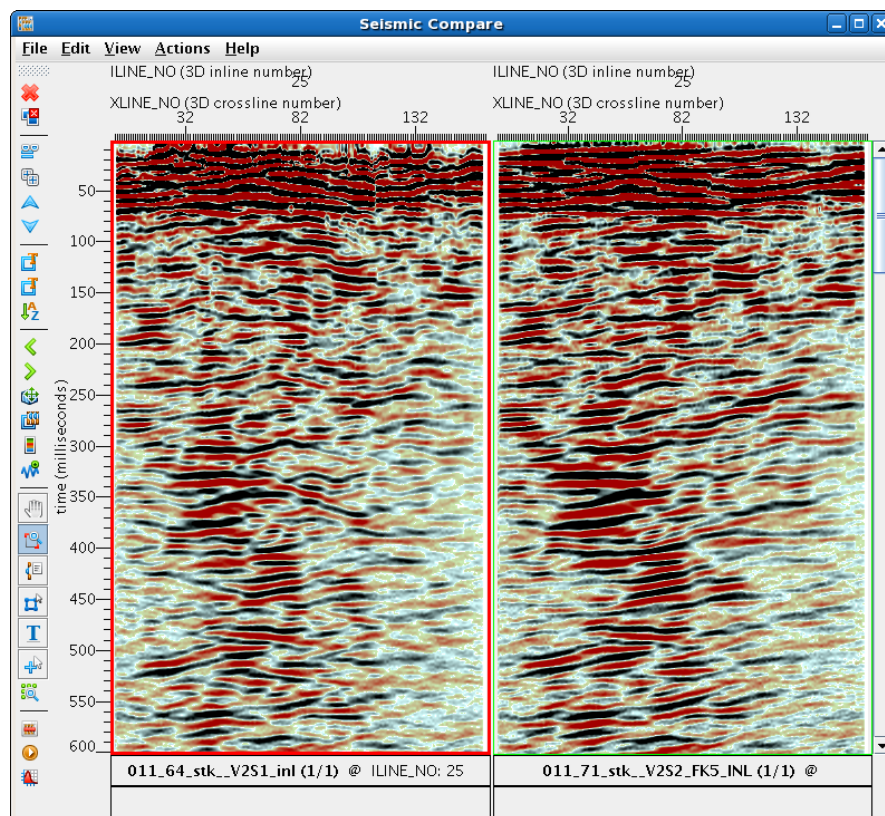


Рисунок 3.28 – Коррекция статических поправок (итерация №2).

Слева – разрез до коррекции, справа – после коррекции. Фрагмент разреза по линии INLINE 25 из сейсмического куба. Участок 3. Сарыоба

Главной целью вышеописанных процедур обработки является получение сейсмограмм с хорошим соотношением сигнал/помеха и сохранением относительных амплитуд. Такие данные позволяют выполнить качественные миграционные преобразования с целью учета сейсмического сноса. Для улучшения прослеживаемости верхней части разреза, перед выполнением временной миграции до суммирования (ВМДС), был опробован и применен метод подавления аномальных амплитуд, вызванных геометрией наземной расстановки «взрыв-прибор» (т.н. эффект «footprint»). Метод заключается в автоматическом расчете и применении амплитудных коэффициентов к трассам, имеющим повышенные значения энергии в связи с их малыми удалениями от источника возбуждения. Метод хорошо зарекомендовал себя в случаях 3D-расстановок с параллельным и ортогональным взаиморасположением линий взрыва и линий приема [68].

На рисунке 3.29 показаны результаты применения данной процедуры на разных временах отражений участка Пектас.

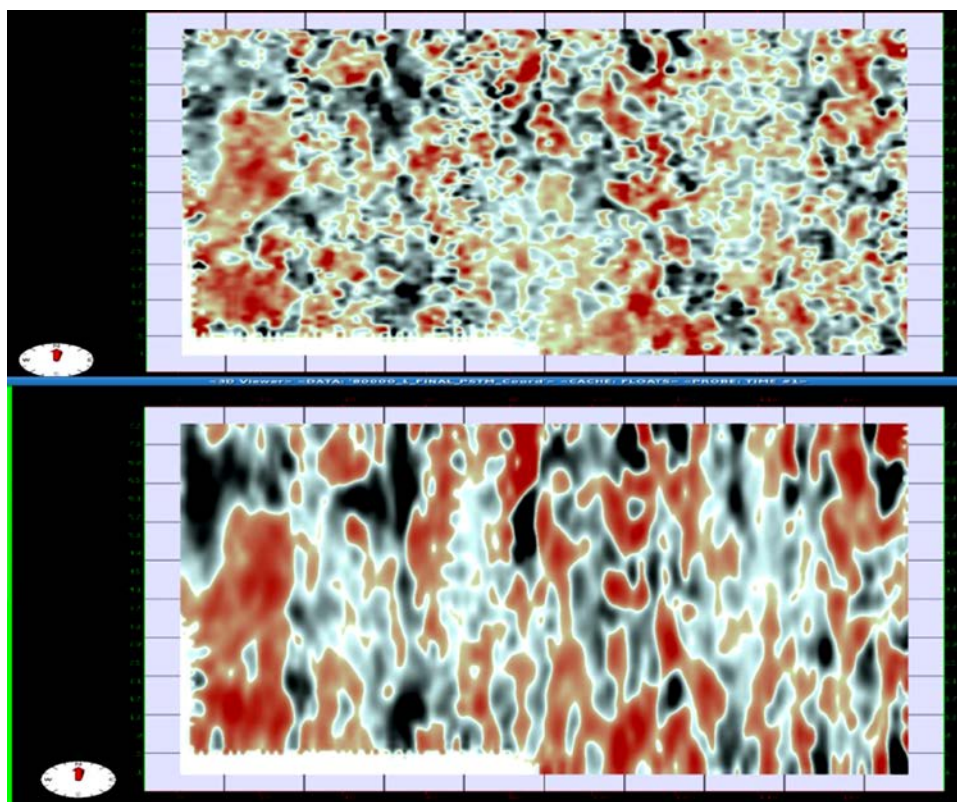


Рисунок 3.29 – Горизонтальный срез куба на времени 50 мс до (сверху) и после (снизу) удаления эффекта наземной расстановки. Участок Пектас.

После тестирования удаления эффекта наземной расстановки и сопоставления результатов миграции без применения этой процедуры и вместе с ней, отмечается повышение соотношения сигнал/помеха в верхней части разреза, прослеживаются субмеридионально вытянутые амплитудные закономерности, соответствующие геологическому плану. Поэтому было принято решение включить данную процедуру в граф обработки.

В целом по участку можно отметить хорошую сохранность динамических особенностей и сохранность амплитудного спектра. Тем не менее, самая верхняя часть разреза (0-200 мс) не расчлняется однозначно, что может быть вызвано рядом факторов, включая особенности полевой методики.

Из таких факторов можно выделить несоответствие линейных размеров участка выбранной методике наблюдений, а также необходимость уточнения самой методики (размеров единичной расстановки, распределение удалений в бине и т.д.). При этом необходимо отметить, что на нижележащих интервалах разреза (ниже времени 200-250 мс) четко прослеживаются сейсмические амплитудные неоднородности, контролируемые изменением литологии разреза. Такие неоднородности имеют суб-меридиональное направление, аналогичное наблюдаемому на геологической карте.

Полученные горизонтальные срезы куба временной миграции до суммирования с разных интервалов времени (рисунок 3.30) показали, что данные сейсмического куба очень хорошо коррелируются с данными геологической карты.

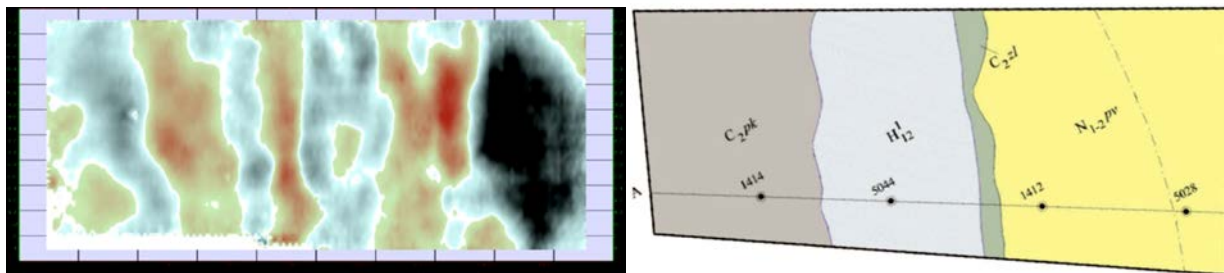


Рисунок 3.30 – Участок Пектас. Сравнение сейсмических и геологических данных. Слева срез сейсмического куба на времени 400 мс, справа – геологическая карта по Зайцеву (1975 г.)

С целью учета сейсмического сноса и уточнения структурного строения площади работ проводилось миграционное преобразование полученных результатов по исходным данным. Применялась временная миграция до суммирования по алгоритму Кирхгоффа. Тестировались такие параметры миграции, как размер пространственной базы для миграционных расчетов (апертуры) и подбор скоростной модели для миграции на основе окончательных скоростей суммирования (Рисунок 3.31-3.32) представлены фрагменты временных разрезов суммы и миграции с разным процентом скоростей.

В качестве дополнительного и альтернативного метода для отображения сейсмических границ в сложных геологических районах был опробован метод глубинной миграции до суммирования (ГМДС). Была подобрана оптимальная глубинно-скоростная модель и применялся размер апертуры равный максимальным удалениям «взрыв-прибор».

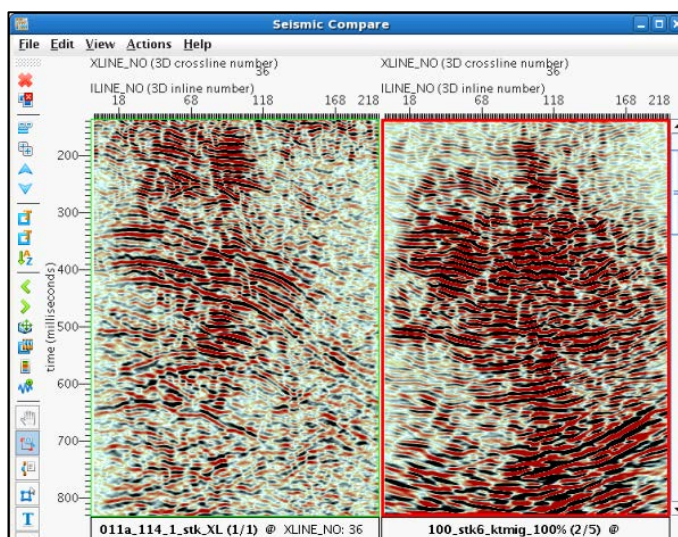


Рисунок 3.31 – Миграционное преобразование. Участок 3. Сарыюба
Пример разреза до (слева) и после (справа) временной 3D-миграции до суммирования.

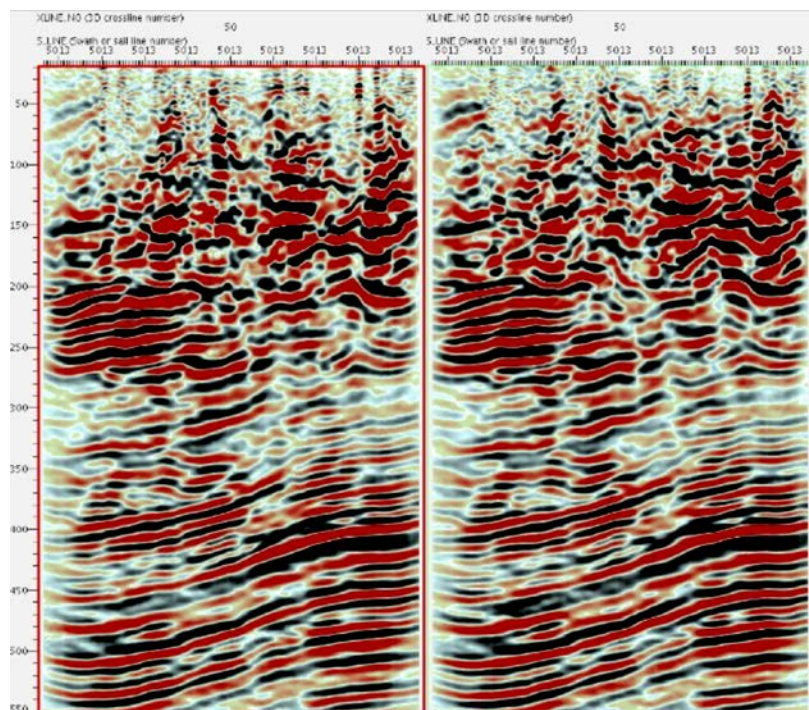


Рисунок 3.32 – Миграционное преобразование по предварительной (слева) и окончательной (справа) скоростной модели. Участок 3. Сарыоба.

Вследствие неоднородности разреза, при подборе скоростной модели учитывался градиент изменения скорости с глубиной:

$$V(z)=V_0+k*z , \quad (2)$$

где $V(z)$ – скорость на глубине z ,

V_0 – скорость на поверхности и k – градиент.

Для расчета градиентов обычно используется трассирование сейсмических лучей с учетом остаточных поправок глубин, вводимых в сейсмограммы миграции (RMO).

В качестве основного и надежного метода для сред с резким латеральным изменением скорости в среде обычно используется алгоритм Кирхгоффа для решения скалярного полноволнового уравнения:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2(x,y,z)} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} , \quad (3)$$

где $P(x,y,z,t)$ – поле упругих волн в трехмерной координатной сети, включающей время t и скоростную модель $v(x,y,z)$.

Для ГМДС был выбран следующий граф (последовательность) обработки в глубинной области (таблица 3.11):

Таблица 3.11 – Граф обработки в глубинной области

1. Подготовка Глубинно-скоростной Модели (ГСМ)
а) предварительное сглаживание модели скоростей суммирования ОГТ, полученной в ходе временной обработки
б) конвертирование куба предварительной модели скоростей в интервальные скорости по времени (VIT)
в) пересчет интервальных скоростей из временного масштаба (VIT) в глубинный (VID)
2. Подготовка сейсмограмм для расчета ГСМ: сортировка по удалениям и Inline/Xline
3. Расчет таблиц теоретических времен пробега (таблиц ТТ):
а) инициализация (выбор кол-ва таблиц ТТ)
б) расчет таблиц ТТ
в) контроль качества рассчитанных таблиц ТТ
4. Глубинная миграция до суммирования (1-ая итерация)
Анализ скоростей в глубинной области – выбор остаточных поправок (RMO)
Обновление начальной скоростной модели методом 3D-томографии с учетом RMO (3-4 итерации)
Глубинная миграция до суммирования (2-ая итерация)
Анализ скоростей в глубинной области – выбор остаточных поправок (RMO)
Окончательная ГМДС и суммирование.

В ходе итерационного уточнения модели выполнялся анализ остаточных кинематических поправок и учет этих поправок в модуле трехмерного томографического анализа поля скоростей. Процедура автоматизирована и требует пересчета таблиц ТТ и задание параметра томографических итераций для обновления модели. На практике количество итераций при вычислениях томографической оптимизации функции потерь должно быть достаточным для хорошей сходимости градиентных коэффициентов глубинно-скоростной модели.

Шаг пересчета миграционного преобразования, в силу малой глубины залегания и небольшой мощности объектов исследования должен обеспечить максимальную разрешенность сейсмического волнового поля, поэтому он был выбран равным 1 м. При этом преобладающая частота в зоне интереса лежит в диапазоне 100-110 Гц, при значениях скоростей ОГТ, равным 3000-4000 м/с. Это позволяет оценить вертикальную разрешенность сейсморазведки при данной методике в 10-12 м. Параметр максимальной глубины миграционного преобразования был установлен равным 2000 м с целью обеспечения достаточного запаса для сейсмического сноса (при залегании целевых объектов на глубинах до 800-1000 м).

При расчетах ГМДС использовалась миграционная апертура, равная максимальному удалению 895 м., полученному при регистрации данных.

Таким образом, подробный анализ методов и технологических приемов полевых 3D сейсмических работ на опытно-экспериментальных участках Жезказганского рудного района показал, что применение современных регистрирующих и обрабатывающих комплексов сейсмических данных, получение на этой основе материалов высокого качества, обеспечивают построение сейсмических изображений высокого разрешения. Построение сейсмической модели с выделением зон изменения упругих свойств (амплитуды, частоты и др.), даст возможность перейти к новому уровню решаемых задач - обнаружению и объемному изучению либо факторов непосредственного рудоконтроля, либо самих рудных залежей на практически освоенных глубинах добычи и разведки.

3.4 Анализ волнового поля и методика комплексной интерпретации сейсмогеологических данных для прогнозирования и выделения рудоносных горизонтов и рудных тел

Интерпретация сейсмических данных заключается в определении, с учетом априорной информации и в соответствии с целевым заданием, модели геологической среды, согласующейся с результатами обработки. Основным содержанием процесса интерпретации являются вычислительные, логические и эвристические операции с интерпретируемым волновым полем и его атрибутами, а также согласование сейсмической и априорной информации [8,27,69,74,76,85].

Основными этапами интерпретации сейсмических данных являются:

- Корреляция (прослеживание) основных отражающих горизонтов.
- Трассирование разрывных нарушений (разломов и трещин).
- Построение карт изохрон и структурных карт по выделенным горизонтам.
- Расчет динамических атрибутов (кубы когерентности, среднеквадратических амплитуд, инверсии и др.) вдоль выделенных горизонтов. Динамические атрибуты позволяют сделать выводы о литологии и фациальных изменениях в зоне интереса.
- В процессе интерпретации сочетают два взаимообусловленных подхода:
 - геофизический, заключающийся в определении по сейсмическим данным структурных моделей и сейсмогеологических параметров среды;
 - геологический, заключающийся в прогнозе по сейсмическим материалам литолого-петрофизических, генетических и иных геологических характеристик среды.

Процедура интерпретации включает в себя также отображение результатов и оценку их надежности и точности.

Анализ волновых полей и корреляция целевых горизонтов.

Обработка сейсмических данных МОВ ориентирована на приведение сейсмических трасс к нуль-фазовому импульсу, который оптимален с точки зрения разрешенности и стратиграфической привязки отражений. На этапе

интерпретации необходимо дополнительно проконтролировать и откорректировать форму импульса, привлекая для этого данные ВСП и/или данные математического сейсмо моделирования. Определение формы импульса с использованием данных ВСП выполняется по результатам взаимной корреляции между наземной сейсмической трассой и трассой однократных отражений ВСП, приведенной к нуль-фазовому сигналу известной полярности и с идентичным наземной трассе частотным диапазоном.

Определение формы импульса с использованием моделирования выполняется для трасс, приуроченных к скважинам, где имеется кондиционная акустическая модель, построенная в достаточно протяженном интервале глубин, в несколько раз превышающем преобладающую длину сейсмических волн. Форму импульса определяют на основе расчета оператора согласующего фильтра и/или путем сопоставления реальных трасс с синтетическими, рассчитанными с импульсами, амплитудный спектр которых найден по реальным трассам, а фазовый спектр задается.

Полярность нуль-фазового импульса считается положительной, если его центральный пик представляет собой максимум, если же центральный пик представляет собой минимум, полярность импульса считается отрицательной. В системе полярности SEG, которая использовалась при данных исследованиях, отрицательный нуль-фазовый импульс соответствует волне, образующейся при отражении от границы, на которой акустический импеданс возрастает. Если в результате определения формы импульса установлено, что его фазовый спектр не является нулевым, проводят фазовую коррекцию сейсмических трасс. Одним из критериев правильности коррекции является улучшение разрешенности отражений в зонах интерференции.

Одним из эффективных способов выделения полезного сейсмического сигнала является сейсмическая инверсия, которая заключается в преобразовании мигрированных трасс отраженных волн в трассы акустических импедансов геологической среды [56]. Для выполнения инверсии необходимы априорные данные о модели акустических импедансов пород, которые должны быть получены по материалам акустического и плотностного каротажей. Допускается прогноз значений плотности по данным о величинах скорости и литологии. Инвертируемые трассы должны соответствовать нуль-фазовому импульсу, полярность которого должна быть установлена. При пересчете значений акустических импедансов в значения скорости результаты инверсии представляют не только во временном, но и в глубинном масштабе.

На основе сейсмических данных об акустических импедансах осуществляют прогноз других петрофизических параметров:

- данные об импедансах используются в качестве основы для интерполяции петрофизических параметров между скважинами;
- значения импедансов пересчитывают в значения псевдо-пористости или иных петрофизических параметров с использованием корреляционных связей, обоснованных материалами бурения.

В процессе интерпретации анализ волновых полей начинается с увязки отраженных волн с данными по стратиграфии

При изучении осадочных толщ отражения не во всех случаях следует воспринимать, как геологические реперы, отображающие поведение конкретных стратиграфических границ. Для средних условий проведения сейсморазведки длина сейсмического импульса составляет несколько десятков метров, и отраженная волна отображает, в усредненном виде, рельеф и свойства всей совокупности геологических напластований, приуроченных к этому интервалу.

Задачей увязки является установление:

- значений времен, соответствующих стратиграфическим границам и пластам изучаемой среды;
- интервалов глубин и относящихся к ним геологических границ, отвечающих за формирование определенных отраженных волн.

Увязка осуществляется на базе анализа материалов ВСП (сейсмокаротажа), математического сейсмомоделирования и сеймостратиграфического анализа волнового поля. При совместном использовании эти материалы приводят к единым уровням начала отсчета глубин и времен и к одинаковым импульсам, желательно нульфазовым.

Времена t_0 , соответствующие изучаемым геологическим границам и пластам, определяют по годографам первых вступлений сейсмокаротажа (ВСП) и/или данным математического сейсмомоделирования. При наличии геологических границ, четко проявляющихся в волновом поле (границы угловых несогласий, кровля рудных залежей и т.п.), эти данные используют для оценки соответствующих им времен.

Интервалы разреза, формирующие конкретные отражения, определяют:

- по данным ВСП - путем трассирования волн от образования волны до поверхности зоны. При этом необходимо обеспечить сходство волновых полей ВСП и наземных наблюдений;
- по данным математического сейсмомоделирования - путем сопоставления отражений на синтетических трассах со скважинными данными. При этом необходимо обеспечить сходство синтетических и реальных трасс.

Результатами стратиграфической привязки обосновывают выбор фаз отраженных волн для корреляции и построения границ и интервалов волнового поля для определения атрибутов.

Корреляция и определение атрибутов волн. Корреляция выполняется в автоматическом, ручном или смешанном (полуавтоматическом) режимах по экстремумам или нуль-пересечениям колебаний на основании совокупности признаков:

- повторяемости формы и видимого периода;
- плавного изменения времен прихода и амплитуды волны;
- закономерного поведения коррелируемой оси синфазности по отношению к соседним осям (рисунок 3.33).

Основой геологического анализа является расчленение волнового поля на комплексы, отличающиеся структурой (рисунком) волнового поля. Границы сейсмокомплексов обычно соответствуют стратиграфическим границам, к которым приурочены региональные изменения режима осадконакопления. Внутри сейсмокомплексов выделяют отдельные сейсмофазии – зоны однотипного облика волнового поля. По закономерностям латеральных и вертикальных смен сейсмофазий прогнозируют, в совокупности с данными других процедур интерпретации и данными бурения, историко-геологическую модель формирования изучаемого комплекса и его литофациальную зональность. Важнейшей процедурой является установление на разбуренных участках соответствия между сейсмофазиями и литофациями с последующей экстраполяцией на всю площадь исследований.

В пределах литофациальных зон намечают характерные для них геологические тела, представляющие интерес для поиска углеводородов, например – бары в прибрежных отложениях, конуса выноса - на склонах, и прогнозируют их литологию.

При интерпретации необходимо учитывать, что сейсмофазии и литофазии, геологические тела и их сейсмические отображения не обязательно соответствуют друг другу, т.к. сейсмические данные не отображают всю геологическую информацию о литофациальной принадлежности пород, зачастую не обладают достаточной разрешенностью и, кроме того, не свободны от различного рода искажений. Поэтому для повышения надежности геологического истолкования следует, помимо визуального анализа волнового поля, использовать палеорекострукции на основе выравнивания по субгоризонтальным (в палеорельефе) границам, математическое сейсмомоделирование, анализ мгновенных фаз и других атрибутов, спектрально-временной анализ.

Интерпретацию волновой картины выполняют в виде интерактивного процесса, ориентированного на все более глубокую увязку с данными других геолого-геофизических исследований, пересмотр противоречивой информации и создание логичной картины формирования изучаемых пород и расположения в них перспективных объектов. Интегрированный анализ данных сейсморазведки и бурения проводится с целью изучения (интерполяции) геологического строения в межскважинном пространстве, а также экстраполяции данных бурения на участки, где скважины отсутствуют.

Для интегрированного анализа данные сейсморазведки, геофизических исследований скважин (ГИС) и гидродинамических исследований увязываются и совмещаются между собой. Совмещение скважинных данных с материалами 3D сейсморазведки выполняют по результатам увязки сейсмических и геологических границ корректируя, при необходимости, в отдельных скважинах прогнозные вертикальные годографы или значения пластовых скоростей.

Совмещенные материалы используются для изучения строения среды между скважинами, при этом:

- уточняют корреляцию геологических границ с учетом конфигурации сейсмических осей синфазности;

- намечают положение выклиниваний, замещений, форму и контуры геологических тел, и иные особенности геологического строения по данным анализа волновой картины и результатам определения сейсмических атрибутов.

Для прогноза продуктивности и иных петрофизических параметров устанавливают их статистические связи с величинами сейсмических атрибутов. Для этого оценивают корреляционные и иные статистические связи, строя кроссплоты, вариограммы, определяя парные и множественные регрессии, выполняя кластерный анализ и т.п.

Возможность и точность прогноза петрофизического параметра определяются надежностью используемых для этого статистических связей. Применение линейных (парных и множественных) связей обеспечивает существенное улучшение точности, по сравнению с использованием данных одного лишь бурения, если коэффициент корреляции параметра с атрибутами превышает 0.7 – 0.8. Достоинством линейных связей, найденных по значительному (>10) числу скважин, является устойчивость по отношению к небольшим изменениям исходных данных. Использование нелинейных связей целесообразно, если тип нелинейной зависимости надежно установлен на основе независимой информации, например, данных сейсмомоделирования.

Каждому из геологических пластов соответствует индивидуальный набор информативных атрибутов, в зависимости от внутреннего строения пласта, его акустической контрастности, строения и свойств вмещающей толщи. Результаты интегрированного анализа представляют в виде карт, разрезов и объемных моделей.

Математическое сейсмомоделирование заключается в расчете волновых полей для теоретических моделей, отображающих особенности строения реальных сред. Математическое сейсмомоделирование является необходимой составной частью процесса интерпретации при решении следующих задач:

- сейсмогеологическом объяснении кинематических и динамических особенностей реальных волн;

- выявлении сейсмических атрибутов, информативных для поиска и разведки геологических объектов;

- установлении соответствия между сейсмическими волнами и границами геологического разреза (“стратиграфической увязки”);

- подборе оптимальных параметров ряда интерпретационных процедур - инверсии, коррекции формы сейсмического импульса, стратиграфической деконволюции и др.

Моделирование рекомендуется использовать и при решении других интерпретационных задач для обоснования способов их решения, оценки эффективности применяемых процедур и т.д. [17,52].

Формирование моделей зависит от задач моделирования: при изучении самых общих, в основном кинематических особенностей волн можно ограничиться толстослоистыми моделями, состоящими из слоев с мощностями

того же порядка, что и преобладающая длина сейсмического импульса; при изучении динамических особенностей волн, имеющих интерференционный характер, необходимы, как правило, тонкослоистые модели, состоящие из пластов мощностью не более 0.1-0.2 преобладающей длины сейсмического импульса. Допускается сочетание в моделях тонких и толстых слоев, при этом тонкослоистое представление используют для интервалов разреза, отвечающих за формирование динамических особенностей волн, а толстыми слоями аппроксимируют оставшуюся часть среды, чтобы учесть влияние прохождения через нее на кинематические свойства волн.

При моделировании отраженных волн в средах с небольшими углами наклона границ целесообразно применение одномерных (1D) слоисто-однородных моделей, а также псевдодвумерных моделей, состоящих из одномерных моделей, отображающих изменение глубин границ и свойств слоев по латерали (рисунок 3.34).

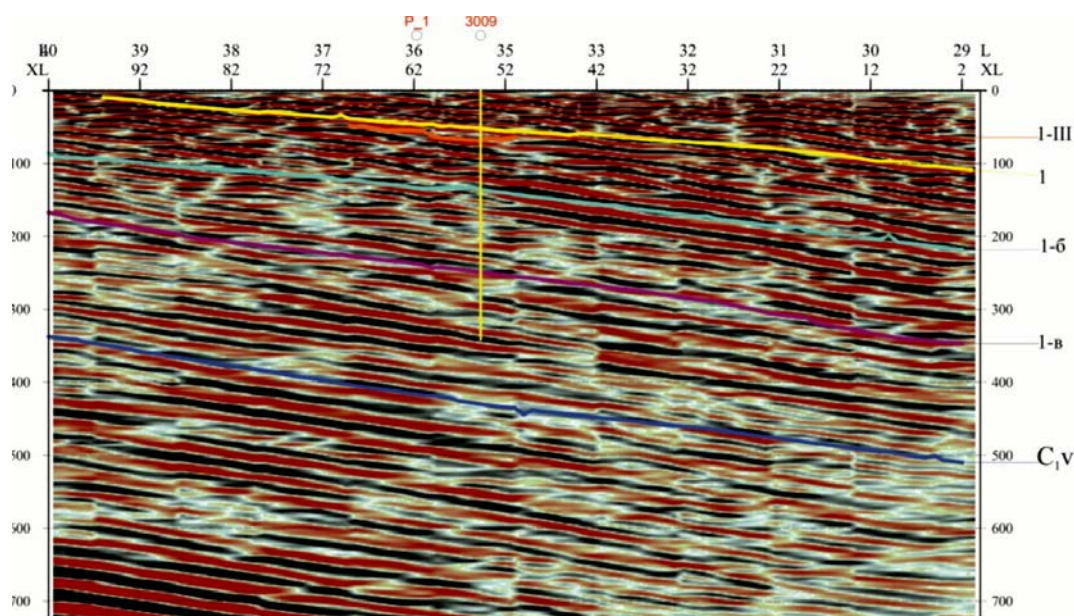


Рисунок 3.34 – Участок Донызауз. Фрагмент глубинного сейсмического разреза

Использование 3D моделей необходимо, главным образом, при изучении волновых явлений, характерных для сложно построенных сред, таких как дифракция, фокусирование, образование петель и т.п.

При моделировании динамических особенностей волнового поля обязательными параметрами моделей являются значения скорости продольных волн и плотности. В случаях, когда значения импедансов пород пропорциональны значениям скорости, при 1D моделировании плотности не учитываются. При изучении двух и трехмерных сред дополнительно необходимы значения скорости поперечных волн.

Значения параметров поглощения задают, если изучаются динамические характеристики колебаний, у которых существенно отличаются траектории пробега в среде. Форма сейсмического импульса при моделировании задается,

возможно более близкой к форме импульса, порождающего интерпретируемое волновое поле. Способы расчета волновых полей согласовываются со спецификой обработки реального волнового поля. При моделировании отраженных волн, прошедших обработку по методике восстановления амплитуд, нет необходимости в учете геометрического расхождения. Использование при обработке кинематических поправок часто позволяет ограничиться при расчетах трассами с нулевым удалением от источника. Применение при обработке переменного во времени оператора деконволюции и/или рациональный подбор формы импульса в значительной степени компенсируют неучет влияния прохождения через тонкослоистую среду и поглощения.

Построение карт. Карты строятся на различных этапах интерпретации для определения конфигурации границ и выявления закономерностей распределения сейсмических параметров и атрибутов по площади исследований. Карты, наиболее объективно отображающие особенности строения среды, строят после выполнения миграционных процедур.

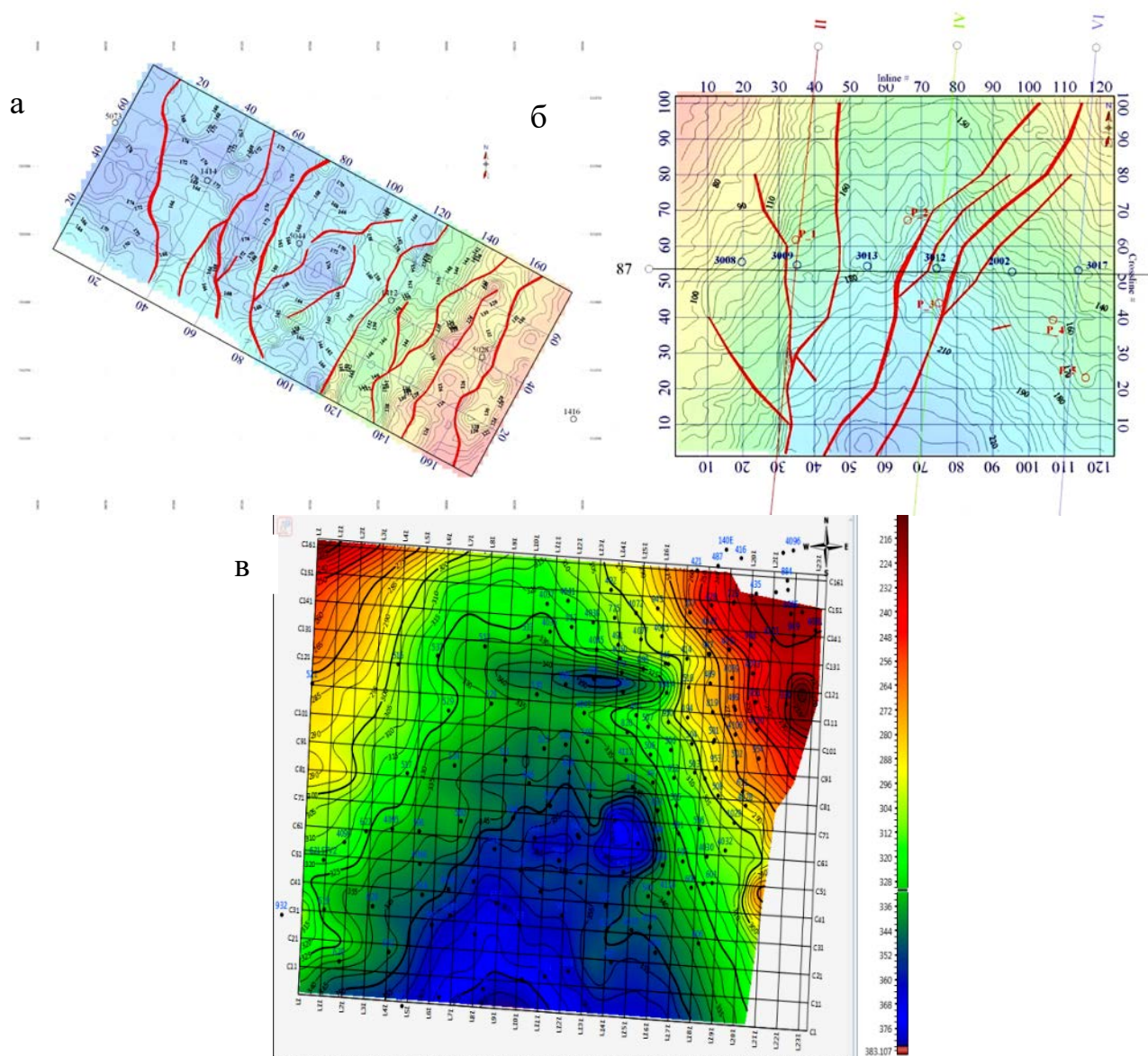
При построении карт по данным сейсморазведки 2D предварительно определяют и, по возможности, исключают или предельно уменьшают величины невязок на пересечениях профилей. Структурные карты строятся по сейсмическим и геологическим границам. Границы, по которым строятся структурные карты, отображают наиболее существенные черты геологического строения всей площади или важных ее участков.

После временной миграции структурные карты по сейсмическим границам строятся на основе карт вертикальных времен t_v и данных о средних скоростях до границы (Рисунки 3.35, 3.36).

При использовании глубинной миграции структурные карты строят на основе результатов корреляции волн на глубинных разрезах или кубах. При наличии данных бурения построение структурных карт выполняется по совокупности всей информации. Структурные карты по геологическим границам строят на основе структурных карт по сейсмическим границам и карт толщин интервала между сейсмической и геологической границей.

Положение на картах разломов, контактов, участков выклиниваний и других локализованных особенностей строения соответствуют результатам корреляции волн [50]

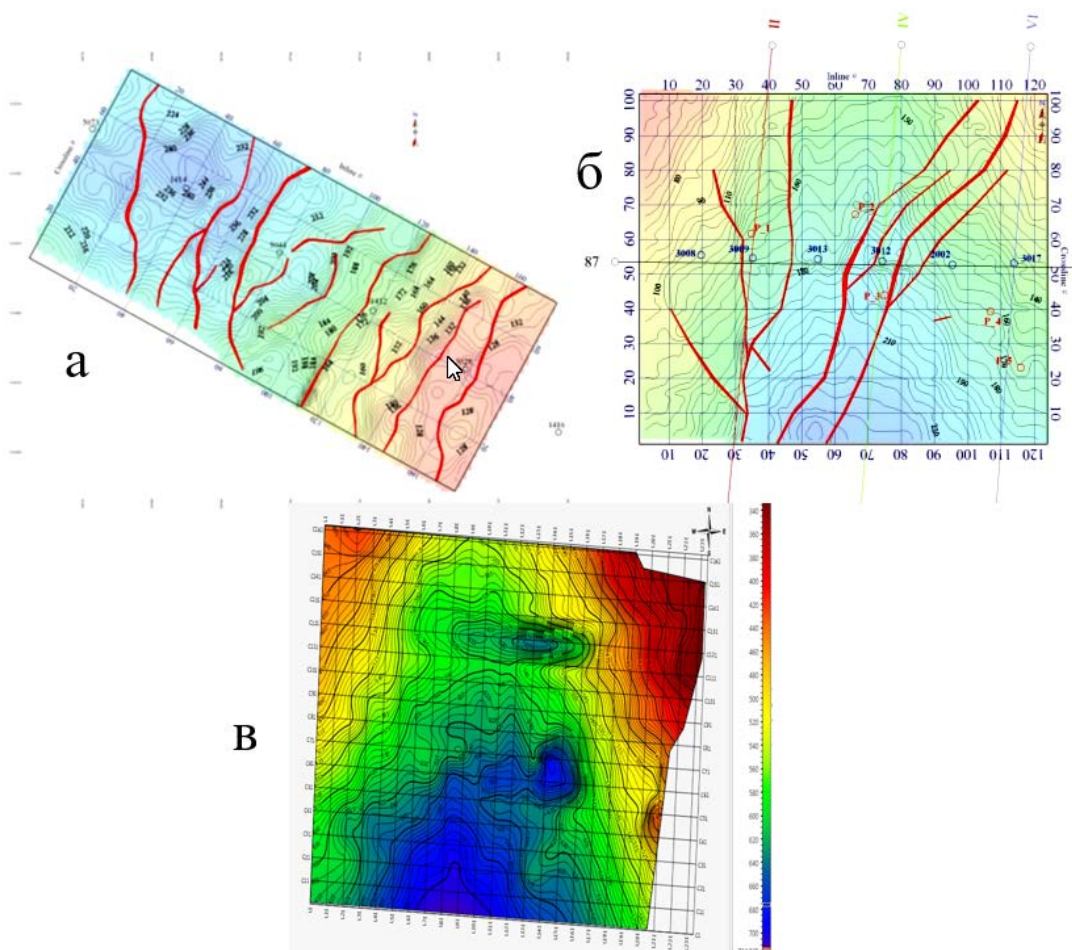
Сечение структурных карт выбирают равным погрешности определения глубин. Для более рельефного отображения малоамплитудных структур проводят дополнительные изолинии с сечением, равным половине ошибки определения глубины. Участки с пониженной точностью построений отображаются пунктирными изолиниями или другим условным знаком. Для лучшего визуального восприятия структурных карт в дополнение к изолиниям используют закраску цветом.



а- Пектас (по кровле кровля; б-Донызауз (кровля копкудукского горизонта);
в-по горизонту 1в (рудная залежь верхнебелеутинских отложений)

Рисунок 3.35 – Карты изохрон участков по горизонтам

Выводы. Распределение геофизических параметров 3D съемки, рассчитывалось с учетом реального геологического строения и инфраструктуры участков. Высокое качества полевых наблюдений достигнуто за счет оперативной корректировки реальных пунктов приема (ПП) и пунктов взрыва (ПВ) в зависимости от поверхностных условий, размещения выносов компенсационных ПВ, расчета теоретической кратности и атрибутов бина, занесения теоретических, принятых разбитых, пробуренных и отработанных ПП и ПВ в полевую базу данных Field Geo Data Base и построения карт прогресса работ, регулярной подготовки и проверки окончательных SPS-файлов для камеральной обработки и передачи в стационарный вычислительный центр на обработку.



- а) Пектас- по кровле продуктивного горизонта 1Б-III;
 б) Донызауз- по кровле копкудукского горизонта;
 в) Западная Сарыоба- по горизонту 1в (рудная залежь верхнебелеутинских отложений)

Рисунок 3.36 – Структурные карты участков по горизонтам

Граф и параметры обработки для каждого участка выбирались и оптимизировались из существующего на сегодняшний день широкого набора процедур на основании обработки материалов, проведенной на тестовых данных каждого участка.

Многообразие использованных применяемых в ходе обработки математических процедур обеспечили качественный и оптимальный граф обработки сейсмических данных, позволивший осуществить сохранения кинематических и динамических особенностей волнового поля для выделения и прослеживания заданных целевых горизонтов; обеспечения достоверных структурных построений; обработки и увязки данных, зарегистрированных скоростных параметров методами ВСП; достижения высокой разрешенности и точности детализационных построений; повышения надежности структурных построений глубоко расположенных целевых горизонтов за счет максимального исключения влияния вышерасположенных геологических объектов [75].

В результате обработки данных сейсморазведки МОГТ 3Д на опытных участках получены сейсмические кубы во временной и глубинной областях и построены скоростные модели.

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТУРОВ РУДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД И ГРАНИЦ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Настоящие исследования направлены на разработку технологии моделирования геологически сложнопостроенных рудных месторождений по результатам проведения детальной 3D-сейсморазведки, на основе комплексной интерпретации результатов трёхмерной сейсморазведки и геолого-геофизических данных для выявления рудоконтролирующих горизонтов и прослеживания их в пространстве, построения модели рудных залежей для последующего эффективного освоения и эксплуатации месторождений медистых песчаников в Казахстане.

В процессе интерпретации использованы два взаимообусловленных подхода:

- геофизический, заключающийся в определении по сейсмическим данным структурных моделей и сейсмогеологических параметров среды;
- геологический для прогноза по сейсмическим материалам литолого-петрофизических, генетических и иных геологических характеристик среды.

При первом подходе осуществлено математическое сейсмомоделирование, с применением расчета волновых полей для теоретических моделей, отображающих особенности строения реальных сред. Это позволило получить сейсмогеологическое обоснование кинематических и динамических особенностей реальных волн; выявить сейсмические атрибуты, информативные для изучения геологических объектов; установить соответствие между сейсмическими волнами и границами геологического разреза (“стратиграфической увязки”); осуществить подбор оптимальных параметров ряда интерпретационных процедур: инверсии, коррекции формы сейсмического импульса, стратиграфической деконволюции и др.

Интерпретация сейсмических данных по участкам включала структурную интерпретацию и динамический анализ и выполнена в следующей последовательности:

1. Создание интерпретационного проекта на рабочей станции. Загрузка результативных данных обработки (куб ВМДС);

2. Загрузка данных по скоростной характеристике среды. Оценка скоростного закона на площади работ была сделана по сопоставлению данных геологических разрезов с сейсмическим кубом. На основании этих данных оценивалось положение границ, разделяющих основные геологические толщи. С целью выделения основных отражающих горизонтов осуществлена предварительная привязка сейсмического волнового поля к этим границам.

3. Прослеживание (пикинг) горизонтов ИБ-III и ИБ-IV в верхнебелеутинских отложениях $C_{1nbl}l^2_3$, $C_{1s2}-C_{2ts}$, $C_{1s1bl}l_2$ и III по сети (гриду) профилей инлайн и кросслайн с шагом 100x100 м;

4. Пикинг разломов и трещин. Выделение разломов производилось по разрывам осей синфазности на вертикальных временных разрезах,

горизонтальных временных срезах (слайсах) и по кубу тектонических нарушений, полученному из атрибута когерентности;

5. Построение структурной модели (построение структурных карт и выделение контуров геологических тел);

6. Загрузка куба ГМДС и уточнение корреляции горизонтов в глубинной области;

7. Построение структурной модели по данным ГМДС.

4.1 Результаты структурной интерпретация

Структурная интерпретация выполнена в 2 этапа – по данным временной миграции до суммирования (ВМДС) и данными глубинной миграции до суммирования (ГМДС). По кубу ВМДС выполнялась корреляция горизонтов во временном масштабе, строились карты изохрон и далее пересчитывались в структурные карты. По кубу ГМДС выполнялась корреляция горизонтов в глубинном масштабе и строились структурные карты.

По кубу временной миграции до суммирования была выполнена корреляция намеченных горизонтов C_{2z1} (кровля златоустовского горизонта), I (кровля таскудукского горизонта), I-б (кровля жиландинского горизонта) и I-в (кровля копкудукского горизонта), а также двум глубоким горизонтам, условно названным C_{1v} и C_{1t} .

После выполнения глубинной миграции до суммирования был получен глубинный куб, по которому была проведена отдельная корреляция намеченных горизонтов I (кровля таскудукского горизонта), I-I, I-II и I-III, (рудная залежь, забалансовые свинцовые руды), I-б (кровля жиландинского горизонта) и I-в (кровля копкудукского горизонта). Кроме того, по данным глубинной миграции в сейсмическом волновом поле проявились флексуры, по которым в окрестностях скважин в интервалах с рудопроявлениями были оконтурены три линзообразных в сечении тела, условно названные Объект-I, Объект-II и Объект-III.

Из сейсмического куба были извлечены профили, совпадающие с координатами геологических разрезов, построенные по результатам бурения разведочных скважин. По изменениям литологии в вынесенных на профили скважинах и по скоростным законам, полученным в ходе обработки данных, выполнена привязка отражающих границ к геологическим границам

В целом, по сейсмическим данным наглядно прослеживается сложное строение геологических границ по площади каждого участка, особенно в верхней межскважинной части разреза, которое невозможно оценить по данным бурения.

Волновое сейсмическое поле в пределах целевого интервала на временах 0-200 мсек. характеризуется сложным характером отражений, что, по всей видимости, связано как с гетерогенностью геологического разреза так и с недостатками методики полевых наблюдений (оси синфазности отражений от границ претерпевают разрывы; корреляция отражающих границ осложняется

интерференцией отражений ведущих к «расфазировке» импульсов; наложение дифрагированных волн, волн-помех), которые, к сожалению, не удалось подавить на этапе обработки сейсмических материалов, вследствие чего исключена возможность однозначной корреляции отражающих границ в этом временном интервале.

Волновое сейсмическое поле комплекса отражений на временах больше 180-200 мсек резко отличается от волновой картины, связанной с вышележащими отложениями. Отражающие границы прослеживаются удовлетворительно, волновая картина представлена серией отражений, показывающие согласное залегание толщи на глубинах более 300м., наличие отражений на временных разрезах полностью определяется характером поведения отражающих границ, характеризующиеся динамической выраженностью и прослеживаемостью в пределах всей площади исследований. В меньшей степени низкое качество сейсмических материалов связано с углами наклона отражающих границ, которые не превышают 10-12° в пределах изучаемых участков, а также с неоднородностью скоростной характеристикой верхней части разреза, которая до некоторой степени была изучена в пределах исследуемой территории скважинами МСК.

Корреляция отражающих границ и построение структурных карт выполнены по трем горизонтам:

- предположительно, кровле нижнебелеутинских отложений (C_{1nbl_1}),
- горизонтам IB-III, IB-IV – кровле и подошве окремненных известняков,
- по подошве окремненных известняков-роговиков в верхней части разреза.

Анализ волнового поля куба временной миграции по целевым горизонтам показал хорошую корреляцию амплитуд и геологических данных.

В пределах участка Пектас на дневную поверхность выходят только отложения таскудукской свиты среднего карбона (C_{2ts}). Таскудукская свита подстилается отложениями белеутинской свиты нижнего карбона (C_{1nbl}), которые вскрыты буровыми скважинами и являются для описываемого участка рудоносными (рисунок 4.1).

в пределах участка в разрезе верхней пачки белеутинской свиты выделен рудоносный пласт песчаников, включающий рудное тело размером 800 x 500 м. (рисунок 4.2). Медное оруденение приурочено к горизонту 1б. Мощность рудного тела колеблется от 1,5 до 4,4 м, содержание меди от 0,53 до 2,73 %. Залегание пород свиты по керну скважин моноклиналиное с падением на запад под углами 15-20°. Глубина залегания 100-300 метров. Мощность верхней подсвиты 550-875 метров. Общая мощность белеутинской свиты 680-1075 метров.

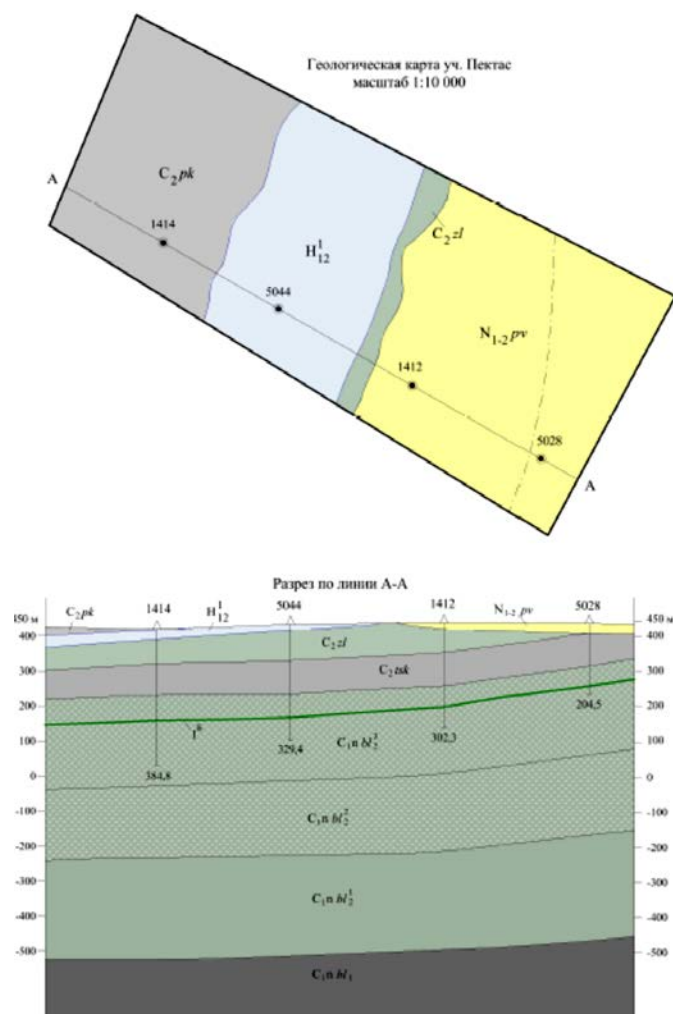


Рисунок 4.1-Геологическая карта участка Пектас. (по материалам Ю.А. Зайцева, 1975)

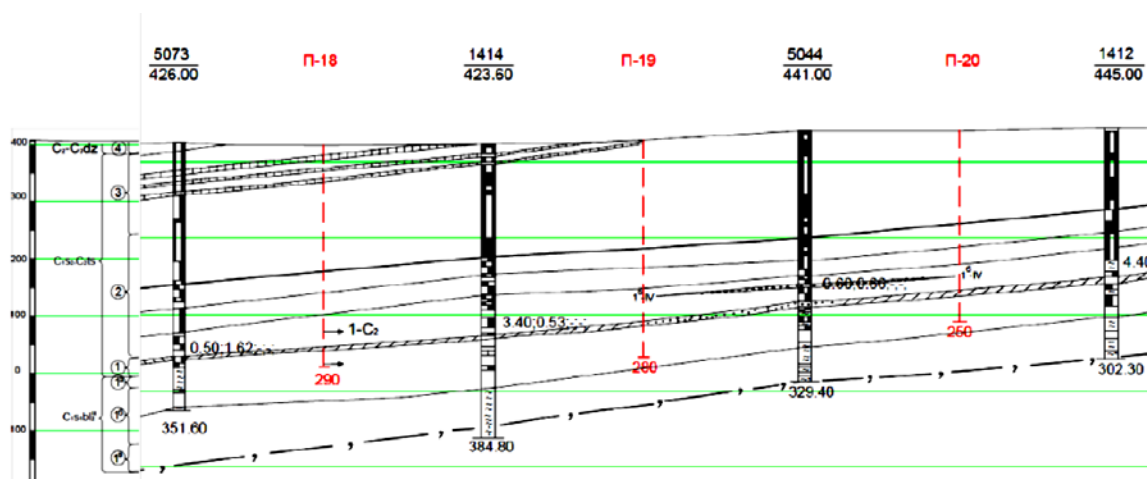
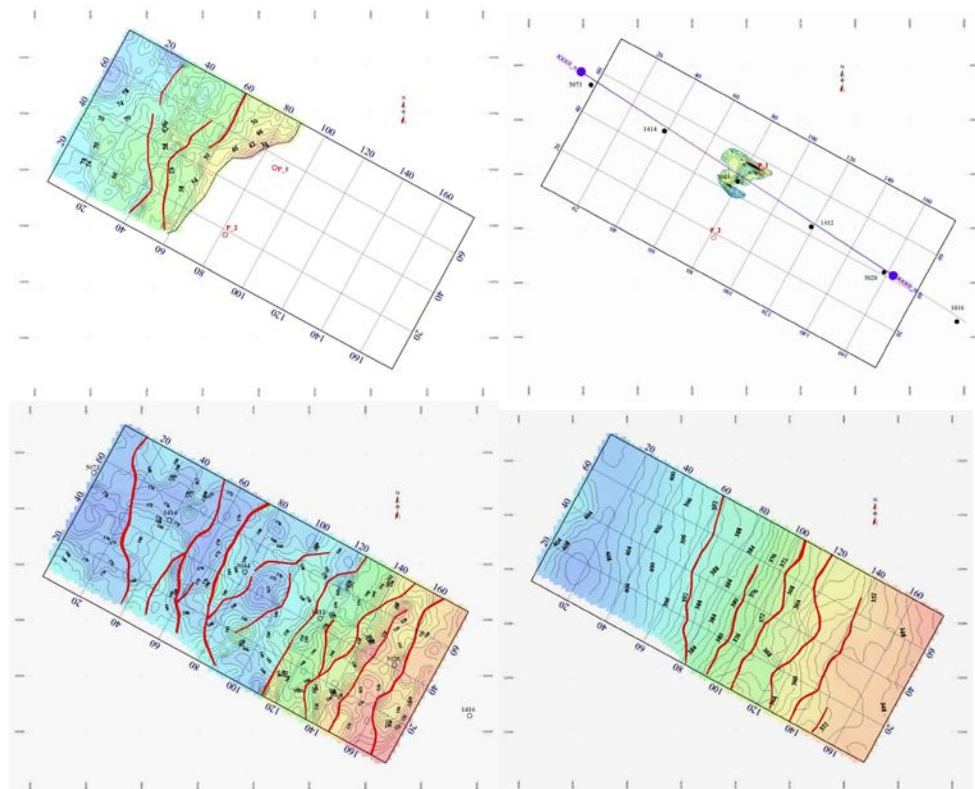


Рисунок 4.2- Участок Пектас. Геологический разрез по линии профиля XXII (фрагмент) (В.И. Ужва и др., 2011)

После корреляции сейсмических горизонтов были построены карты изохрон по C_{2zl} , кровле IB-IV, IB-III (C_{1s1bl2} и C_{1s1bl2}) и кровле C_{1nbl1} (Рисунок 4.3).



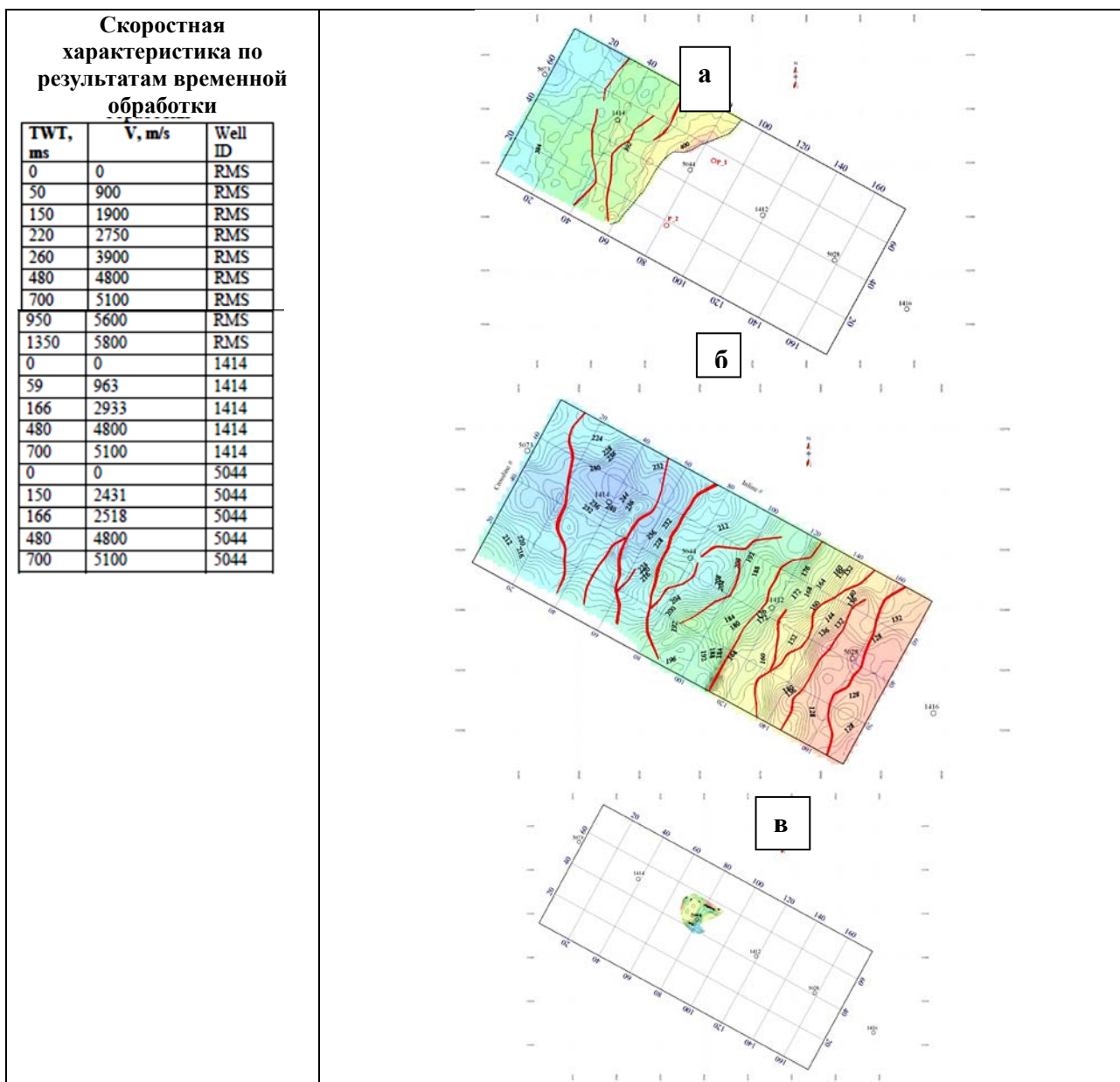
а- по подошве окремненных известняков (роговиков) C_{2zl} ; б- по кровле горизонта IB-IV; в- по кровле горизонта IB-III ; г- по кровле горизонта C_{1nbl1}

Рисунок 4.3 –Карты изохрон участка Пектас

Все карты изохрон были пересчитаны в структурные карты с использованием осредненной скоростной характеристики, полученной из обработки данных во временной области (Рисунок 4.4). В ходе интерпретации были выполнены привязки времен отражающих границ к отбивкам горизонтов, полученных по геологическим разрезам.

Ниже по разрезу, на глубинах до 3 км, также имеются хорошо прослеживаемые сейсмические границы, однако их стратиграфическая привязка затруднена вследствие отсутствия данных бурения и требует дополнительных геологических исследований и анализа.

Полученная структурная карта по горизонту IB-III показала хорошую коррелируемость с данными бурения. Горизонт IB-IV по данным бурения вскрыт скважиной 5044 на глубине 202 м., что соответствует абсолютной отметке 239 м., он имеет плащевидное строение в плане. В сейсмическом разрезе он прослежен на временах 148-150 мс, что соответствует абсолютным отметкам в 238-242 м. (рисунок 4.5 б).

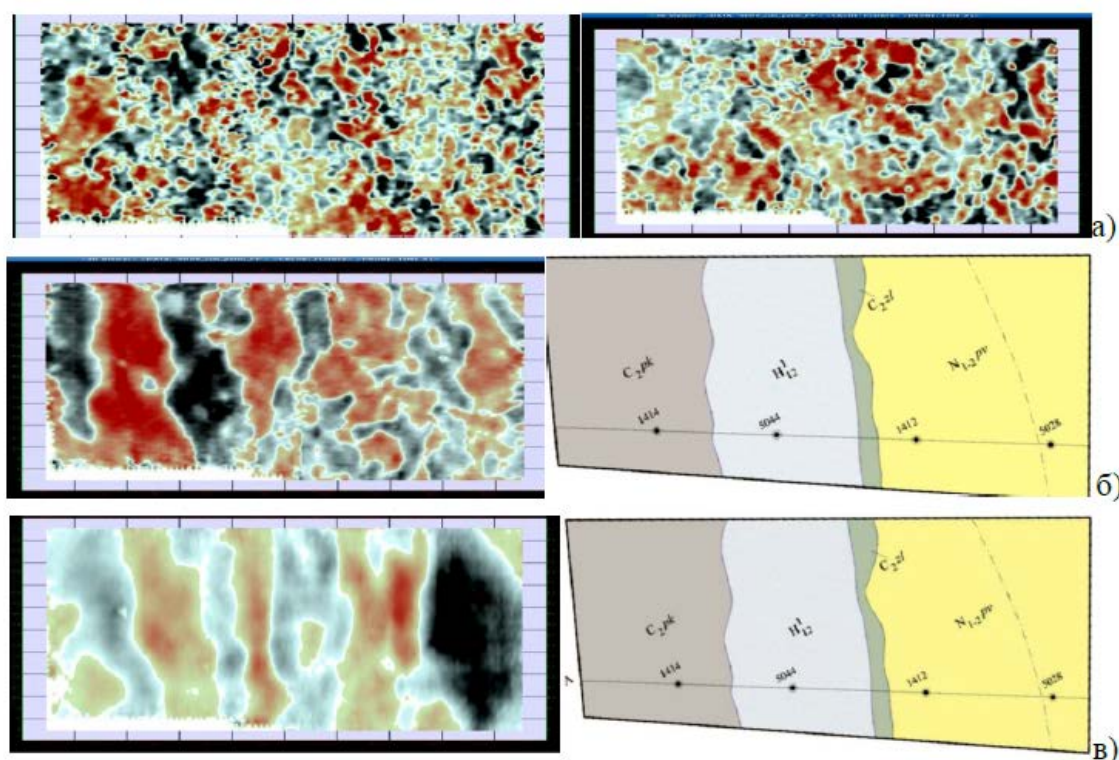


а - по подошве окремнелых известняков (роговиков) C2z1; б - по кровле горизонта IБ-IV; в- по кровле горизонта IБ-III

Рисунок 4.4 – Участок Пектас. Структурные карты.

Горизонт IБ-III по данным бурения вскрыт скважиной 5044 на глубине 230 м, что соответствует абсолютной отметке 211 м., он распространен по всей площади и имеет форму монотонного поднятия в направлении СЗ-ЮВ. В сейсмическом разрезе он прослежен на временах 110-183 мс, что соответствует абсолютным отметкам в 185-295 м.

Сравнивая геологическую карту участка Пектас и срезы временного мигрированного куба, установлено, что линейные формы амплитудных аномалий сейсморазведки совпадают с субмеридиональным характером залегания геологических отложений (рисунок 4.5 в).



а) слева – 50 мс, справа – 100 мс.; сравнение горизонтального среза временного куба после ВМДС на времени (слева) с геологической картой поверхности (справа) б) 230 мс, в) 400 мс.

Рисунок 4.5 - Горизонтальные срезы временного куба после ВМДС.
Участок Пектас

Разрезы (инлайны – линии вдоль линий приема и кросслайны – линии вдоль линий возбуждения) показывают качественную картину сейсмического волнового поля, по которым можно отслежены зоны разрывных нарушений и трещиноватости (Рисунок 4.6).

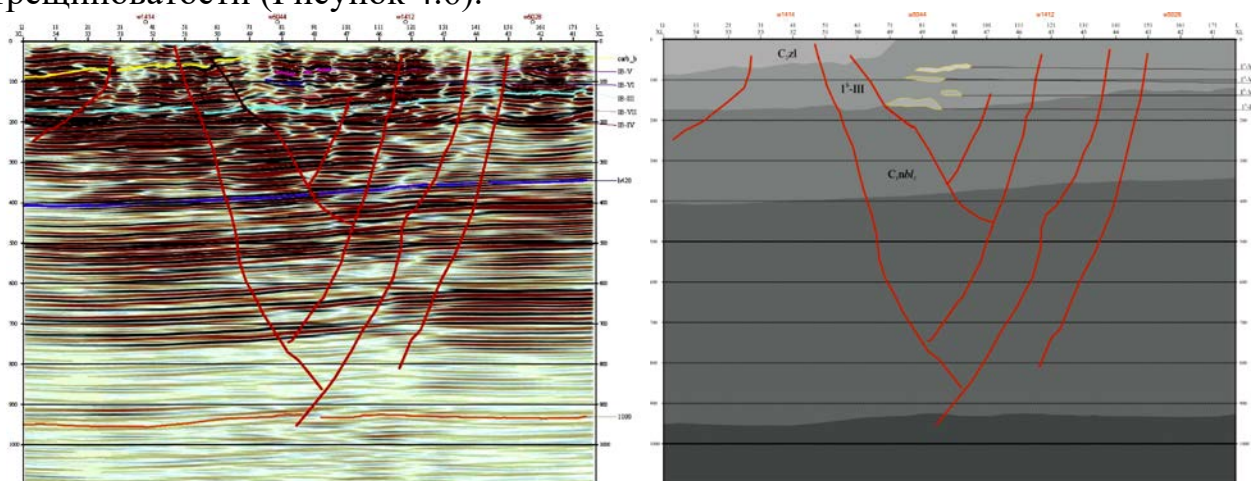


Рисунок 4.6 – Интерпретация сейсмических данных по профилю XXXII

При корреляции разрезов выполнялся контроль качества, в том числе и с построением трехмерной модели отслеженных горизонтов. В ходе корреляции данных во временной области была выбрана отражающая граница, которая

уверенно прослежена на времени 180-130 мс. На геологических разрезах, построенные по данным бурения эта граница соответствует горизонту 1Б-III, контролирующего залегание рудного тела медистых песчаников. В окрестностях скважины 5044 выделено линзовидное тело, идентифицированное, как горизонт 1Б-IV (рисунок 4.7).

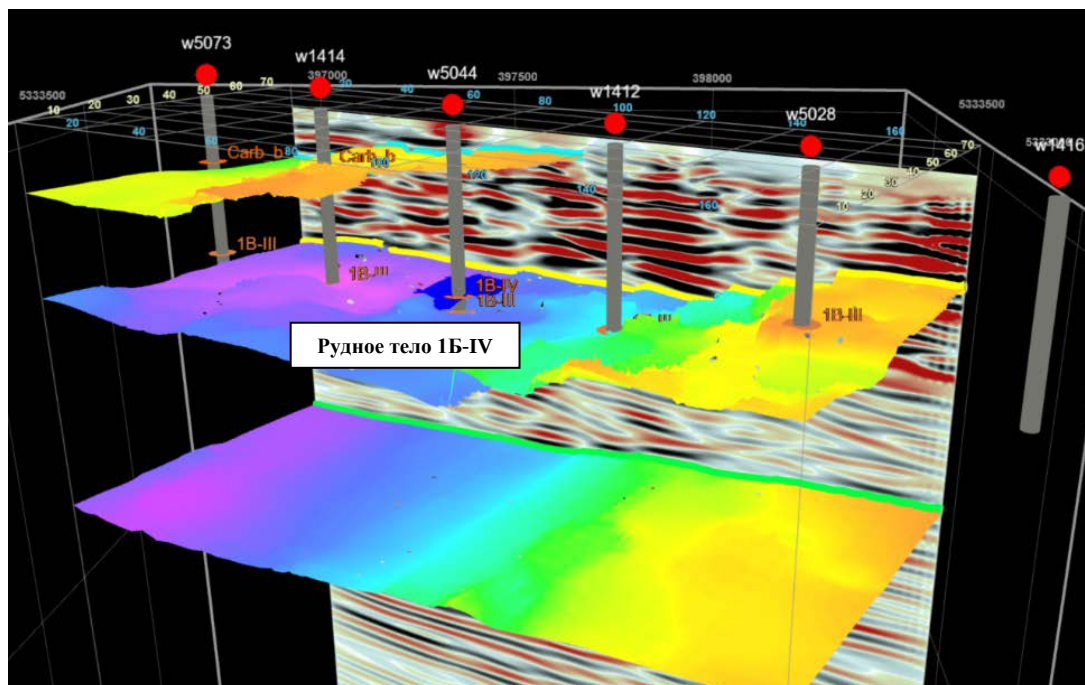
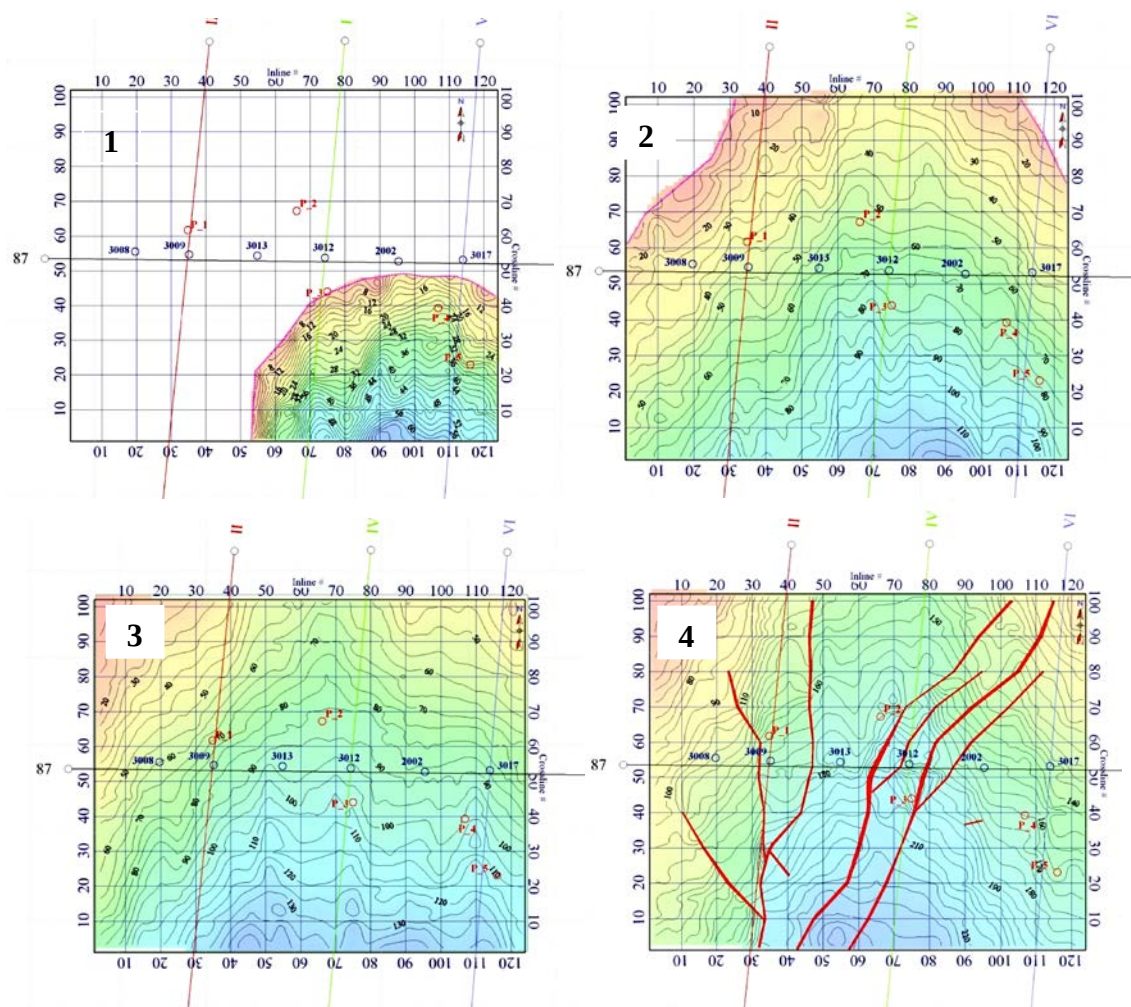


Рисунок 4.7 - Объемное изображение модели построенных отражающих поверхностей

Участок Донызауз располагается в северном центриклинальном замыкании Жиландинской синклинали для которого характерны изменчивые углы падения пластов, от 30° непосредственно в замыкании до $40-50^\circ$ на крыльях (рисунок 4.8).

По выделенным отражающим границам после корреляции сейсмических горизонтов по сети линий INLINE и XLINE с шагом 50×50 м, были построены карты изохрон по кровле златоустовского, таскудукского, жиландинского, копкудукского горизонтов (рисунок 4.9).

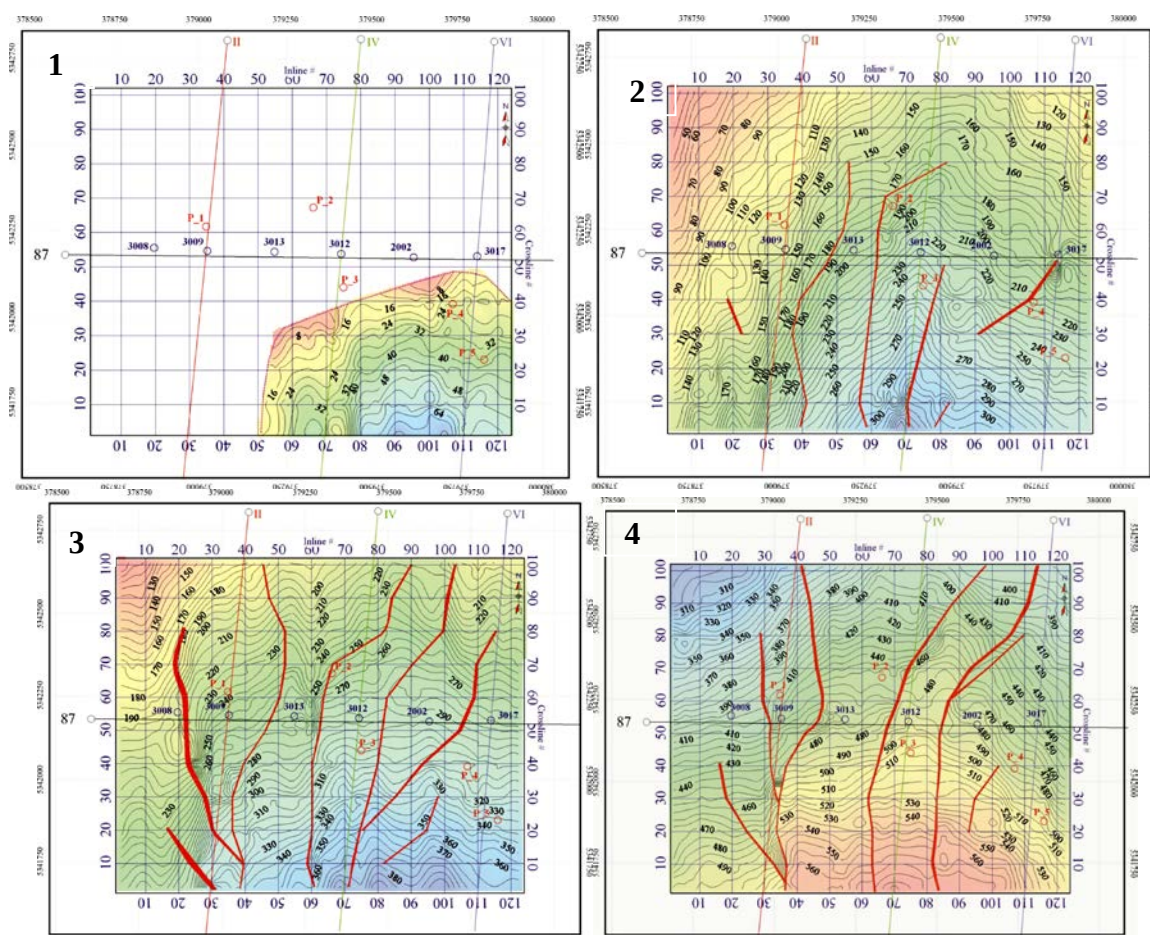
Для пересчета карт изохрон в структурные карты использовалась осредненная зависимость «время-глубина», полученная из скоростной модели временной миграции до суммирования (Таблица 4.1, рисунок 4.10).



1- кровля златоустовского горизонта, 2- кровля таскудукского горизонта, 3 кровля жиландинского горизонта, 4- кровля копкудукского горизонта.

Рисунок 4.9 – Карта изохрон по горизонтам

После выполнения глубинной миграции до суммирования был получен глубинный куб, по которому была проведена отдельная корреляция намеченных горизонтов I (кровля таскудукского горизонта), I-I, I-II и I-III, (рудная залежь, забалансовые свинцовые руды), I-б (кровля жиландинского горизонта) и I-в (кровля копкудукского горизонта). Кроме того, по данным глубинной миграции в сейсмическом волновом поле проявились флексур, по которым в окрестностях скважин в интервалах с рудопроявлениями были оконтурены три линзообразных в сечении тела, условно названные Объект-I, Объект-II и Объект-III.



1-C2z1; 2- 1-б; 3- C1s1, 4-по глубокому горизонту C1v (данные глубинной миграции)

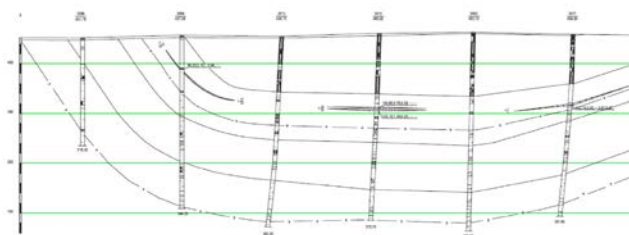
Рисунок 4.10– Структурные карты по горизонтам

На рисунке 4.11-4.12 приводится сравнение геологических разрезов по данным бурения, сейсмических глубинных разрезов и геологических разрезов, построенных по данным сейсморазведки МОГТ 3Д.

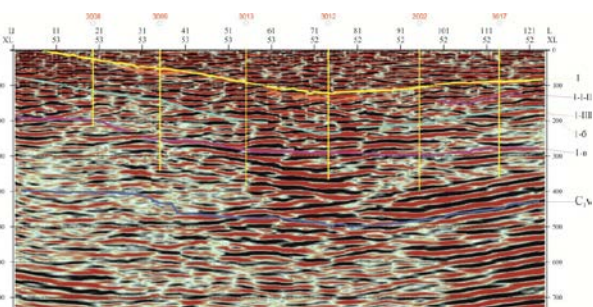
Такие зоны потенциально могут быть приурочены к гидротермальным источникам (каналам), обеспечивавших наполнение рудных тел. На сейсмическом разрезе вдоль геологического профиля ХХХII участка Пектас хорошо видно присутствие глубинных разломов, являющихся, по-видимому, каналами проникновения рудных растворов из глубинных магматических очагов в вышележащие слои.

Месторождения Восточная и Западная Сарыоба находятся в пределах Сарыобинского рудного поля. Крупным Сарыобинским взбросо-сдвигом оно разделено на две части. В западной половине его расположено месторождение Западная Сарыоба, в восточной – Восточная Сарыоба. По сути, они являются единым месторождением, разобценным упомянутым тектоническим нарушением [37,38].

Фрагмент геологического разреза
по данным бурения



Фрагмент глубинного сейсмического разреза



Геологический разрез по сейсмическим данным

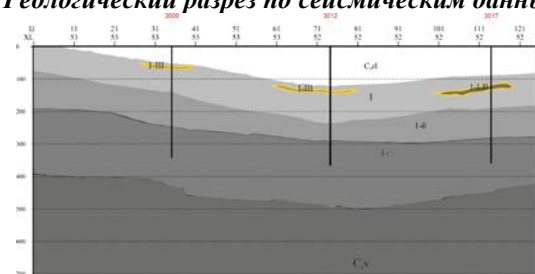
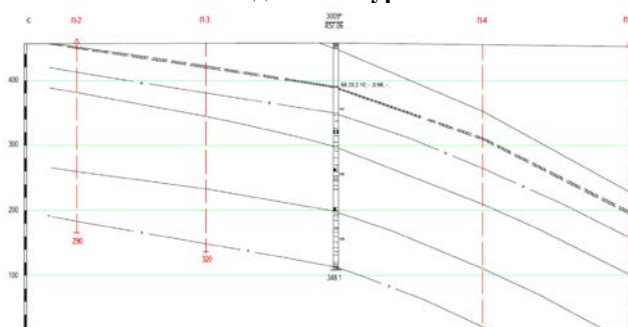
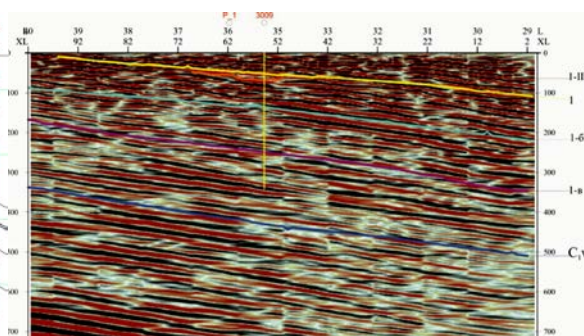


Рисунок 4.11- Интерпретация сейсмических данных по профилю 87

Фрагмент геологического разреза
по данным бурения



Фрагмент глубинного сейсмического разреза



Сейсмо-геологический разрез

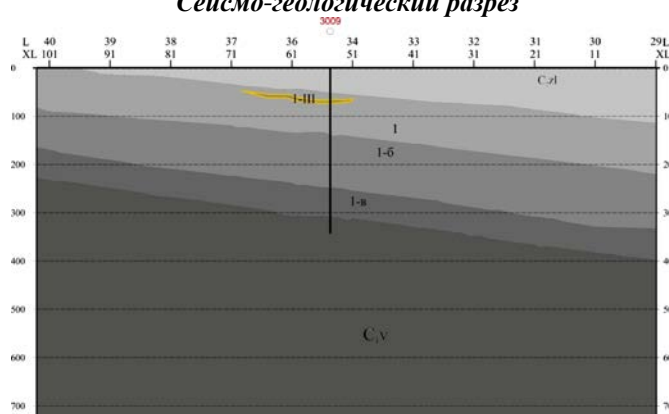
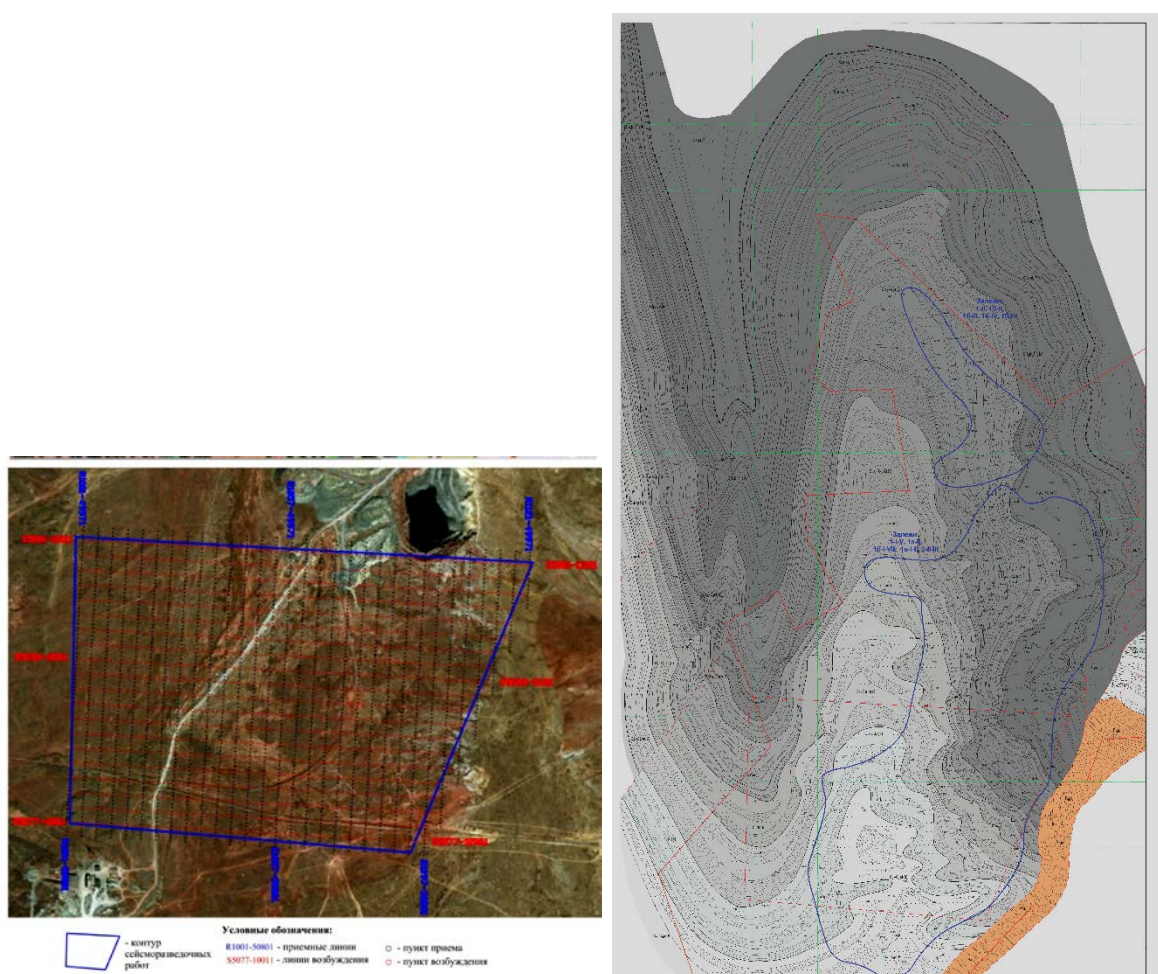


Рисунок 4.12- Интерпретация сейсмических данных по профилю 87

Сарыобинское рудное поле, в пределах которого расположены описываемые месторождения, приурочено к пологозалегающей ($10-15^\circ$) части северного крыла Жезказганской синклинали, осложненной складками более высокого порядка и тектоническими нарушениями различной ориентировки. В геологическом строении месторождения участвуют отложения верхнебелеутинских слоев серпуховского яруса нижнего карбона (C_{1sbl}), таскудукской нижне-среднего карбона ($C_{1s2}-C_{2ts}$) и жезказганской свит средне-верхнего карбона (C_2-C_3). Из них первые две свиты на месторождении являются рудовмещающими. В обеих из них оруденение приурочено к пластам серых песчаников и темно-серых алевролитов (рисунок 4.13)

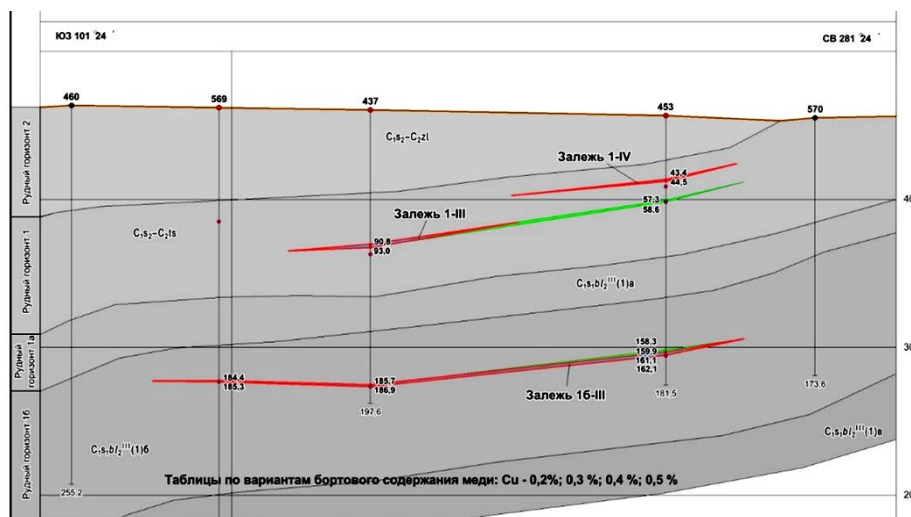


М-б произвольный (по материалам Ю.А. Зайцева, 1975)

Рисунок 4.13-Обзорная карта на космоснимке(слева), геологическая карта участка Западная Сарыоба (справа).

На исследуемом участке рудовмещающими являются отложения нижнего и нижнего-среднего карбона (таскудукская свита). Следует отметить, что основным рудоносным является таскудукский горизонт таскудукской свиты, наиболее насыщенный промышленной рудной минерализацией. Затем по количеству рудной минерализации выделяется жиландинский горизонт, залегающий на отложениях белеутинских слоев нижнего карбона (C_{1sbl}).

Промышленные руды выявлены в серых песчаниках с прослойками известняков с фауной, приурочены к мелко- и среднезернистым (серым и красным) песчаникам, алевролитам и аргиллитам, находящимся в средней части указанных рудовмещающих толщ Копкудукский и Промежуточный горизонты в нижнем карбоне, имеют подчиненное значение и сложены только мелкими рудными телами (рисунок 4.14).

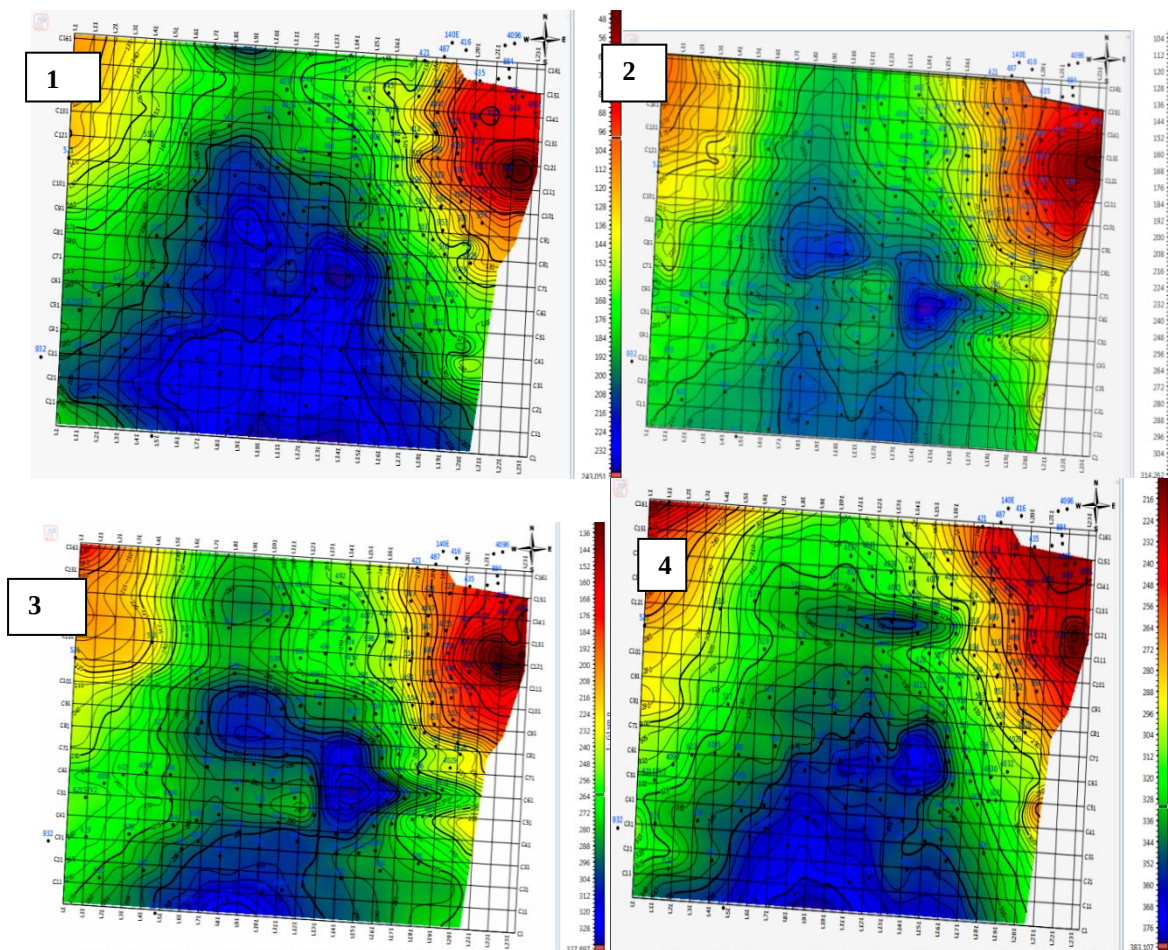


(А.М Топоев., О.М. Тюгай и др. 2015г)

Рисунок 4.14- Месторождение 3. Сарыоба.Геологический разрез по линии профиля 55 (фрагмент)

В результате обработки данных сейсморазведки МОГТ-3D получены сейсмические кубы во временной и глубинной областях, построены скоростные модели по сейсмическим данным. В результате интерпретации составлены карты изохрон и структурные карты по 4 горизонтам: 3 (подошва покровского горизонта), 2 (подошва златоустовского горизонта), 1 (подошва таскудукского горизонта), 1в (рудная залежь верхнебелеутинских отложений) в масштабе 1:5 000. На рисунке 4.15 и 4.16 показаны карты изохрон и пересчитанные в глубинный масштаб структурные карты.

Сравнение геологических разрезов по данным бурения и сейсмических глубинных разрезов, построенных по данным сейсморазведки МОГТ-3D показал высокую сходимость при выделении геологических комплексов.



1-по горизонту 3 (подошва покровского горизонта); 2- по горизонту 2 (подошва золотоустовского горизонта); 3-по горизонту 1 (подошва таскудукского горизонта); 4- по горизонту 1в (рудная залежь верхнебелеутинских отложений)

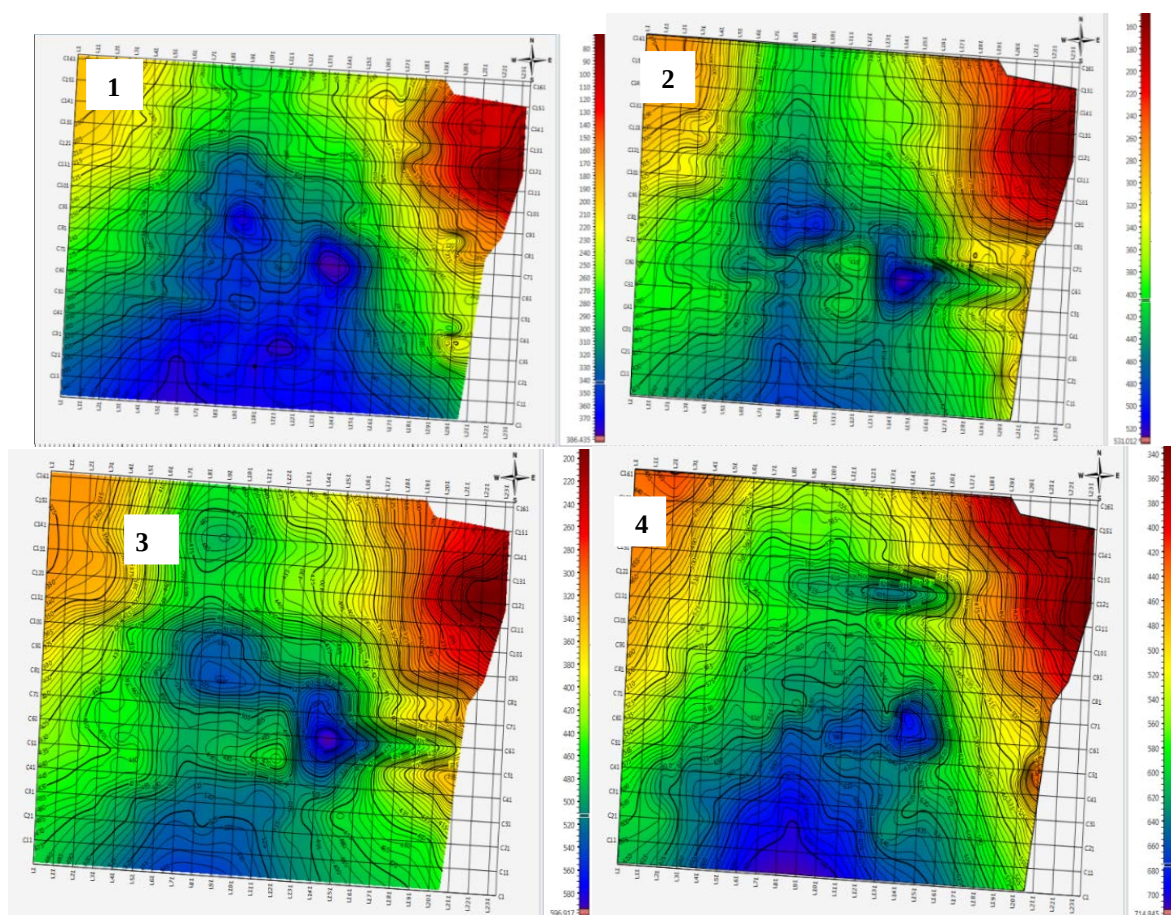
Рисунок 4.15 – Карты изохрон участка западная Сарыюба.

4.2 Анализ волнового поля на этапе динамической интерпретации

Динамическая интерпретация включала расчет следующих видов атрибутов волнового поля:

- амплитудные атрибуты, характеризующие изменчивость литологии,
- статистические атрибуты, характеризующие изменчивость мощности пласта,
- атрибуты по форме импульса, отвечающие за лито-фациальные изменения.

На этапе динамической интерпретации на участках проведено опробование методики по условно выделенным рудным горизонтам 1Б-IV и 1Б-III, характеризующиеся проявлениями оруденения. Вдоль выделенных отражающих горизонтов 1Б-III и 1Б-IV с использованием куба амплитуд ВМДС, в окне ± 5 мс рассчитаны следующие типы динамических атрибутов (рисунок 4.17):



1-по горизонту 3 (подошва покровского горизонта); 2- по горизонту 2 (подошва златоустовского горизонта); 3-по горизонту 1 (подошва таскудукского горизонта); 4- по горизонту 1в (рудная залежь верхнебелеутинских отложений)

Рисунок 4.16- Структурные карты участка Западная Сарыоба

а) *RMS* – среднеквадратическая амплитуда.

б) *Средняя энергия* – отношение суммы квадратов амплитуды к количеству дискретов, характеризует отражательную способность в окне.

в) *Максимальная магнитуда* – наибольшее значение амплитуды в окне, может быть, как положительным, так и отрицательным.

г) *Атрибут “sweetness”* – отношение мгновенной амплитуды к квадрату мгновенной частоты. Этот атрибут был разработан в 1990-х годах и опробован специально для выделения песков и песчаников по их характеру сейсмического отклика – высоким амплитудам отражений и низким частотам (в отличие от пачек переслаивания глинистых разрезов с низкой амплитудой отражений и высокочастотным характером отражений от ряда тонких пластов).

д) *Атрибут когерентности* – характеризует присутствие разломов и зон трещиноватости. Этот атрибут служит для подтверждения выделенных по сейсмическому кубу разломов.

е) *Спектральная декомпозиция* – выделение аномальных зон по принципу преобладания каких-либо полос частот.

ж) *Сейсмофациальный анализ* – в основе метода лежат разнообразные алгоритмы классификации сейсмических трасс с целью анализа изменения волнового поля в заданных интервалах.

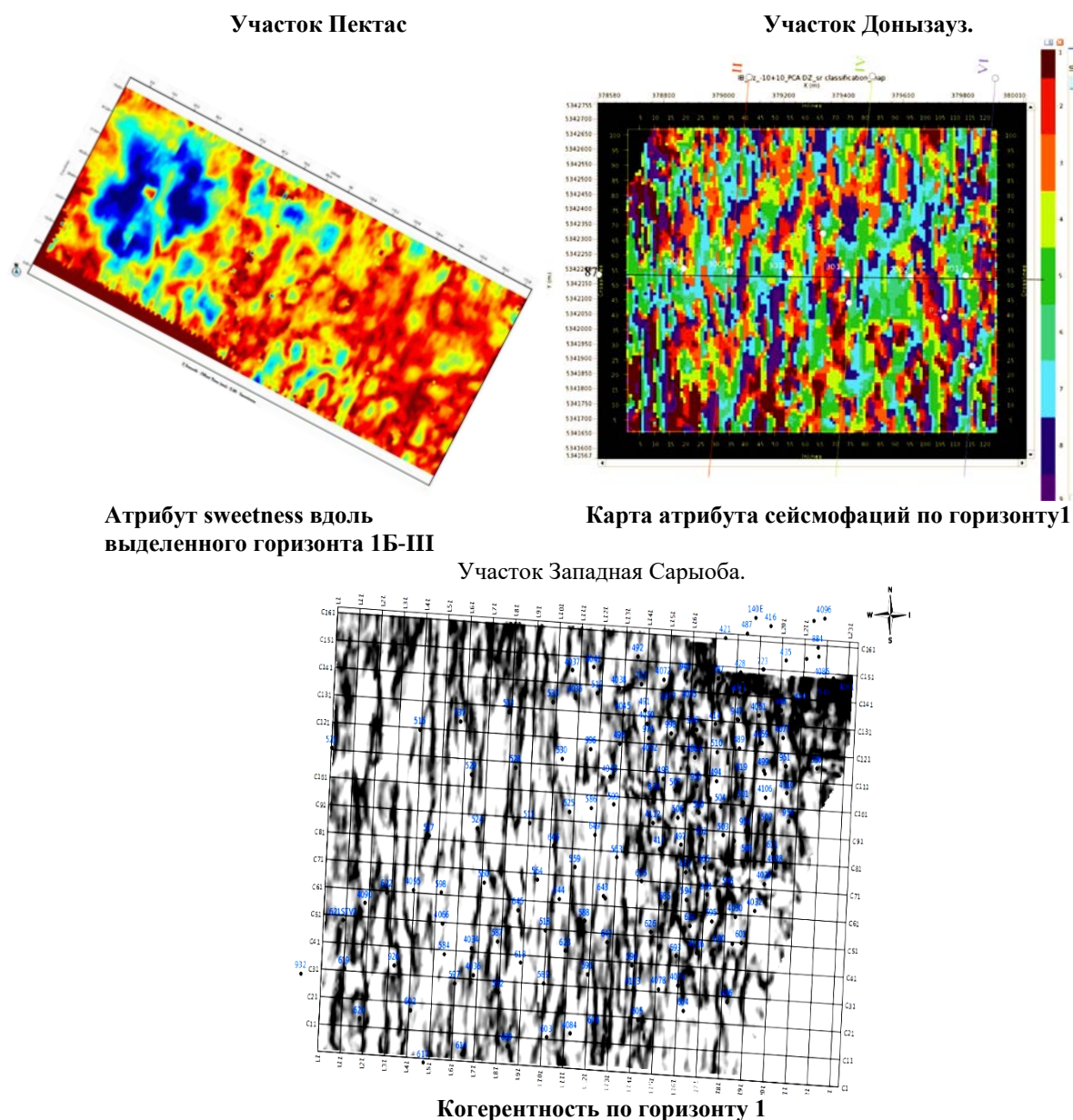
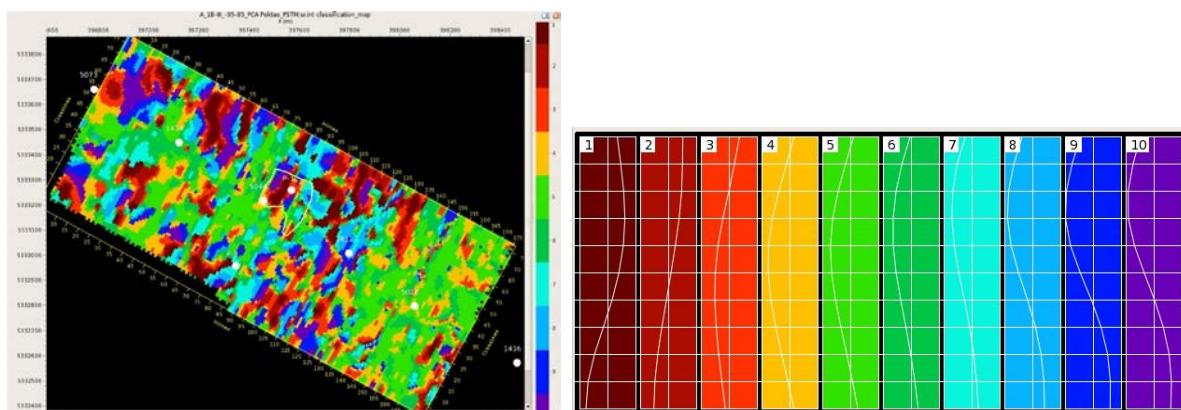


Рисунок 4.17. -Динамические параметры сейсмических данных

Классификация и анализ изменения волнового поля основаны на изучении формы импульса и амплитуд суммарных трасс сейсмических данных. В основе подхода с помощью автоматической классификации лежит технология нейронных сетей, результатом которого являются карты сейсмофаций. Процесс классификации состоит из двух частей: обучения и непосредственно классификации. На первом этапе создается «образ», представленный несколькими модельными трассами из выбранного временного или глубинного интервала, наиболее общими для всех входных данных. Затем происходит

градация и сравнение с модельными трассами входных данных. Далее происходит присвоение проинтерпретированным данным цвета и номера каждой модельной трассы [34].

Атрибут сейсмофаций позволил выполнить анализ изменения формы сейсмического импульса вдоль горизонта, что может быть связано с лито-фациальными особенностями строения пласта. В основе метода лежат разнообразные алгоритмы классификации сейсмических трасс с целью анализа изменения волнового поля в заданных интервалах [34,95] (рисунок 4.18).



Классификация импульсов, рассчитанных вдоль горизонта 1Б-IV

Рисунок 4.18- Участок Пектас.

Распределение сейсмофаций вдоль горизонта 1Б-IV

По срезу когерентности можно отметить присутствие зон неоднородного распределения динамических параметров вдоль условно выделенного горизонта, а также наличие мощной системы трещин на участке исследований (рисунок 4.19).

На участке Западная Сарыоба выполнена сейсмофациальная классификация волнового поля по форме сигнала для первого (I) рудного горизонта в интервале пласта I -II (3мс выше горизонта I) (рисунок 4.20).

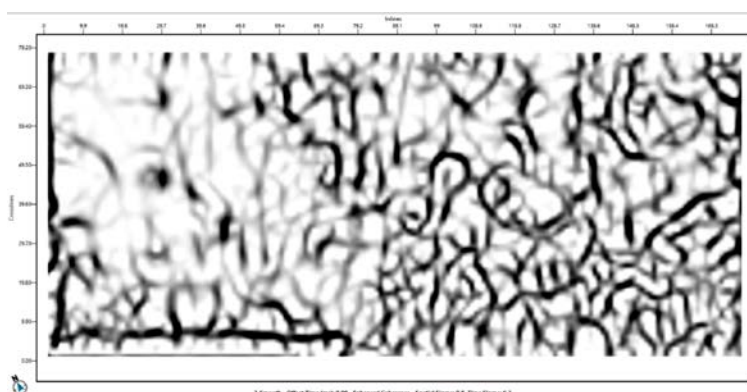


Рисунок 4.19 -Участок Пектас.Атрибут когерентности
вдоль выделенного горизонта 1Б-III

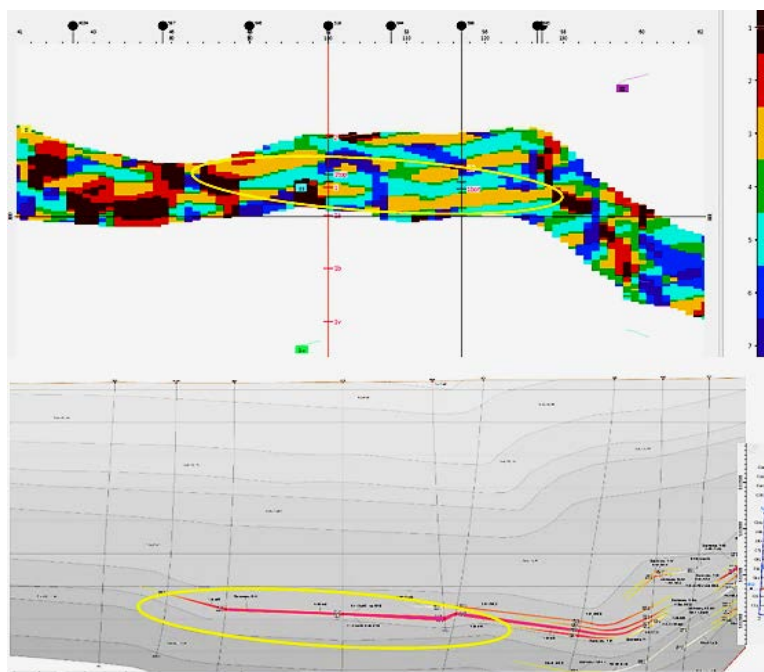


Рисунок 4. 20-Участок Западная Сарыюба. Разрез по профилю 38 из куба сейсмофаций (вверху), фрагмент геологического разреза по данным разведочного бурения (внизу)

4.3 Выделение контуров перспективных объектов

На стадии динамической интерпретации атрибут сейсмофаций позволил выполнить анализ изменения формы сейсмического импульса вдоль целевых горизонтов, увязанных с лито-фациальными особенностями строения рудоносных горизонтов и параметрами рудных тел.

По выделенным объектам были просчитаны карты распределения сейсмофаций, которые подтвердили присутствия изменчивости формы сейсмического импульса по выделенным объектам, что служит косвенным показателем изменчивости литологии и наличия оруденения. По характеру аномалий в сейсмофациальной составляющей и контурам выделенных в сейсмическом волновом поле линзовидных тел рекомендовано бурение разведочных скважин глубиной до 600 м.

На участке Пектас по сейсмическим разрезам в окрестности скважины 5044, вскрывшей рудные горизонты 1Б-IV, 1Б-III в белеутинском горизонте серпуховского яруса, были подтверждены и прослежены новые в межскважинном пространстве линзовидные тела, являющиеся в структурном плане благоприятными для концентрации медного оруденения. Стратиграфическая привязка проведена на основании глубинно-скоростной модели, полученной в ходе обработки. Всего по верхнебелеутинским комплексам в окрестности скважины 5044 было выделено пять таких объектов. По данным бурения рудные проявления на горизонте 1Б-IV были вскрыты только скважиной 5044. На соседних скважинах 1414 и 1412, расположенных соответственно северо-западнее и юго-восточнее от скважины 5044, они

обнаружены не были. На рисунке 4.21 показаны фрагменты структурной карты с выделением линзовидных рудных тел. К примеру, объект I расположен на абсолютных отметках 210-215 м, вытянут в направлении СЗ-ЮВ, имеет плащевидное в плане строение.

Исходя из данных бурения рудные проявления на горизонте 1Б-IV были вскрыты только скважиной 5044. На соседних скважинах 1414 и 1412, расположенных соответственно северо-западнее и юго-восточнее от скважины 5044, они не были обнаружены. На рисунке 4.22 показан фрагмент структурной карты с выделенным линзовидным телом (объект I), которое не имеет пространственной протяженности до скважин 1414 и 1412. Выделенное тело расположено на абсолютных отметках 210-215 м, в плане вытянуто в направлении СЗ-ЮВ, имеет плащевидное в плане строение и занимает площадь 40 тыс. кв.м (0,04 кв. км).

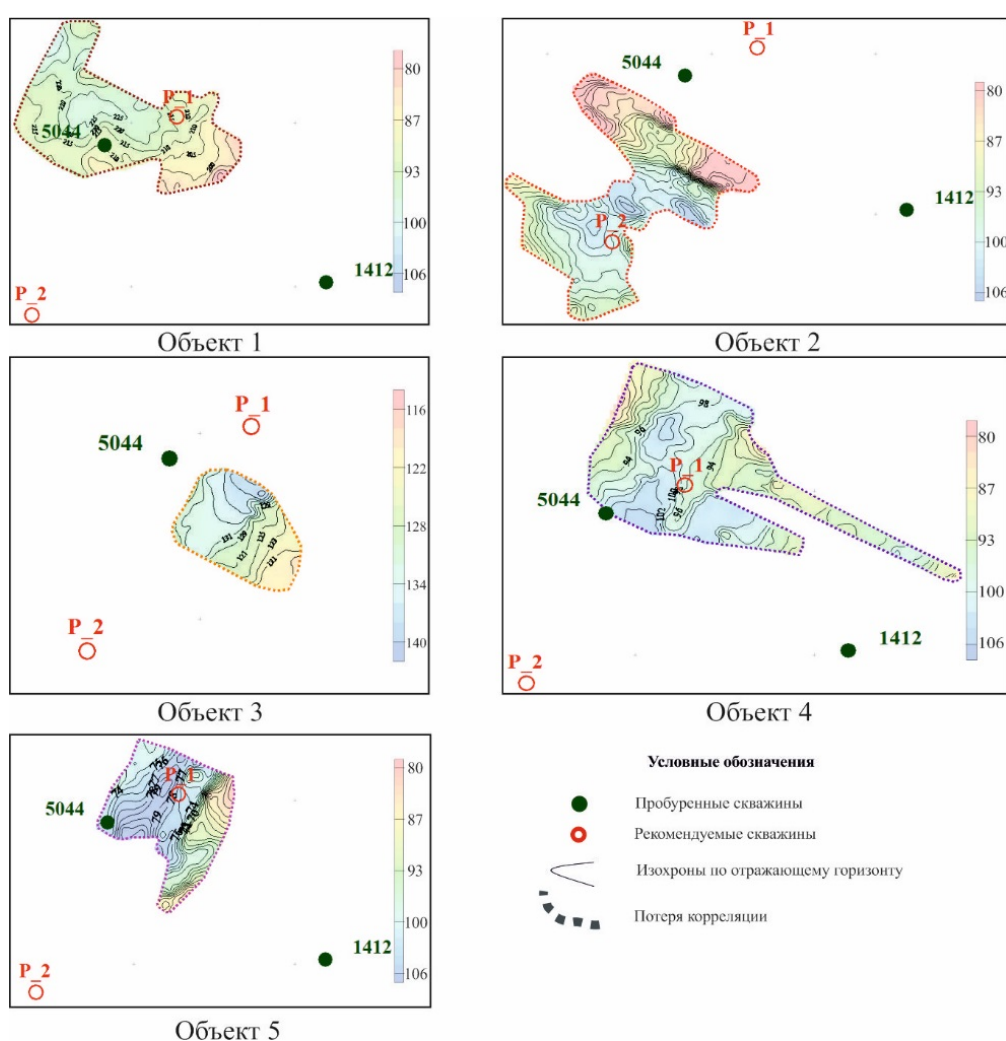


Рисунок – 4.21. Участок Пектас. Выделение по данным сейсморазведки МОГТ-3D с учетом бурения и линзовидных тел рудного горизонта I Б-IV

Второй выделенный объект (объект-II) расположен выше по разрезу, на абсолютных отметках 132-138 м (объектII), также имеет плащевидное строение,

но вытянут в направлении ЮЗ-СВ. Площадь объекта составляет около 30тыс. кв.м. (0,03 кв. км)

Третий объект (объект- III) расположен на абсолютных отметках 88-92 м. юго-восточнее скв.5044 вытянут в плане в направлении ЮЗ-СВ и контролируется с ЮВ стороны небольшим поднятием. Площадь объекта составляет около 20тыс.кв.м.(0,02 кв. км)

Четвертый объект (объект-IV) расположен на абсолютных отметках 65-69 м., частично перекрывая в плане объект-І. Объект-IV в плане имеет плащевидное строение и вытянут в направлении ЮЗ-СВ. Общая площадь Объекта-IV составляет около 40тыс.кв.м (0,04 кв. км). Пятый объект (объект-V) расположен на абсолютных отметках 52-55 м., частично перекрывая в плане объект-І и объект-IV. Объект-V в плане имеет плащевидное строение и вытянут в направлении ЮЗ-СВ. Общая площадь Объекта-V составляет около 15тыс.кв.м. (0,015 кв. км).

По выделенным объектам были просчитаны карты распределения сейсмофаций, которые подтвердили присутствие изменчивости формы сейсмического импульса по выделенным объектам, что служит косвенным показателем изменчивости литологии (рисунок 4.22).

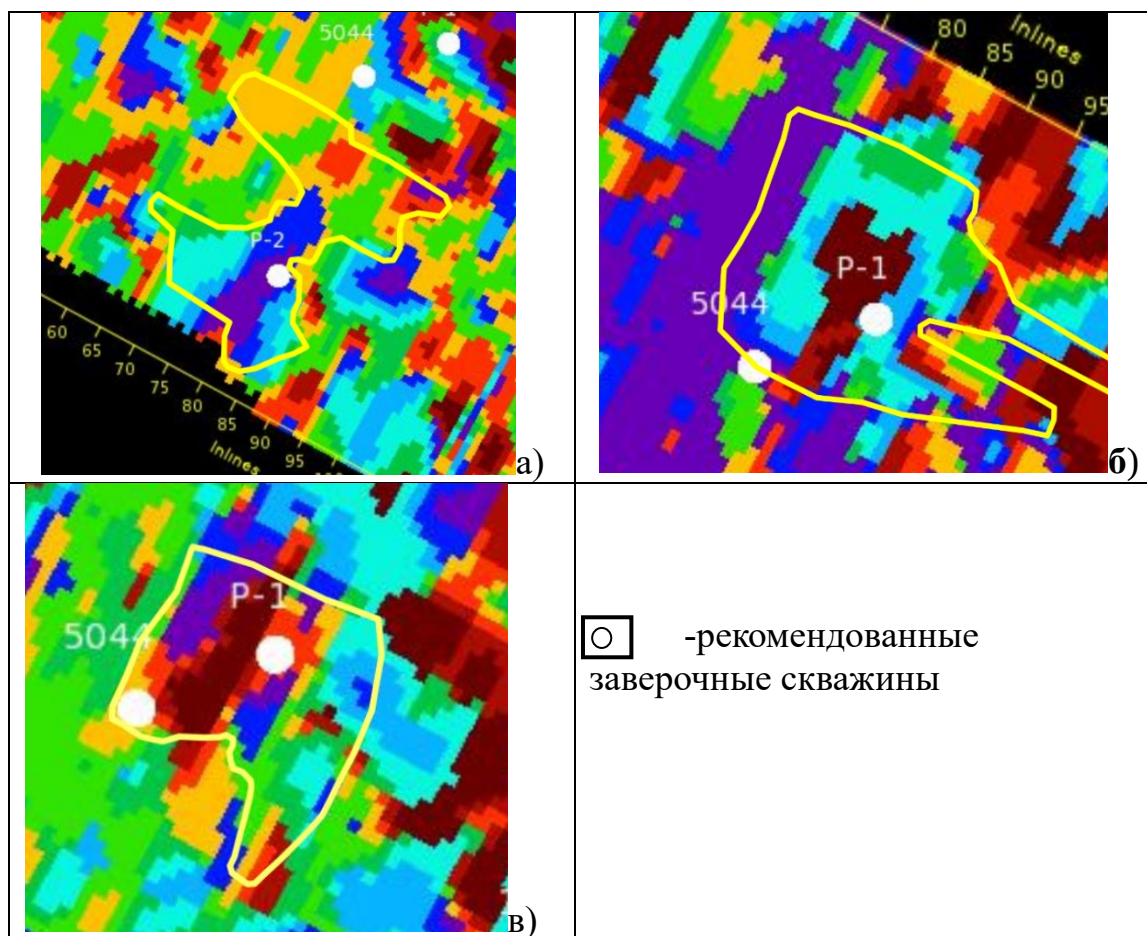


Рисунок 4.22 – Участок Пектас. Распределение сейсмофаций в линзовидном объекте

По наличию аномалий в сейсмофациальной составляющей и контурам выделенных в сейсмическом волновом поле линзовидных тел рекомендовано бурение двух разведочных скважин глубиной 600 м.

По данным интерпретации *на участке Донызауз* были выделены три контура перспективных объектов. Выделение контуров перспективных объектов производилось в структурном плане по признаку линзовидных в разрезе тел, приуроченных к флексурам, обнаруженным вдоль рудоносных горизонтов (рисунок 4.23).

По контурам выделенных в сейсмическом волновом поле тел авторами проекта рекомендуется бурение пяти разведочных скважин глубиной 500 м.

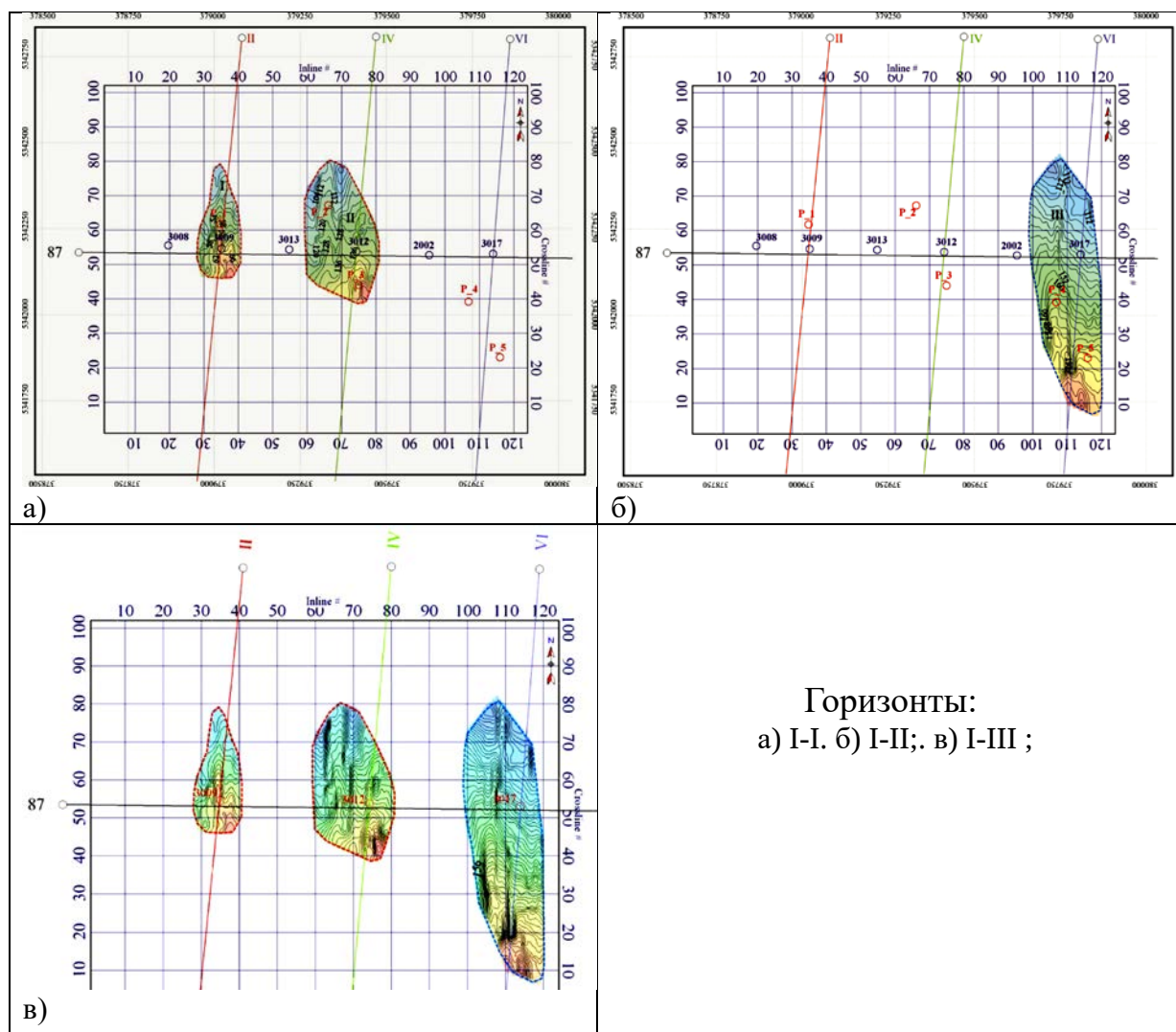


Рисунок 4.23 – Участок Донызауз. Контуры объектов по горизонтам (данные глубинной миграции).

По данным структурной и динамической интерпретации *на участке Западная Сарыоба* были выделены восемь контуров перспективных объектов – aa, bb, cc, dd, ee, ff, gg и hh. Выделение контуров перспективных объектов производилось в структурном плане по признаку линзовидных в разрезе тел, приуроченных к флексурам, обнаруженным вдоль рудоносных горизонтов

(рисунок 4.24). Объекты **cc** и **gg** выделены в двух пространственных единицах в одном и том же глубинном интервале, относительно отслеженных опорных горизонтов. Размеры площади выделенных объектов приведены в таблице 4.2. По контурам выделенных в сейсмическом волновом поле рудных тел рекомендовано бурение десяти разведочных скважин (P1÷P10) глубиной 550-820 м.

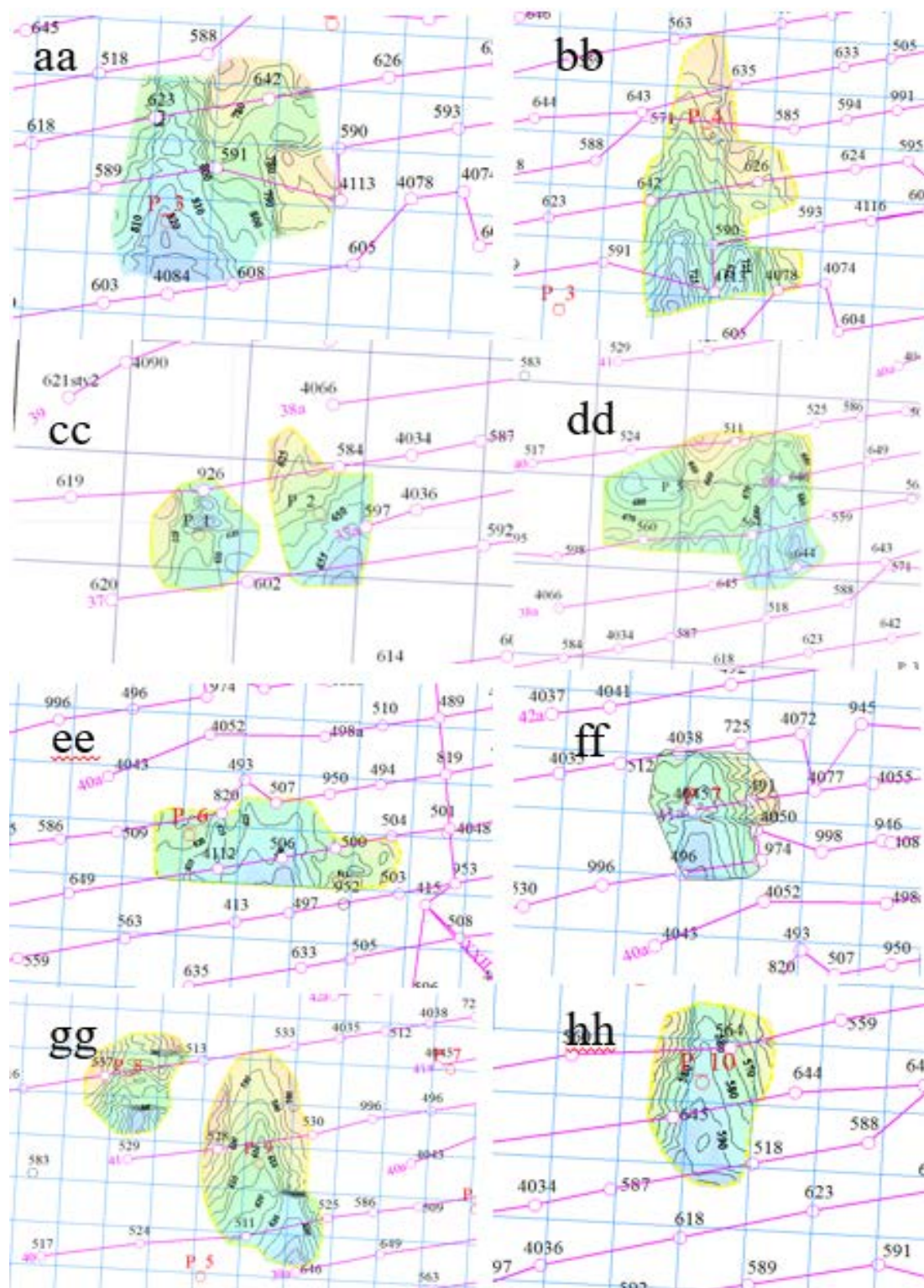


Рисунок – 4.24- Выделенные по данным сейсморазведки МОГТ-3D рудные объекты aa-hh

Таблица 4.2- Площадь выделенных по данным сейсморазведки объектов на участке Западная Сарыоба.

Объект	Площадь, кв.м.
aa	106751,11
bb	94421,92
cc	27013,41
cc	35163,47
dd	119286,88
ee	52929,48
ff	35439,22
gg	38053,36
gg	95390,13
hh	42191,41

Выводы. В результате обработки данных сейсморазведки МОГТ-3D на исследуемых участках получены сейсмические кубы во временной и глубинной областях, построены скоростные модели по сейсмическим данным. Полученное трехмерное сейсмическое изображение, в совокупности с применением современных трехмерных процедур цифровой обработки и интерпретации сейсмических сигналов позволили уточнить геологическое строение целевых объектов исследований.

В результате структурных построений и динамической интерпретации:

- проведено построение структурной модели (структурных карт и контуров геологических тел) по опытным участкам;
- осуществлен пикинг разломов и трещин по разрывам осей синфазности на вертикальных и горизонтальных временных срезах (слайсах), а также по кубу тектонических нарушений, полученному из атрибута когерентности;
- прослежены продуктивные горизонты по сети инлайн и кросслайн профилей, с шагом 100x100 м;
- проведен анализ динамических параметров для детального изучения литологии разреза.

Составлены карты изохрон и структурные карты в масштабе 1:5000 по отражающим горизонтам соответствующие подошве покровского (C2pk), златоустовского (C2zt) и таскудукского (C2ts) горизонтов. По сейсмическим разрезам хорошо выделяются глубоко залегающие стратиграфические горизонты нижних отделов каменноугольной системы, крупные разломы, микро-тектонические нарушения (небольшие разломы и трещины).

Анализ сейсмических материалов, с широким применением данных бурения, позволил выделить пространственное простираие рудосодержащих горизонтов в верхнебелеутинских слоях и слоях таскудукской свиты нижнего

отдела каменноугольной системы, где ранее было проведено разведочное бурение. В волновых полях четкими отражающими горизонтами проявляются кровля окремнелых известняков (C_2pk), рудосодержащие зеленовато-серые песчаники в верхнебелеутинских слоях (ІБ-IV, ІБ-III) и кровля нижнебелеутинских слоев (C_1nbl_1).

На стадии динамической интерпретации атрибут сейсмофаций позволил выполнить анализ изменения формы сейсмического импульса вдоль целевых горизонтов, увязанных с лито-фациальными особенностями строения рудоносных горизонтов и параметрами рудных объектов.

На основе анализа структурных карт и карт атрибутов с учетом бурения прошлых лет по участкам выданы рекомендации на заложение разведочных скважин.

5 СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ РУДОПЕРСПЕКТИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ЖЕЗКАЗГАНСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ

Оптимизация поисково-разведочных работ, когда обнаружение месторождения и выбор мест его разбурирования осуществляют по комплексу сейсмической информации о строении геологической среды, позволяет существенно повысить «успешность» бурения скважин. Данная оптимизация снижает затраты на бурение, ускоряет ввод месторождений в эксплуатацию и делает их инвестиционно привлекательными. В подтверждении таких возможностей можно сослаться на мировую статистику «успешности» бурения скважин, по результатам сейсморазведки, которая при поиске (обнаружении) месторождения составляет 30-35%, а при разведке – 65-70%, что указывает на существование «скрытых» резервов по совершенствованию поисково-разведочных работ с применением сейсмических методов [80,81].

На исследуемых участках основным рудоносным является таскудукский горизонт таскудукской свиты, наиболее насыщенный промышленной рудной минерализацией. Затем по количеству рудной минерализации выделяется жиландинский горизонт, залегающий на отложениях белеутинских слоев нижнего карбона (C1sbl). В разрезе рудоносной толщи выделяются: мелко-среднезернистые песчаники, раймундовские и внутриформационные конгломераты, гравелиты, алевролиты и алевропесчаники [22,23,88].

Руды в пределах месторождений Жиландинской группы, как и на Жезказганском месторождении, в указанных горизонтах характеризуются следующими особенностями [Ужва В.И., 2012]:

а) рудная минерализация тяготеет к среднезернистым песчаникам серого и темно-серого цвета (часто обогащенным обуглившейся органикой) преимущественно на известковистом цементе;

б) в пределах каждого рудоносного горизонта наиболее выдержанными являются залежи, приуроченные к средней их части. Рудные залежи, находящиеся в верхах или низах рудоносного горизонта, отличаются крайней невыдержанностью и распадаются на обособленные рудные тела;

в) характерной особенностью локализации оруденения на Сарыобинских месторождениях так же, как на Жезказганском месторождении, является многоярусное расположение преимущественно согласно залегающих пластообразных рудных залежей, характеризующихся крайне неравномерным распределением рудных минералов. Прослой с богатыми содержаниями меди переслаиваются с бедными или безрудными слоями. Весьма неравномерный характер распределения рудной минерализации обусловлен поступлением рудоносных растворов в *легкопроницаемые межпластовые и внутрипластовые участки*;

г) в пределах рудовмещающих горизонтов залежи разобщены между собой прослоями пустых пород. Безрудные прослой обычно представлены пластичными алевролитами и мелкозернистыми песчаниками, отличающимися

слабой степенью дробления. Приуроченность же основной массы руд к сероцветным среднезернистым песчаникам объясняется их хрупкостью и высокой пористостью;

д) богатая минерализация сульфидов наблюдается вдоль межпластовых нарушений и зон дробления, образующихся на контактах часто чередующихся прослоев пород с различным гранулометрическим составом, либо вдоль послойного скопления растительных остатков;

е) характер рудной минерализации чаще зависит от гранулометрического и петрографического состава рудовмещающих пород. Так, в среднезернистых песчаниках развито преимущественно вкрапленное оруденение. Прожилковое оруденение встречается вблизи межпластовых нарушений и на участках развития интенсивной трещиноватости. В песчаниках с полосчатой текстурой, обусловленной тонким переслаиванием песчаников различной крупности зерна, оруденение тяготеет к более крупнозернистым прослойкам;

ж) богатое прожилковое и вкрапленное оруденение во вмещающих породах наблюдается на участках интенсивной трещиноватости с повышенным содержанием органического вещества.

В описанных выше таскудукском и жиландинском горизонтах довольно многочисленны мелкие трещины, выполненные кальцитом и вкрапленностью рудных минералов. На участках значительного развития трещин оруденение имеет прожилково-вкрапленный характер. Прожилковое оруденение встречается вблизи межпластовых нарушений и также на участках развития интенсивной трещиноватости [32].

Трещиноватость и ее неравномерность распределения в геологической среде являются исключительно важной информацией, которая в настоящее время недостаточно полно или вообще не используется при поиске, разведке и разработке месторождений твердых полезных ископаемых [55].

Для изучения распределения трещиноватости учёными и специалистами «Научной школы нефтегазовой сейсмоакустики» под руководством профессора О.Л. Кузнецова созданы инновационные сейсмические технологии многоволновой сейсмотомографии «Сейсмический локатор бокового обзора» (СЛБО) (Кузнецов и др., 2004), многоволновой сейсмотомографии «Сейсмолокация очагов эмиссии» (СЛОЭ) (Кузнецов и др., 2007) и «Акустическая низкочастотная разведка» (АНЧАР) (Арутюнов и др., 1997), а также акустические технологии «Каротаж сейсмоакустической эмиссии» (КСАЭ) (Кузнецов и др., 2007). Создание и совершенствование этих технологий проводилось на основе результатов теоретических исследований и многочисленных экспериментальных лабораторных, скважинных и полевых работ. Данные исследований позволили детально изучить процессы трещинообразования и возникновения волн сейсмоакустической эмиссии, установить закономерность изменения амплитудно-временных сейсмических параметров в зависимости от типа трещиноватости и флюидонасыщения горных пород [45,77].

В сейсмических технологиях СЛБО, СЛОЭ и АНЧАР для повышения геологической эффективности изучения трещиноватости и флюидонасыщения осадочной толщи используют волны рассеянного отражения и микросейсмической эмиссии (МСЭ), а не зеркального отражения, как в традиционной сейсморазведке. Это позволяет значительно повысить достоверность получаемой сейсмической информации о трещиноватости и флюидонасыщении геологической среды [77].

Сейсмические волны рассеянного отражения (или рассеянные волны) образуются в геологической среде на неоднородностях с размерами соизмеримыми и меньше длины падающей сейсмической волны. Наиболее жёсткой, в акустическом отношении, неоднородностью является открытая трещина, и на совокупности открытых трещин (в пределах 1-ой зоны Френеля) возникает рассеянная волна, амплитуда которой доминантно зависит от интенсивности трещиноватости горных пород, где сформировалась данная волна. Учитывая, что трещиноватость в геологической среде существует повсеместно («...не трещиноватых горных пород в природе не существует...» (Дорофеева, 1986), то рассеянные волны возникают тоже повсеместно. Поэтому для наблюдения и позиционирования рассеянных волн используется локационный обзор, а для исключения (подавления) влияния интерференции зеркально отражённых волн локационный обзор должен быть боковым.

Это позволяет при боковом локационном обзоре в каждой точке сканирования геосреды определять энергию рассеянного отражения, которая соответствует интенсивности открытой трещиноватости. Таким образом, используя рассеянные волны, которые всегда присутствуют, как и зеркально отражённые, в искусственно возбуждённом сейсмическом волновом поле, можно с помощью локатора бокового обзора получить информацию о пространственном (2D и 3D) распределении интенсивности, открытой трещиноватости в геологической среде.

На участке Западная Сарыоба материалы 3D-МОГТ были обработаны по технологии СЛБО и получено 3D-поле энергии рассеянных волн, отождествляемой с индексом открытой трещиноватости. Учитывая, что основной задачей данных исследований является выявление рудосодержащих объектов по информации о распределении трещиноватости в геосреде, то для геологической интерпретации была взята следующая модель.

Образование рудных залежей происходило в осадочной толще, во-первых, в наиболее пористых пропластках песчаника и, во-вторых, на участках аномально высокой открытой трещиноватостью. В результате «залечивания» трещин рудой и «затухания» магматического очага интенсивность трещиноватости в местах образования рудных залежей снизилось относительно первоначального. Однако, поле трещиноватости кардинально не изменилось, т. к. основная геодинамическая обстановка на площади осталась прежней. Это позволяет провести сопоставительный анализ значений концентрации руды (по скважинам) и интенсивности полученного поля трещиноватости с целью выбора

оптимального диапазона трещиноватости, соответствующего высокой концентрации руды во вмещающей толще.

На участке Западная Сарыоба по кровле горизонта 1, имеющего наиболее представительную статистику скважин с балансовым рудосодержанием, построен структурный срез индекса трещиноватости по кровле данного горизонта (рисунок 5.1), на который вынесены структурная карта кровли и скважины с радиусом окружности по значению продуктивности:

$$\sum(\Delta h_i \cdot \%Cu_i), \quad (4)$$

где, Δh_i – мощность пропластка с балансовым содержанием меди и $\%Cu_i$ – процентное содержание меди в пропластке.

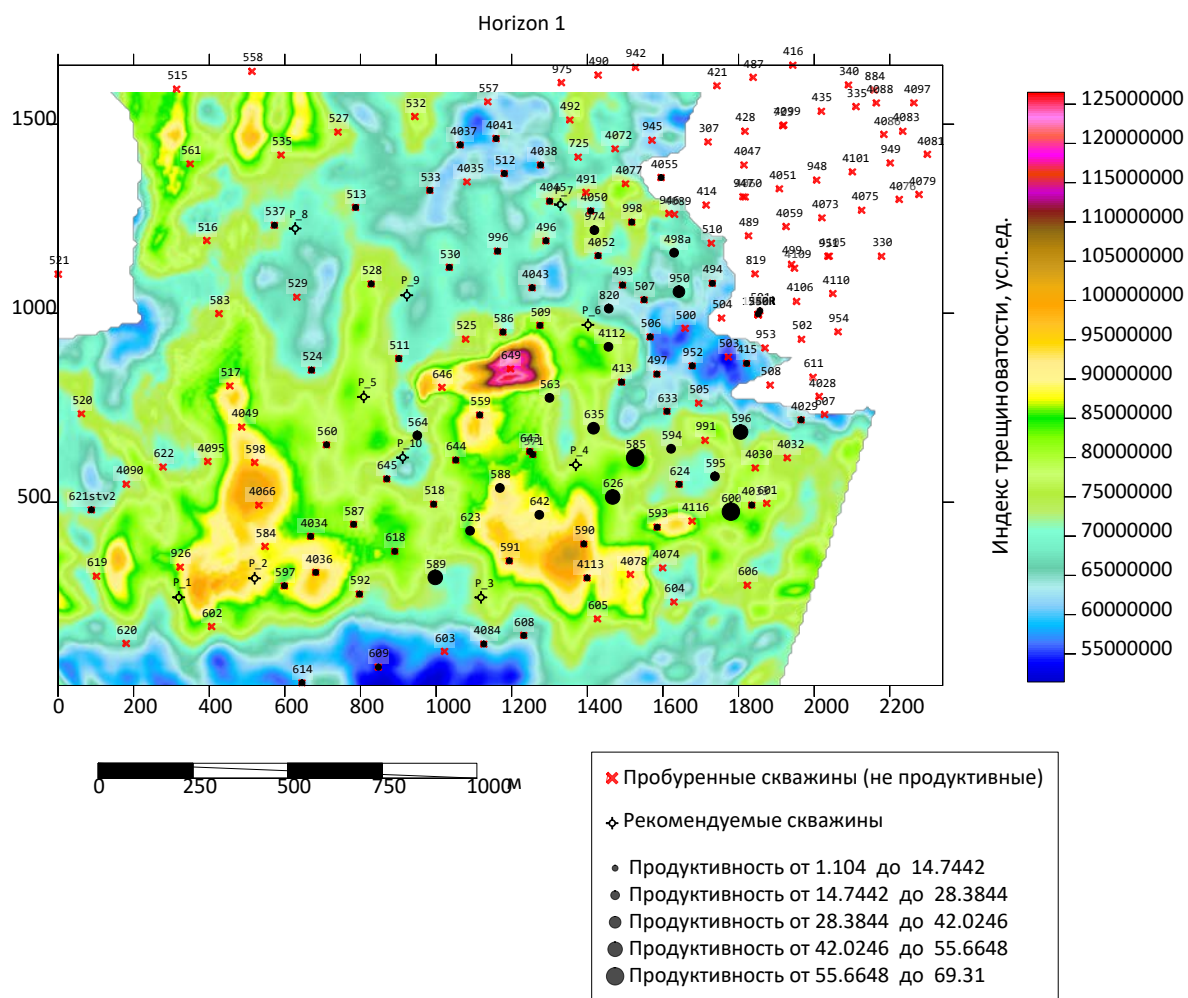


Рисунок 5.1 – Структурный срез 3D-поля трещиноватости по кровле горизонта 1, построенного по сейсмическим данным участка Западная Сарыоба.

Анализ данного среза позволяет отметить, что на участках относительно интенсивной трещиноватости отсутствуют скважины с высокой продуктивностью, которые располагаются, в основном, на участках со средней трещиноватостью. Рассчитана корреляционная зависимость между

продуктивностью скважин и индексом трещиноватости (рисунок 5.2), которая показывает, что прямая зависимость между параметрами хотя и наблюдается (особенно для высокопродуктивных скважин), но низкий коэффициент корреляции ($R=0,26$) не позволяет с необходимой достоверностью трансформировать трещиноватость в продуктивность.

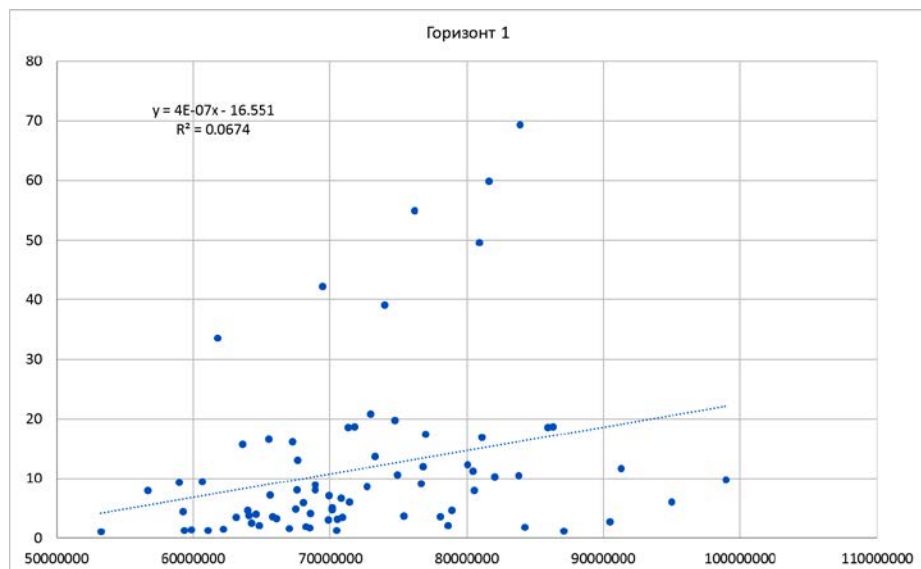


Рисунок 5.2 - Корреляционная зависимость между продуктивностью скважин и трещиноватостью

По результатам анализа скважинных данных и распределение продуктивности построены гистограммы средней продуктивности скважин (рисунок 5.3), общей продуктивности (рисунок 5.4) и количества «пустых» пробуренных скважин (рисунок 5.5) для пошагового изменения индекса трещиноватости, а также гистограмма изменения трещиноватости на площади (рисунок 5.6).



Рисунок 5.3 - Гистограмма средней продуктивности скважин в поле трещиноватости



Рисунок 5.4 - Гистограмма накопленной продуктивности в шаговом интервале



Рисунок 5.5 - Количество пустых скважин в шаговом интервале трещиноватости



Рисунок 5.6 - Гистограмма площади пошагового интервала трещиноватости

Анализ этих графиков и сопоставление полученных зависимостей (рисунок 5.7 и 5.8) позволил определить интервалы трещиноватости, где находятся наиболее продуктивные скважины. Далее в этих интервалах выделены участки с наиболее высокой концентрацией руды. Кроме того, в поле низкой трещиноватости при сопоставлении графиков средней продуктивности скважин

и количество пустых скважин (рисунок 5.8) выделен перспективный интервал с повышенной продуктивностью, формирование которого обусловлено, вероятнее всего, высокой гранулярной пористостью песчаника.

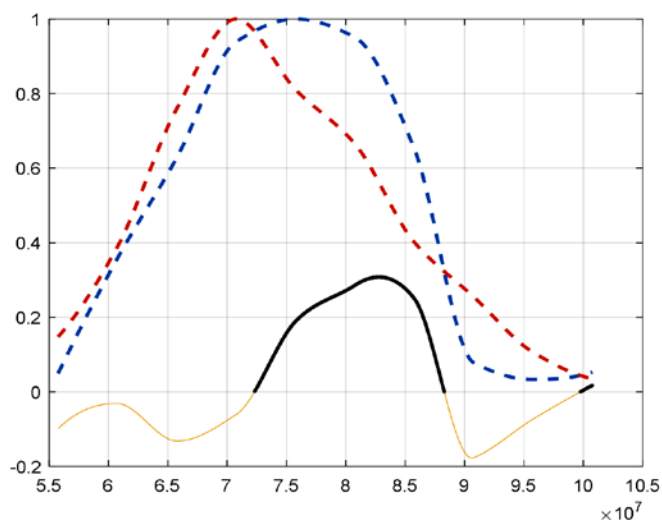


Рисунок 5.7-Сопоставление графиков общей продуктивности (синий), площади пошаговой трещиноватости (красный) и их разности (чёрный) по горизонту 1.

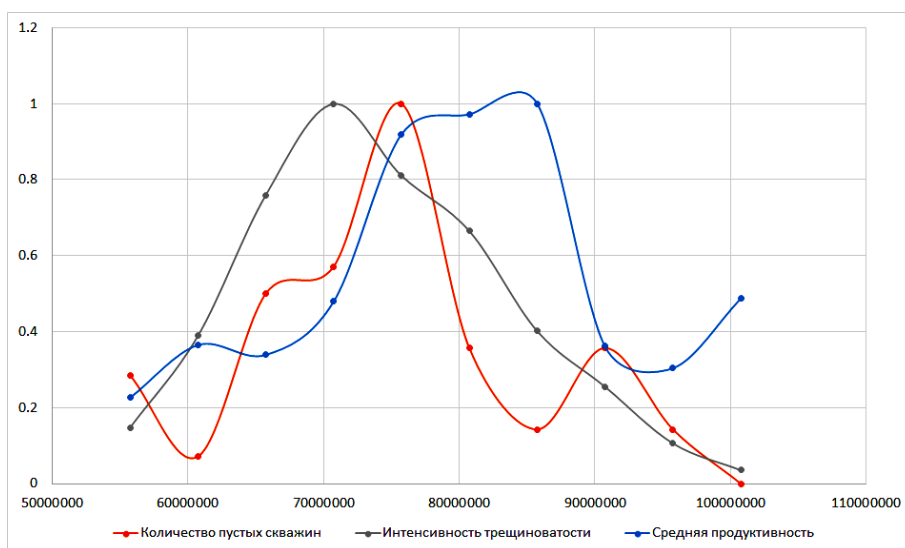


Рисунок 5.8 - Сопоставление графиков средней продуктивности скважин (синий), площади пошаговой трещиноватости (зелёный) и количество пустых скважин (красный).

По выделенным интервалам поля трещиноватости построена карта перспективных участки продуктивности, толщи горизонта 1 с различной концентрацией руды: низкой, средней и высокой (рисунок 5.9). При сопоставлении полученной карты с данными бурения скважин, отмечено хорошее соответствие в пределах статистической погрешности.

Таким образом, на участке Западная Сарыоба впервые была применена технология обработки сейсмических данных методом СЛБО, разработанная и традиционно используемая для изучения неоднородности открытой

трещиноватости и флюидонасыщенности геологического разреза нефтегазовой залежи. В итоге установлена приуроченность повышенной концентрации медного оруденения к зонам средней степени трещиноватости. Построена карта перспективных участков горизонта 1 с различной концентрацией рудных компонентов: низкой, средней и высокой (рисунок 5.9).

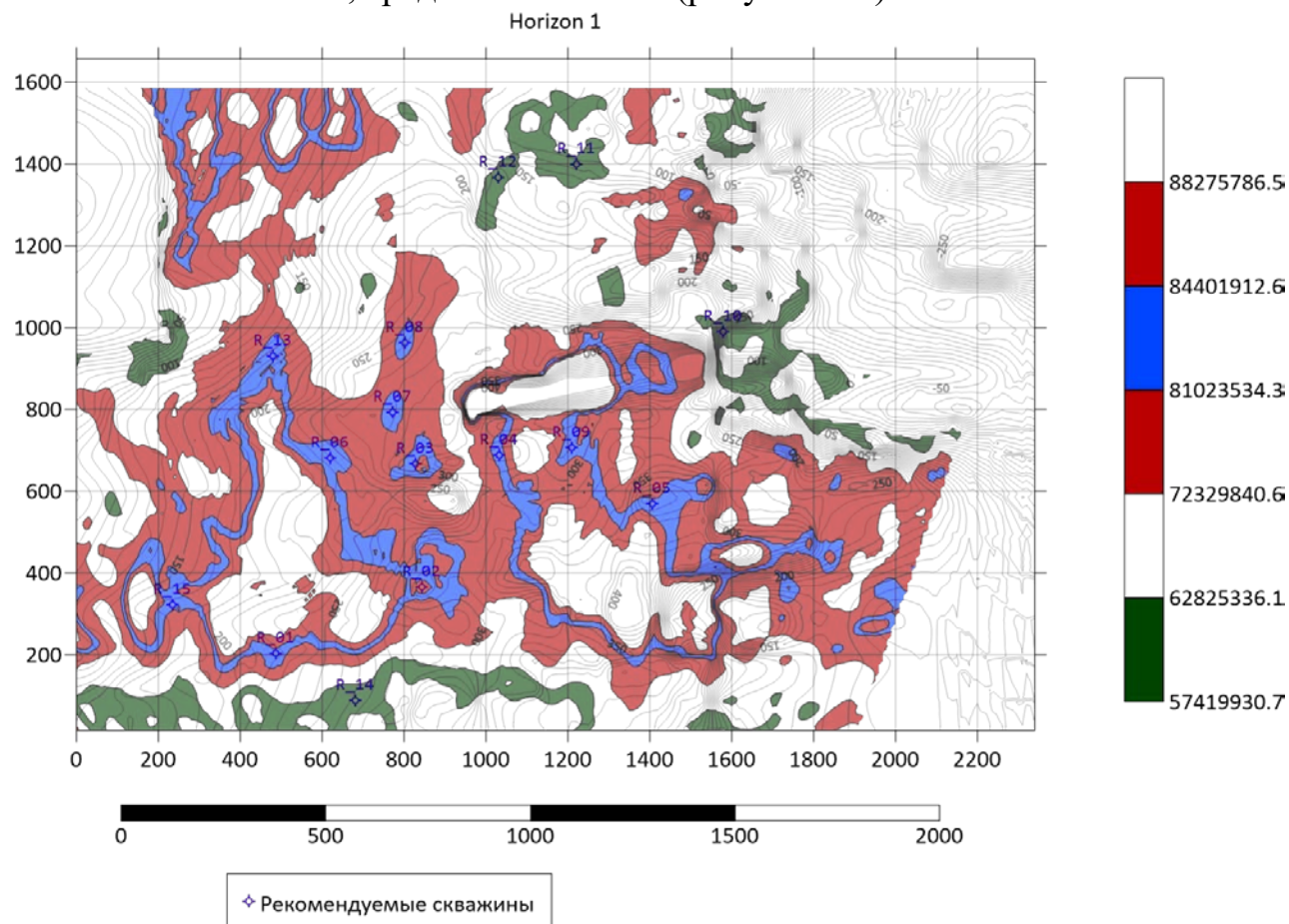


Рисунок 5.9 - Карта перспективных участков с высокой (голубой), средней (коричневый) и низкой (зелёный) концентрацией руды в толще горизонта 1

Выводы. Проведенные экспериментальные исследования по участку 3. Сарыоба дали положительные результаты по применению метода сейсмической локации бокового обзора (СЛБО) для изучения распределения открытой трещиноватости в геологической среде на основе площадных сейсмических наблюдений в активном режиме, выделения рассеянно отражённых волн и позиционирования их параметров в геологической среде. Переобработка 3D МОГТ на участке 3. Сарыоба метода СЛБО выявила зоны дробления и трещиноватости и, связанные с ними, пространственное положение рудных зон.

6 ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ 3D СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РУДНОЙ ГЕОЛОГИИ

6.1 Результаты анализа комплексных геолого-геофизических исследований

При обосновании и выборе методики поисков месторождений жезказганского типа очень важно учитывать специфические особенности состава и структуры рудных залежей, отличающие их от многих других сульфидных месторождений. Прежде всего, это состав руд, в которых доминирует триада сульфидов меди: халькозин, халькопирит, борнит и практически полностью отсутствует пирит. Вследствие этого многие электрические методы, часто и успешно используемые, на рудных объектах, например, при поисках месторождений колчеданного и порфирового типов, оказываются неэффективными для медистых песчаников.

Важной особенностью является локализация медистых песчаников (в виде пластовых или ленточных залежей) в пределах проницаемых горизонтов. В перекрывающих и подстилающих отложениях (как правило, значительно менее проницаемых) концентрации меди без какого-либо ореола резко снижаются до кларковых.

Благоприятными сейсмогеологическими факторами для исследуемого района и детального изучения непосредственно рудных горизонтов Жиландинской группы месторождений являются следующие геолого-структурные особенности строения опытных участков:

1. Основным рудоносным является таскудукский горизонт таскудукской свиты, наиболее насыщенный промышленной рудной минерализацией. Затем по количеству рудной минерализации выделяется жиландинский горизонт, залегающий на отложениях белеутинских слоев нижнего карбона (C1sbl). В разрезе рудоносной толщи выделяются: мелко-среднезернистые песчаники, раймундовские и внутриформационные конгломераты, гравелиты, алевролиты и алевропесчаники

2. Промышленные руды выявлены в серых песчаниках с прослойками известняков с фауной. Таскудукский горизонт свиты представлен пачкой серых мелкозернистых песчаников, переслаивающихся с часто выклинивающимися серыми, реже красными алевролитами, серыми внутриформационными конгломератами и бурыми песчаниками. Жиландинский горизонт белеутинских слоев имеет геологический разрез, схожий с таскудукским.

3. В описанных выше таскудукском и жиландинском горизонтах довольно многочисленны мелкие трещины (размером от нитевидных до 1-2 см), выполненные кальцитом и вкрапленностью рудных минералов. На участках значительного развития нитевидных трещин оруденение имеет прожилково-вкрапленный характер.

4. Руды в указанных горизонтах характеризуются следующими особенностями:

- рудная минерализация тяготеет к средне- и крупнозернистым песчаникам серого и темно-серого цвета (часто обогащенным обуглившейся органикой) преимущественно на известковистом цементе;
- безрудные прослои обычно представлены пластичными алевролитами и мелкозернистыми песчаниками, отличающимися слабой степенью дробления;
- приуроченность основной массы руд к сероцветным среднезернистым песчаникам объясняется их хрупкостью и высокой пористостью.

5. Ярко выражен структурный контроль оруденения: более интенсивная минерализация приурочена к зонам дробления пород на крыльях складок, к зонам пологих внутри- и межпластовых нарушений.

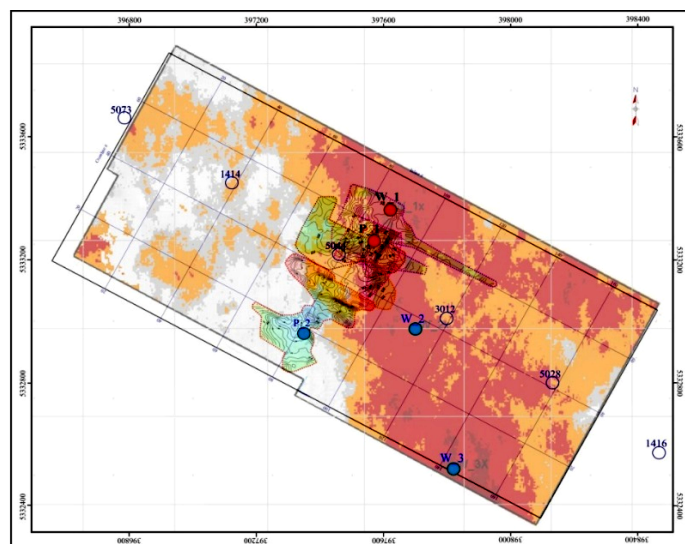
Учитывая все вышесказанное на выбранных участках с известными залежами медистых песчаников на основе детальной 3D сейсморазведки и изучения особенностей полученного сейсмического сигнала получены:

- детальная информация о структурном и стратиграфическом строении рудовмещающих толщ;
- выявлены характерные для рудных горизонтов и рудных тел кинематические и динамические параметры волнового поля, связанные с текстурно- структурными неоднородностями;
- разработаны на этой основе поисково-разведочные сейсмогеологические признаки выделения значимых медных объектов и создания объективной модели рудных горизонтов.

Проведенный комплексный анализ геолого-геофизических данных позволил выявить перспективные площади и дать рекомендация на бурение разведочных скважин (заверочных) на участках Пектас, Донызауз, Западная Сарыоба (рисунки 6.1-6.3).

При определении местоположения проектных скважин обосновано использовались:

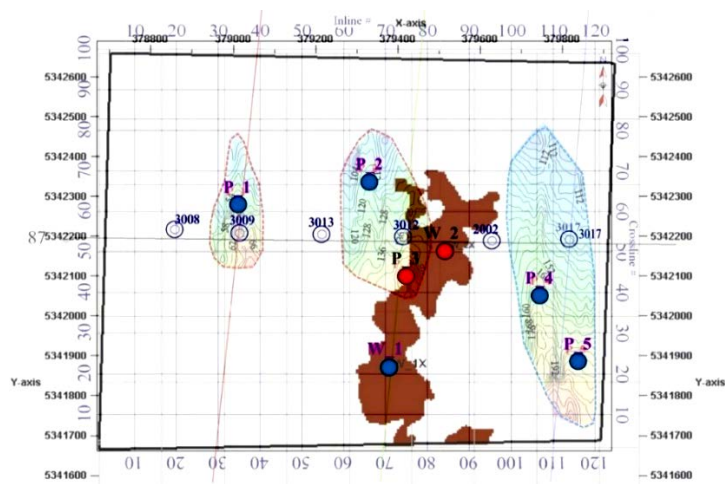
- 1) Структурные карты продуктивных горизонтов, выделенные по сейсморазведочным данным в результате интерпретации сейсмических материалов МОГТ 3Д с учетом данных бурения.
- 2) Результаты определения закономерностей распределения полезного компонента в пределах изучаемых участков, выполненное на основе структурного и блочного моделирования, с применением геостатистического анализа содержаний полезного компонента.
- 3) Геостатистический анализ геолого-геофизических данных основывался на построении вариограмм, определение законов пространственной изменчивости геологических характеристик компонентов, моделирования содержания компонентов математическими методами. Качество построенной геологической модели месторождения зависело, в первую очередь, от качества исходных данных и от корректности структурной модели изучаемого участка, построенной по сейсмическим материалам.



Условные обозначения

- 1- очереди (рекомендуемые по двум методам интерпретации)
- 2- очереди (рекомендуемые по одному из методов интерпретации)
- Пробуренные разведочные скважины
- Контур рудных тел
- Контур рудного тела-I^в-IV
- Контур рудного тела-II
- Контур рудного тела-III
- Контур рудного тела-IV
- Контур рудного тела-V
- Среднее содержание полезного компонента ~ 1,97 %
- Среднее содержание полезного компонента ~ 0,99 %
- Среднее содержание полезного компонента ≤ 0,78 %

Рисунок 6.1 – Схема расположения проектируемых заверочных скважин участка Пектас

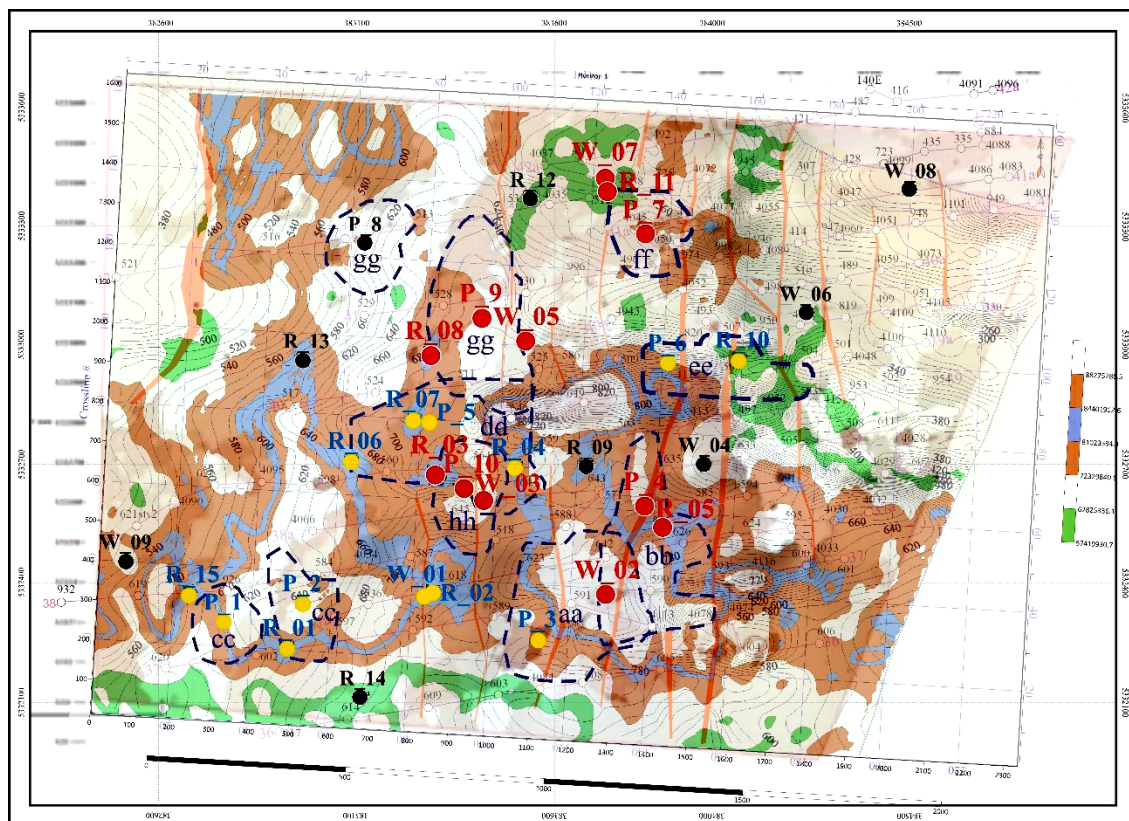


Условные обозначения

- 1- очереди (рекомендуемые по двум методам интерпретации)
- 2- очереди (рекомендуемые по одному из методов интерпретации)
- Пробуренные скважины
- Контур рудных тел
- Изолинии (от линии приведения, м) по отражающему горизонту 1-III, 1-II-I
- Среднее содержание Cu- 0,24 %

Рисунок 6.2 – Схема расположения проектируемых заверочных скважин участка Донызауз

4) Анализ распределения наиболее пористых пропластков песчаников на участках аномально высокой открытой трещиноватости и связанную с ней высокую концентрацию руды во вмещающей толще (технологии СЛБО для получения 3D-поля энергии рассеянных волн, отождествляемой с индексом открытой трещиноватости и пористости).



Условные обозначения

Положение проектируемых, заверочных скважин:

- 1- очереди (рекомендуемые по трем методам интерпретации)
- 2- очереди (рекомендуемые по двум методам интерпретации)
- 3- очереди (рекомендуемые по одному из методов интерпретации)
- Пробуренные разведочные скважины

--- Контурные рудных тел

~ Изолинии (от линии приведения, м) по отражающему горизонту 1

Содержание руды в толще горизонта 1:

- высокой концентрации
- средней концентрации
- низкой концентрации

Рисунок 6.3- Схема расположения проектируемых заверочных скважин участка Западная Сарыуба

На завершающем этапе результатов исследований полученные данные позволили автору сформировать:

1.Технологию выявления рудных объектов на основе комплексного структурного, геолого-геофизического и литолого-фациального анализа, с

широким использованием современных технологий 3D сейсморазведки, обеспечивающая научно-обоснованное прогнозирование и проектирование оптимальной разработки сложно построенных рудных объектов в Казахстане.

2. Методологию формирования базы данных геолого-геофизической информации (полевые исследования; обобщение и анализ материалов прошлых лет), разработки и использования рационального комплекса геолого-геофизических исследований; геологического моделирования для поисков, разведки и разработки рудных месторождений.

С целью дальнейшего углубленного изучения геологического строения участков Пектас, Донызауз, 3. Сарыоба рекомендуется выполнить комплекс детальных геофизических работ, с обязательным подтверждением по данным разведочного бурения.

6.2 Выводы и рекомендации по применению 3D сейсморазведки при решении задач рудной геологии

В настоящее время разработаны новые и постоянно совершенствуются существующие технологии методов обработки и интерпретации сейсмических данных, открывающие новые возможности для накопления полезных сигналов и более эффективной борьбы с помехами в условиях исследований сложнопостроенных геологических объектов [34,39,44]. Учитывая, что существующие сегодня, в большом количестве и эффективно используемые при изучении газонефтяного разреза, методы анализа и интерпретации сейсмических волновых полей с применением специализированных геоинформационных систем, применение этих технологий на этапе детальной разведки глубокозалегающих рудных месторождений приобретает особую актуальность.

По мнению автора наиболее важными задачами в области рудной сейсморазведки сегодня являются следующие вопросы:

- усовершенствование методики полевых и скважинных сейсмических наблюдений;
- создание специализированных систем цифровой обработки и интерпретации применительно к решению задач рудной геологии;
- адаптация уже разработанных многочисленных технологий интерпретации сложных волновых полей с применением специализированных геоинформационных систем для моделирования рудных горизонтов и прослеживания их в пространстве.

Учитывая выше сказанное, автором проведено комплексное геолого-геофизическое моделирование с широким применением сейсморазведочных данных на опытных участках Жезказганского рудного района и получены следующие результаты:

- в совокупности с применением современных процедур цифровой обработки сейсмических сигналов, получены сейсмические данные высокого разрешения во временной и глубинной областях и построены детальные скоростные модели;

- построенные сейсмические модели с выделением зон изменения упругих свойств (амплитуды, частоты и др.), увязаны с геологической неоднородностью и зонами оруденения медистых песчаников;

- проведены структурная и динамическая интерпретация сейсмических данных и предложена методика построения сейсмогеологической модели медного оруденения Жезказганского типа, включающая структурное картирование скрытых рудоперспективных участков, сейсмофациальный анализ, определение контуров рудовмещающих пород и границ рудных залежей, выделение рудоконтролирующих тектонических нарушений, связанных с оруденением зон разуплотнения, дробления и трещиноватости;

- разработаны дополнительные геофизические критерии и факторы выделения и локализации медного оруденения и рудных тел медистых песчаников на площади Жезказганского района для планирования и управления добычей минерального сырья.

По результатам сейсмических исследований автором предложены следующие практические рекомендации:

1. Использование высоко плотностной широкоазимутальной сейморазведки 3D с применением современных регистрирующих, обрабатывающих и интерпретационных комплексов позволяет получить материалы высокого качества для решения следующих геологических задач:

- изучения структурно-тектонического строения рудных районов;
- выделения и уточнения рудоконтролирующих структур в осадочных и эффузивно-осадочных складчатых комплексах пород;
- обнаружения и глубинного картирования рудоконтролирующих разломов;
- определения пространственного положения рудоносных горизонтов;
- локализации и изучения морфологии рудных тел.

2. При планировании дальнейших исследований МОГТ-3Д рекомендуется, в зависимости от особенностей геологического строения и глубины исследований, выбирать шаблон единичной расстановки и расширить количество трасс ближних удалений для более качественного отображения неглубокозалегающих геологических границ.

3. По результатам исследований на опытных участках Жиландинского рудного поля выявлено несоответствие между выбранными размерами участка (3,36 кв.км.) и утвержденной методикой полевых сейморазведочных работ МОГТ-3Д. Размеры участка не позволили полноценно выполнить сейсмический снос в направлениях, параллельным линиям приема (инлайн) и линиям взрыва (кросслайн) и отобразить точное геологическое строение по периферии площади исследований по отдельным участкам.

4. При выборе методики сейсмических работ преимущество имеет сейморазведка высокого разрешения (МОГТ ВРС) при обязательном комплексировании наземных и скважинных наблюдений. Особенно эффективна сейморазведка 3Д, методический уровень которой постоянно повышается.

Преимущества данной модификации заключаются в следующих возможностях:

- синтезирование временных разрезов в любом выбранном направлении,
- высокой плотности наблюдений, повышенной помехоустойчивости, выполнения трехмерной миграции,
- лучшей сходимости по динамическим параметрам, получения горизонтальных срезов.

5. Сейсморазведочные работы должны выполняться с применением современной технологии и оборудования, с привлечением квалифицированного персонала, позволяющие получить первичные материалы высокого качества, подлежащие дальнейшей обработке и интерпретации.

6. Обработка сейсморазведочных данных 3Д должна включать тестирование и выбор оптимальных параметров и процедур, обеспечивающих оптимальное соотношение сигнал/помеха, определение скоростных характеристик, выделение и прослеживание целевых и вспомогательных отражений, изучение динамических параметров сигналов.

7. Методика интерпретации сейсморазведочных данных 3Д должна обеспечить решение поставленных геологических задач, увязку с сопредельными участками, достоверные глубинные преобразования, изучение и прогноз параметров среды, базироваться на комплексном анализе геолого-геофизических данных. Для качественной привязки сейсмического волнового поля к геологическим границам рекомендуется проведение комплекс скважинных исследований (ВСП и ГИС).

8. С целью повышения эффективности решения обратных динамических задач при интерпретации материалов сейсморазведки предполагается максимально полное использование априорной сейсмогеологической информации, которая должна формироваться на основе данных бурения скважин в пределах участка, ГИС и специальных видов обработки сейсмических данных.

9. Достоверность выделения геологических границ и литологической неоднородности разреза значительно повышается в ходе дальнейшей интерпретации сейсмических данных на основе широкого применения дополнительной информации (ГИС, бурения, электроразведки, магниторазведки, гравиразведки и др.)

В целом комплексное изучение о геологическом строении рудных горизонтов и построение цифровых моделей позволили осуществить достоверный прогноз, оценку и подготовку к разведочному бурению рудоперспективных структур, а также необходимые данные для подбора объективных кондиций при подсчете запасов, открытой и подземной разработки неосвоенных участков Жиландинской группа медных месторождений. Дана оценка возможности получения модели рудных залежей на основе трёхмерной сейсморазведки для геолого-экономической оценки потенциально рудных горизонтов медистых песчаников и определения эффективности проведения сейсморазведочных работ в новых исследуемых районах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время разработаны новые и постоянно совершенствуются существующие технологии методов обработки и интерпретации сейсмических данных, открывающие новые возможности для накопления полезных сигналов и более эффективной борьбы с помехами в условиях исследований сложнопростроенных геологических объектов [10,29]. Учитывая, что существующие сегодня, в большом количестве и эффективно используемые при изучении газонефтяного разреза, методы анализа и интерпретации сейсмических волновых полей с применением специализированных геоинформационных систем, применение этих технологий на этапе детальной разведки глубокозалегающих рудных месторождений приобретает особую актуальность [32,34].

В диссертации представлены результаты исследований по созданию геологических моделей рудных объектов с широким использованием современных технологий обработки и интерпретации сейсморазведки. На примере стратиформных месторождений Жезказганского рудного района Центрального Казахстана показана возможность сейсморазведки для построения геологических моделей рудных объектов. По результатам полевых сейсморазведочных работ методом высокоплотностной широкоазимутальной 3D сейсморазведки получены трехмерные сейсмические изображения, построены сейсмические модели с выделением аномальных зон волновых полей (амплитуды, частоты и др.), что позволило перейти к обнаружению и объемному изучению факторов непосредственного рудоконтроля, а в отдельных случаях самих рудных залежей на практически освоенных глубинах добычи и разведки

С использованием сейсмических данных и результатов опробования рудных горизонтов проведено геостатистическое моделирование методом интерполяции значений содержания металлов: Cu, Pb, Zn. Установлены закономерности распределения полезных компонентов с учетом скоростных особенностей рудных горизонтов. Продифференцированы и оконтурены зоны разной степени повышенной концентрации полезных металлов. Выделены дополнительные контуры оруденения в продуктивных горизонтах на выбранных участках Жезказганского рудного района.

Краткие выводы по результатам диссертационных исследований

1. Проведенный обзор мирового опыта применения сейсморазведки при решении задач рудной геологии показал, что, на сегодняшний день получены многочисленные положительные результаты по 2D и 3D полевых сейсморазведочных работ на различных месторождениях твердых полезных ископаемых. Сейсмические методы все чаще используются в рудной геологии для выявления широкого спектра рудных объектов, включая основные металлы (Cu, Pb, Zn, Al и др), уран, алмазы и драгоценные металлы и обеспечивают изучение глубинных геологических структур вмещающие рудоносные горизонты, а в некоторых случаях могут использоваться для прямого выделения рудных залежей. Применение традиционных технологий обработки и

интерпретации данных 3D сейсморазведки на рудных объектах Жезказганского района Центрального Казахстана позволили существенно расширить возможности выявления рудоперспективных структур и рудных залежей медистых песчаников.

2. Обзор и анализ проведенных ранее геолого-поисковых работ в пределах Жезказганской синклинали и граничных площадях показали, что сейсмогеологические условия района исследований благоприятны для проведения здесь детальных сейсмических исследований. По структурному положению, глубине погружения фундамента, характеру тектоники и по составу слагающих пород Жезказганская впадина обнаруживает ряд общих черт с геологической неоднородностью нефтегазоносных осадочных бассейнов, успешно изучаемых современными методами сейсморазведки.

3. Высокое качества полевых наблюдений достигнуто за счет оперативной корректировки реальных пунктов приема (ПП) и пунктов взрыва (ПВ) в зависимости от поверхностных условий размещения выносов компенсационных ПВ расчета теоретической кратности и атрибутов бина занесения теоретических, принятых разбитых, пробуренных и отработанных ПП и ПВ в полевую базу данных Field Geo Data Base и построения карт прогресса работ, регулярной подготовки и проверки полевых данных перед передачей на обработку, обеспечили получение первичных полевых данных для решения поставленных геологических задач.

4. Многообразие использованных процедур обеспечило гибкий граф обработки сейсмических данных, позволивший осуществить сохранения кинематических и динамических особенностей волнового поля для выделения и прослеживания заданных целевых горизонтов; обеспечение достоверных структурных построений; обработки и увязки данных, зарегистрированных скоростных параметров; достижения высокой разрешенности сигнала и точности детализационных построений; повышение надежности структурных построений глубоко расположенных целевых горизонтов за счет максимального исключения влияния вышерасположенных геологических объектов.

5. Для стратиформных месторождений медистых песчаников показана возможность современных обрабатывающих и интерпретационных комплексов сейсмических исследований при построении модели глубинных геологических неоднородностей рудовмещающих комплексов и рудных горизонтов. Проведенный анализ структурных карт и карт атрибутов выявил сейсмические аномалии, связанные с тонкими геологическими неоднородностями изучаемого разреза. В комплексе с данными разведочного бурения, установлено пространственное положение рудосодержащих горизонтов в верхнебелеутинской и отдельных слоях таскудукской свит нижнего отдела каменноугольной системы.

6. Исходя из имеющегося геолого-геофизического материала, по данным интерпретации сейсмических данных МОГТ 3Д, результатов моделирования с широким применением бурения уточнено геологического строение и выявлены рудоносные горизонты на участках Пектас, Донызауз, З. Сарыоба. На этапе

динамической интерпретации проведено опробование методики атрибутного анализа и выделены контуры рудных тел, характеризующиеся проявлениями медного оруденения. Атрибутный анализ сейсмических данных впервые использован для изучения закономерностей изменения литолого-фациального состава и свойств пород, типов и неоднородности оруденения. Классификация сейсмических фаций, с настраиваемым атрибутным анализом волнового поля, основанного на работе нейросетей, дала возможность исследовать более детально структуру волнового поля и выделить параметры рудных тел. В итоге, даны рекомендации на заложение разведочных скважин

7. С применением высокоразрешающей 3D сейсморазведки и получением трехмерных сейсмических изображений, построением сейсмической модели с выделением зон изменения упругих свойств (амплитуды, частоты и др.), возможен переход к новому уровню решаемых задач - обнаружению и объемному изучению факторов непосредственного рудоконтроля, а в благоприятных условиях, самих рудных залежей на практически освоенных глубинах добычи и разведки.

Научно-практический результат исследований определяется возможностью получения модели рудных залежей на основе трёхмерной сейсморазведки для геолого-экономической оценки потенциально рудных горизонтов медистых песчаников и дальнейшего определения эффективности проведения сейсморазведочных работ в новых исследуемых районах.

Комплексное изучение о геологическом строении рудных горизонтов и построение цифровых моделей даст возможность осуществить достоверный прогноз, оценку и подготовку к разведочному бурению рудоперспективных структур, а также необходимые данные для подбора объективных кондиций при подсчете запасов, открытой и подземной разработки неосвоенных участков Жиландинской группы медных месторождений Жезказганского рудного района.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абилхасимов Х.Б. Карпова Т.С. Базы данных: модели, разработка, реализация. - СПб: Питер, 2001. - 304 с.
2. Аракчеев Д.А. Программно-инструментальные средства для разработки информационно-аналитических систем//Геоинформатика. - 2004. № 2. – С.37-45.
3. Байбатша А.Б., Кулкашев Н.Т., Бекботаева А.А., Шакирова Г.С. Перспективы Казахстана на выявление нетрадиционных типов месторождений цветных и благородных металлов//Материалы Международной конференции: Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых. - Томск, 2010. – с. 402-404.
4. Бекжанов Г.Р., Кошкин В.Я., Никитченко И.И. и др. Геологическое строение Казахстана. - Алматы: Академия минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2000. - 396с.
5. Белкина В. А., С. Р. Бембель, А. А. Забоева, Н. В. Санькова. Основы геологического моделирования (часть 1): учебное пособие. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 168 с.
6. Берзон И.С., Караев Н.А., Пузырев Н.Н. Современное состояние и пути развития рудной сейсморазведки // Вопросы разведочной геофизики: Сб. ст. – Л.: Недра, 1966. – Вып. 1. – С. 3–15.
7. Боганик Г. Н., Гурвич И. И. Сейсморазведка. – Тверь: АИС, 2006.-743 с.
8. Бондарев В.И. Основы обработки и интерпретации данных сейсморазведки / В.И.Бондарев, С.М.Крылатков. – Екатеринбург: УГГГА, 2001. - 193 с.
9. Бондарев В.И. Основы сейсморазведки: учебное пособие для студентов вузов. - Екатеринбург: УГГГА, 2003. - 332 с.
10. Бондарев В.И. Сейсморазведка // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – № 1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=954>
11. Борисенко А.С. Изучение солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии //Геология и геофизика. – 1977.- №8. - С. 16-28.
12. Борцов В.Д., Рафаилович М.С., Мизерная М.А. и др. О зональности золотого оруденения в Западной Калбе (Восточный Казахстан) // Геология и охрана недр.- 2004. - № 3. - С. 20-26.
13. Быбочкин А. М., Быховский Л. З., Комплексная геолого-экономическая оценка рудных месторождений (основы методики). - М.: Недра, 1990. - 326 с.
14. Гамбурцев Г. А. Основы сейсморазведки. - Изд. 2-е, перер. и доп. – М.: Гостоптехиздат, 1959. - 378 с.
15. Гитис В.Г., Ермаков Б.В. Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике. - М.: Физматлит, 2004. - 256с.
16. Глаголев В.А. Спутниковое навигационно - геофизическое обеспечение геолого-геофизических исследований. - СПб.: ВИРГРудгеофизика, 2000. - 116 с.

17. Глазнев В.В. Система для создания трехмерных моделей геологических объектов // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. -2000. -№8. –С. 205-207.
18. Голицына О.Л., Партыка Т.Л, Попов И.И. Системы управления базами данных. - М.: Форум, ИНФРА-М, 2008. - 432 с.
19. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. - 8-е изд. – М.: Вильямс, 2010. - 1072 с.
20. Дорофеева Т.В. Тектоническая трещиноватость горных пород и условия формирования трещинных коллекторов нефти и газа. – М.: Недра, 1986. - 223 с.
21. Есенов Ш.Е. и др. Геолого-структурные особенности Северной группы меднорудных месторождений Дзержинского района // Большой Дзержинск. - Алма-Ата: Наука, 1961. - С.120-139.
22. Жезказганское месторождение // Казахстан. Национальная энциклопедия. — Алматы: Қазақ энциклопедиясы, 2005. - Т. II. - 559 с.
23. Зайцев Ю.А., Габай Н.Л., Голубовский В.А., Потапочкин В.М., Мартынова М.В. Геология и полезные ископаемые Дзержинского рудного района. - М.: Недра, 1975. - 284 с.
24. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование. – М.: ООО «ИПЦ Маска», 2009. – 376 с.
25. Инструкция по применению Классификации запасов к месторождениям цветных металлов, ГКЗ РК, Кокшетау, 2006.
26. Инструкция по сейсморазведке. М.: ГФУП ВНИИГеофизика, 2003. - -149 с.
27. Инструкция по проведению сейсморазведочных работ. М.: ГФУП ВНИИГеофизика, 2003. – 149 с.
28. Интерпретация данных сейсморазведки. Справочник. Под ред. О.А.Потапова. М.: Недра, 1990. – 447 с.
29. Истекова С.А. Современные методы анализа и интерпретации геофизических данных //Известия НАН РК. Серия геологическая. – Алматы, 2006. -№4. - с.23-30.
30. Истекова С.А., Аблесенова З.Н., Элиакбар М.М. Базы данных как основа создания цифровых моделей месторождений углеводородов // Международная научно-практическая конференция «Состояние и перспективы эксплуатации зрелых месторождений», ТОО "Научно-исследовательский институт технологий добычи и бурения. КазМунайГаз".- Актау, 2019.- С. 68-75.
31. Истекова С.А. Амангельдиев Б.А. Результаты и перспективы применения электроразведки при поисках золоторудных месторождений в Южном Казахстане // Геология и охрана недр. -2018.- № 4.- С.37-45.
ISSN: 2414-4282. elibrary id: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35124020>
32. Истекова С.А., Ан Е.А. К вопросу о применении высокоразрешающей 3D сейсморазведки на рудных месторождениях Казахстана. // Труды ежегодной международной научно-практической конференции «Сатпаевские чтения». - Алматы: КазННТУ, 2019. - Т. 1. - с.54-62.

33. Истекова С.А., Ан Е.А., Касымканова Х.М., Джангулова Г.К. Применение трехмерной сейсморазведки для моделирования рудных залежей в сложных горно-геологических условиях Казахстана // Вестник РАЕН. – Москва, 2021. - Том 1, №1. - стр.15-23.

ISSN: 1682-1696. DOI: <https://doi.org/10.52531/1682-1696-2021-21-1-15-23>

34. Истекова С.А., Истеков К.К. Роль геофизических исследований при металлогеническом районировании в Казахстане. Актуальные проблемы геологии, геофизики и металлогении // Мат-лы науч.-техн. конф., посвящ. 80-летию создания Института геологии и геофизики и 105-летию со дня рождения акад. Х.М.Абдуллаева. -Т.: ГП «ИМП», 2017. - Кн. 3. - с.165-168.

35. Истекова С.А., Сиражев А.Н. Трехмерная сейсморазведка для моделирования рудных залежей в сложных горно-геологических условиях Казахстана. – Алматы: КазННТУ им. К.И. Сатпаева, 2022. – 340 с.

36. Кануков А.С. Интеграция базы данных геологической информации в систему геоинформационного моделирования // Геология и геофизика Юга России. – 2017. - № 3. - С. 57-66.

37. Камалиден А. С. Петрографическая характеристика вулканогенно-осадочных пород Сарысу-Тенизского поднятия / А. С. Камалиден. // Молодой ученый. - 2020. - № 14 (304). - С. 126-130. URL: <https://moluch.ru/archive/304/68498/>.

38. Каплунов Д. Р. Перспектива комплексного освоения недр - комбинированные геотехнологии // Отдельный выпуск 1: Труды научного симпозиума «Неделя Горняка – 2010». – М.: ГИАБ, 2010. - С. 346–354.

39. Караев Н.А., Рабинович Г.Я. Рудная сейсморазведка. – М.: Геоинформмарк, 2000. – 366 с.

40. Караев Н.А. Становление и пути развития сейсморазведки нетрадиционных моделей верхней части коры и возможности современных сейсмоакустических технологий в руднопоисковых провинциях// Технологии сейсморазведки. 2017.- № 4, с. 5–36.

41. Когаловский М.Р. Энциклопедия теорий баз данных. - 3-е изд. - М.: Финансы и статистика, 2011. - 800 с.

42. Колесов С.В., Кузин А.М., Кондрашков В.В. Совершенствование методики прогнозирования рудной минерализации по данным высокоразрешающей сейсморазведки// Минералогия докембрия: Материалы Всероссийской конференции. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С.110-113.

43. Коробейников А.Ф. Теоретические основы моделирования месторождений полезных ископаемых. Учебник для вузов. – Изд.2-е, испр. и доп. – Томск: Изд.Томского политехнического университета, 2009. - 182 с.

44. Кузнецов В.И. Элементы объемной (3D) сейсморазведки. Учебное пособие. – Тюмень: Тюмен. Гос.НГ Университет, 2004. 271с.

45. Кузнецов О.Л., Чиркин И.А. Арутюнов С.И., Ризанов Е.Г, Дыбленко В.П., Дрягин В.В. Сейсмические исследования неравномерности открытой трещиноватости и неоднородности флюидонасыщения геологической среды для

оптимального освоения месторождений нефти и газа // Георесурсы. – Казань, 2018. - Т. 20, № 3. Ч.2.- С. 206-215.

46. Липилин А.В., Система обработки и интерпретации геофизических данных при создании Государственной сети опорных геофизических профилей// Геофизика. - Москва, 2002.- №3.- с. 27-31.

47. Лобанов К.В. Соотношения между тектоническими деформациями, метаморфизмом, петрофизическими свойствами горных пород и рудной минерализацией // Породы и минералы на больших глубинах и на земной поверхности: субпроекты. - Апатиты: МУП«Полиграф», 1999.- С. 47-50.

48. Ломтадзе В.В. Идеология и технология создания и использования региональных баз геолого-геофизических данных. //Геоинформатика. - 2009. - № 1. - С.53-56.

49. Меднорудные месторождения – типы и условия образования. Кривцов А.И., Андреев В.Л.– М.: Недра, 1987. – 198 с.

50. Месторождения меди Казахстана. Справочник / под ред. А. А. Абдулина, Х. А. Беспяева, С. Ж. Даукеева и др. - Алматы, 1996. – 154 с.

51. Методическое руководство на способ ОГТ МПВ// ЗапСибНИИГеофизика, 2008.

52. Методическое руководство по содержанию, оформлению и порядку представления на государственную экспертизу недр материалов технико-экономического обоснования кондиций на твердые полезные ископаемые. Министерство энергетики и минеральных ресурсов РК, ГКЗ. Утв. 3 июля 2008 года, № 181. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31372193

53. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых на территории Республики Казахстан. // Комитет геологии и охраны недр Респ. Казахстан: Б.С. Ужкенов, М.А. Сайдуакасов, С.А. Акылбеков и др. - Кокшетау, 2002. - 179 с.

54. Михайлова Н.Н., Синева З.И., Старовойт Ю.О. Обоснование апертуры новой сейсмической группы Боровое на основе корреляционного анализа сейсмических данных // Вестник НЯЦ РК. Геофизика и проблемы нераспространения. - Алматы, 2001. – Вып. 2. – С. 55 - 58.

55. Парк Ч. Ф., Мак-Дормид Р. А., Рудные месторождения, пер. с англ. Дубровского В.Н. под ред. В.И.Смирнова – М.: Мир, 1966.- 544 с.

56. Перков И.П., Кубайчук Ю.А., Ижанов А.Б. Повышение эффективности поиска месторождений твердых полезных ископаемых // Горный журнал. – М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2024. - №8. DOI: 10.17580/gzh.2024.08.03

57. Петров О.В., Милетенко Н.В. и др. Приоритетные направления геологического изучения недр. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2014. – 370 с.

58. Разин А.В., Меркулов В.П., Чернов С.А. Применение геофизики при изучении месторождений нефти и газа. – Томск: Центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела ТПУ, 2004. - 332 с.

59. Сатпаев К. И. Основные результаты комплексного геологического изучения и вопросы генезиса Джезказгана. Геология рудных месторождений. – Алма-Ата: Наука, 1962. №3.

60. Сатпаева М. К. Руды Дзезказгана и условия их формирования. – Алма-Ата: Наука, 1985.- 208 с.
61. Сейсморазведка. Справочник геофизика. / Под ред. В.П. Номоконова. - М.: Недра, 1990. – 336 с.
62. Степанов А.В. Обработка сейсмических данных: Учебно-методическое пособие к курсам повышения квалификации «Петрофизика и геофизика в нефтяной геологии». - Казань: Казанский университет, 2013. - 24 с.
63. Собрание трудов: В 8-ми т. Т.2: Минеральные ресурсы Казахстана: черные металлы / Редкол.: Ш.Ч. Чокин (гл.ред.) и др.; М-во науки АН РК, Центр.гос. архив РК. - 1998. - 312 с.
64. Смирнов В.И. Подсчет запасов месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1960. – 542 с.
65. Смирнов В. И. Метеоритная гипотеза происхождения Садбери. // Геология рудных месторождений. – 1973. – Т. 15, № 2 - с. 3-12
66. Смирнова Н.Н. Сейсморазведочные работы МОГТ масштаба 1:200000 в западной и юго-западной частях Дзезказган-Сарысуйской впадины. ТУ «Центрказнедра» АО «Жезказгангеология», 1994г
67. Сюсюра Б.Б. Меденосные осадочные формации Казахстана // Закономерности размещения и прогнозирования стратиформных месторождений цветных металлов. – Алма-Ата, 1983. – С. 17-32.
68. Собрание трудов: В 8-ми т. Т.3: Минеральные ресурсы Казахстана: цветные металлы (медь, свинец, цинк) / Редкол.: Ш.Ч.Чокин (гл.ред.) и др.; М-во науки АН РК, Центр. гос. архив РК. - 1998. - 334 с.
69. Технология сейсморазведки // Специализированный выпуск научно-технического журнала ЕАГО «Геофизика». - М., 2002. - 152с.
70. Трубецкой К. Н. Основные направления и пути решения проблем ресурсосбережения при комплексном освоении недр // Маркшейдерия и недропользование. - 2010. - №3. - С. 22–29.
71. Трубецкой К. Н., Чантурия В. А., Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья (монография). - М.: Наука, 2010. - 446 с.
72. Туманова К.С. Создание базы данных сейсмической и геофизической информации на примере южно-якутского региона // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. - С. 1786-1791.
73. Ужкенов Б.С. и др. Методические основы создания банка геологической, геофизической и геохимической информации о недрах и недропользовании на примере Республики Казахстан. Автореферат на соискание степени кандидата техн. наук. - Москва, 1997. - 123 с.
74. Ужкенов Б.С., Альжанова Б. Г., Петровский В.Б., Фишман И.Л., Югин В.В. Инновационные технологические схемы прогнозно-поисковых работ при поисках месторождений меди жезказганского типа // Kazakhstan. – 2011. - № 3. – С. 68-71.
75. Урупов А.К., Лёвин А.Н. Определение и интерпретация скоростей в методе отраженных волн. - М.: Недра, 1985.-288 с.

76. Хаттон Л., Уэрдингтон М., Мейкин Дж. Обработка сейсмических данных. Теория и практика. Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 216 с.
77. Чиркин И.А., Ризанов Е.Г., Колигаев С.О. (2014). Мониторинг микросейсмической эмиссии – новое направление развития сейсморазведки // Приборы и системы разведочной геофизики. – Т. 49, №3. - с. 6-15.
78. Aidarbekov Zh., Istekova S., Glass H. Complex of Geophysical Research for Studying Geological Structure of Zhezkazgan Ore Region in Kazakhstan // Conference Paper European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, Engineering and Mining Geophysics – Gelendzhik: Russia, 2021. - Vol. 2021. - p.1–9. ISSN 2658-6924/ DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152070>
79. Aidarbekov Z.K., Istekova, S.A. Classification of geophysical fields in the study of geological and structural features of the Zhezkazgan ore district // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. – Алматы, 2022. - Vol.2 (452). - P. 33–48 ISSN 2224-5278 DOI: <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X.158>
80. Alireza Malehmir, Raymond Durrheim, Gilles Bellefleur, Milovan Urosevic, Christopher Juhlin, Donald John White, Bernd Milkereit, Geoff Campbell. Seismic methods in mineral exploration and mine planning: A general overview of past and present case histories and a look into the future // GEOPHYSICS. - 2012. - Vol.77, №5. - p.173-190. <https://doi.org/10.1190/geo2012-0028.1>
81. Aronses H.A., Osdal B., Dahl T., Eiken O., Goto R., Khazanehdari J., Pickering S., Smith P.. Time will tell: New insights from time-lapse seismic data // Oilfield Review. - 2004. - Vol. 16, №2. - p. 6–15.
82. Ashton C.P., Bacon B., Mann A., Moldoveanu N., Déplanté C., Dickilreson. Sinclair T., Redekop G. 3D Seismic Survey Design // Oilfield Review. - 1994. - №6. – p. 19–32.
83. David W.Eaton, Bernd Milkereit, Matthew Salisbury, Erick Adam. Jianjun Wu. Mining Exploration: A New Frontier for the Canadian Seismic Industry Publisher // Society of Exploration Geophysicists. 1996.- Vol.21, №07. - P.3-6.
84. Gablina, I.F. New data on formation conditions of the Dzhezkazgan copper deposit // International Geology Review. – 1981. – Vol. 23, №11. - p. 1303–1311.
85. Hitzman M.W., Selley D., Bull, S. Formation of sedimentary rock-hosted stratiform copper deposits through Earth history//Economic Geology. – 2010. - Vol. 105, № 3. – p. 627–639. <https://doi:10.2113/gsecongeo.105.3.627>.
86. Istekova S, Aidarbekov Z, Togizov K, Saurykov Z, Sirazhev A. Lithophysical characteristics of productive strata of cupriferous sandstone within Zhezkazgan Ore District in the central Kazakhstan // Mining of mineral deposits. – 2024. – Vol. 18. - p. 9-17. DOI: <https://doi.org/10.33271/mining18.03.009>
87. Istekova S.A., Makarov A.B., Tolybaeva D.N., Sirazhev A.N., Togizov K.S. Determining the boundaries of overlying strata collapse above mined-out panels of Zhomart mine using seismic data // Geosciences. – 2024. – Vol.14, №11. – p. 310.
88. Istekova S.A., Sirazhev A.N., Temirkhanova R.G. Geological and geophysical conditions for the use of 3D seismic prospecting in solving problems of ore geology // Conference Proceedings, Engineering and Mining Geophysics. –

Gelendzhik: European Association of Geoscientists & Engineers. 2021. – Vol. 2021, - p.13-21. ISSN 2658-6924 DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152070>

89. Istekova S.A., Sirazhev A.N. Geological and geophysical conditions for application of 3D seismic in mineral exploration // Conference Paper NSg-2021.27th European Meeting on Environment and Engineering Geophysics, Near Surface Geoscience Conference & Exhibition. 2021. – Vol. 1, - p. 1–5.

90. Istekova, S.A., Issagaliyeva, A.K., Aliakbar, M.M. Building the online geological and geophysical database management system for hydrocarbon fields in Kazakhstan // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. – Almaty, 2022. - Vol. 3 (453). - P. 198–211 <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170x.190>.

91. Liu B.; Zhang Z., Cheng Z., Xie Q., Nurtaev B., Turesebekov A., Santosh M. Platinum group elements in gabbroic intrusions from the Valerianov-Beltau-Kurama arc: Implications for genesis of the Kalmakyr porphyry Cu–Au deposit // Geological Journal. – 2020. Vol.56, № 3. - p.1-14. doi: 10.1002/gj.3940

92. Malehmir A., Durrheim R., Bellefleur G., Urosevic M., Juhlin C., White D., Milkereit B, Campbell G. Seismic methods in mineral exploration and mine planning: A general overview of past and present case histories and a look into the future // GEOPHYSICS. – 2012. – Vol.77, №5. - P.173-190.

93. Manzi M. S., Hunt E. J., Durrheim R. J. 3D Reflection Seismic Imaging for Gold and Platinum Exploration, Mine Development, and Safety// Ore Deposits: Origin, Exploration, and Exploitation. Geophysical Monograph Series. - American Geophysical Union, 2019. - p.237-256. (<https://doi.org/10.1002/9781119290544.ch11>)

94. Rvan Buren¹, G. Turner, and G. Hird - Modern seismic is illuminating the depths // Deep Mining 2019: Proceedings of the Ninth International Conference on Deep and High Stress Mining, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. - Johannesburg, 2019. - p. 363-374.

(DOI https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1952_27_van_Buren).

95. Singh B., Malinowski M., Hlousek F., Koivisto E., Heinonen S., Hellwig O., Buske S., Chamarczuk M. & Juurela. Sparse 3D Seismic Imaging in the Kylahti Mine Area, Eastern Finland: Comparison of Time Versus Depth Approach // Minerals. – 2019. – Vol. 9, № 5, 305. – P. 1–22. <https://doi.org/10.3390/min9050305>

96. Sirazhev A., Istekova S., Tolybaeva D., Togizov K., Temirkhanova R. Methodology and Results of Detailed 3D Seismic Exploration in the Zhezkazgan Ore District // Applied Sciences. – 2025. – 15(2), 567. <https://doi.org/10.3390/app15020567>

97. Sirazhev A., Temirkhanova R., Istekova S., Geological and geophysical conditions for 3D seismic prospecting in solving problems of ore geology // Conference Proceedings, Engineering and Mining Geophysics-2021. – Gelendzhik: European Association of Geoscientists & Engineers, 2021. – Vol. 2021, p.13-21. ISSN 2658-6924 DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152070>