

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

**«Сравнительный анализ эффективности модификаций 2Д и 3Д
сейсморазведки на примере Боливарского участка в Республике Саха
(Якутия)»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 403 группы
направление 05.03.01 геология
профиль «Нефтегазовая геофизика»
геологического ф-та
Фролова Владимира Александровича

Научный руководитель

Д. г.-м.н., профессор

подпись, дата

С.И. Михеев

Зав. кафедрой

К. г.- м.н., доцент

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Саратов 2022

Введение. Модификации сейсморазведки 2Д и 3Д являются основными геофизическими методами при изучении геологических сред, вмещающих продуктивные пласты. Основы обеих разновидностей в наиболее общем их виде известны, а их отличие, по сути, состоит в том, что трехмерная сейсморазведка позволяет учитывать сейсмический снос в пространстве, а впоследствии — правильно восстановить пространственное положение отражающих границ.

В настоящее время возможности обеих модификаций хорошо изучены, при этом предпочтение безоговорочно отдается 3Д сейсморазведке. Однако, по мнению автора, некоторые аспекты сравниваемых модификаций, в том числе и эффективность, можно отнести к дискуссионным. Наибольший интерес вызывают вопросы сравнения результатов полевых работ и интерпретации. Однако стоит отметить, что наиболее объективное сравнение эффективности обсуждаемых модификаций возможно только на примере конкретных участков. Собственно, этим посылом и вдохновлена данная работа, а сравнительный анализ сейсморазведки в модификациях 2Д и 3Д производился на примере Боливарского участка, который расположен в Республике Саха (Якутия). Здесь автор принимал личное участие в проведении полевых работ в качестве рабочего сейсмоотряда II разряда.

Актуальность. Вполне ожидаемым результатом является превосходство 3Д модификации над 2Д, однако вопрос сравнения их эффективности сам по себе интересен и нуждается в количественных оценках. Актуальность данной работы заключается в том, что анализ эффективности обсуждаемых модификаций производился с привлечением как качественных, так и количественных оценок, с привязкой к одной территории для обеих модификаций. Рассматривались не только достоинства 3Д технологии, но и ее ограничения, с проведением вычислительных экспериментов для вскрытия и обоснования вероятных причин ухудшения качества материалов 3Д съемки.

Объектом исследования является сейсморазведка в целом, а *предметом исследования* послужила эффективность сейсморазведочных

работ в модификациях 2Д и 3Д. Исследованию были подвергнуты геолого-геофизическая и экономическая составляющие эффективности.

Цель выпускной квалификационной работы (ВКР) заключалась в сравнительной оценке теоретических и практических аспектов двух обсуждаемых модификаций сейсморазведки. Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие частные задачи:

- собрать, обобщить и проанализировать имеющиеся на территорию Боливарского участка геолого-геофизические материалы;
- рассмотреть достоинства и недостатки методик сейсморазведки 2Д и 3Д;
- подобрать оптимальные параметры процедур обработки и интерпретации сейсмических материалов;
- проанализировать результаты обработки и интерпретации полевых сейсмических материалов;
- оценить точность выполненных структурных построений, а также надежность выявленных структур;
- рассчитать прогнозную удельную прибыль на единицу затраченных ресурсов для обеих модификаций;
- наметить пути повышения эффективности сейсмических работ.

Структура ВКР. Работа содержит в себе введение, основную часть, заключение и список использованных источников. Материал изложен на восьмидесяти трех страницах, включает двадцать восемь рисунков и восемь таблиц. Список использованных источников содержит двадцать два наименования. Основная часть состоит из четырех разделов:

1. Анализ теоретических основ.
2. Геолого-геофизическая характеристика.
3. Методика работ.
4. Сравнительный анализ результатов.

Основное содержание работы. *Первый раздел* работы представляет собой краткий анализ теоретических и экспериментальных основ модификаций 2Д и 3Д сейсморазведки. В этой части работы автор вместе с основами пытается раскрыть предпосылки сравнительного анализа. Анализ теоретических основ было решено провести по следующим позициям: модели слоистых сред, системы наблюдений, решаемые задачи, экономическая эффективность.

Анализ по всем позициям в целом представляет собой обзор литературных источников с некоторой аналитикой. Однако неподдельный интерес вызывает анализ систем наблюдений обеих модификаций в отношении азимутальной составляющей, где автор освещает результаты своего небольшого исследования. Идея исследования состоит в следующем: перед суммированием трасс по ОГТ рассчитываются и вводятся кинематические поправки, которые при наличии азимутальной составляющей оказываются сильно различны, что обуславливает некоторые погрешности в результатах после суммирования. Это связано со спецификой самого процесса суммирования, который представляет собой чаще всего нахождение медианы поамплитудно ранжированного ряда, реже — среднего арифметического значения выбранного ряда амплитуд.

Учитывая, что в подборках ОГП уже существуют определенные погрешности при суммировании, следует избегать добавления искусственно созданных за счет системы наблюдений. С усложнением геологических условий, в частности в областях локализации процессов диапиризма, эта погрешность достигает весьма серьезных величин. С учетом зависимости кинематической поправки от азимута падения исследуемого пласта на рисунке 1 и расчетов, представленных в работе, для повышения точности работ в сложных геологических условиях автор рекомендует применение узкоазимутальных конфигураций активных расстановок в 3Д модификации или профильное изучение геологической среды со всеми вытекающими негативными последствиями. Нельзя не отметить, что подобные выводы, пусть и без доказательной базы, были сделаны раньше, в одной из работ другого автора.

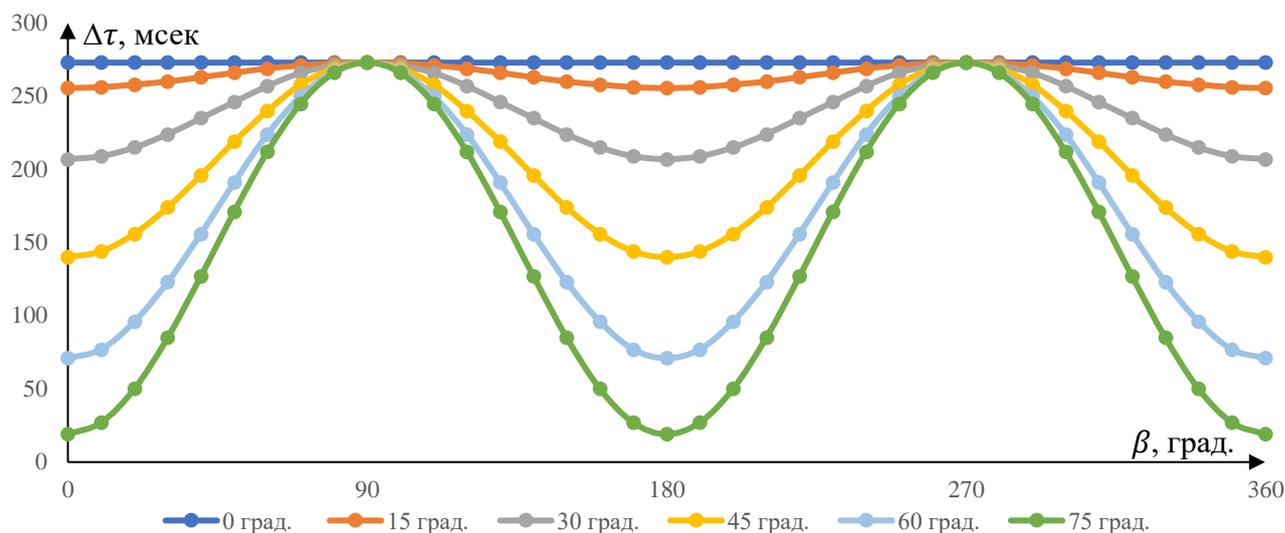


Рисунок 1 — Семейство кривых $\Delta\tau(\beta)$ для различных углов наклона отражающей границы

Второй раздел работы посвящен геолого-геофизической характеристике района. Стоит отметить, что в целом участок работ располагается в Якутии, в среднем течении реки Вилюй, и характеризуется широким распространением вечной мерзлоты до глубин 400-600 м. Сложность поверхностных условий обусловлена частой сменой талых и мерзлых участков, в результате которой был получен крайне сложный по волновой картине сейсморазведочный материал. Кроме этого, геологический разрез характеризуется широким диапазоном газоносности в интервале глубин от 2 500 до 3 250 м, а также литологической дифференцированностью: терригенные континентальные и морские, вулканогенно-осадочные образования, а также ритмичные угольные пачки. Последнее накладывает свой отпечаток на резкую смену скоростей по разрезу.

В третьем разделе описываются параметры выбранной методики работ для каждой из модификаций. Применяемые расстановки довольно типичные: центрально-симметричная расстановка в модификации 2Д и центрально-симметричная широкоазимутальная типа «крест» — в 3Д. Отметим, что на исследуемой площади находятся: два газопровода, линии электропередач, большое количество рек, озер, болот и барханных песков — что обусловило принятие мер по минимизации потерь и сохранению номинальной кратности.

Четвертый раздел — результативная и главная часть работы. Именно этой части работы будет уделено особое внимание в тексте автореферата.

Сравнительный анализ эффективности обсуждаемых модификаций было решено провести в отношении геолого-геофизической и экономической эффективности работ, проведенных на Боливарском участке.

При производстве полевых работ в обеих модификациях осуществлялся тщательный контроль первичного материала, осуществляемый операторами сейсмостанции визуально на экране монитора и обработчиком в процессе экспресс-обработки на месте выполнения работ. Коэффициенты качества СРМ для 2Д и 3Д работ составили, соответственно, 0,93 и 0,91.

Процесс обработки СРМ для 2Д и 3Д модификаций можно разделить на 6 этапов: подготовительный этап, предобработка, собственно обработка, обработка после суммирования, спецобработка, визуализация и сохранение результатов. На стадии обработки материалов отмечаются только 2 отличия, которые приурочены к определенным этапам обработки для 2Д модификации: проведение сравнительного анализа результатов миграции до и после суммирования и сейсмическая инверсия.

В процессе подбора графа обработки результатов 2Д съемки была выполнена процедура миграции до суммирования по алгоритму Кирхгофа. Однако, несмотря на более расширенный спектр частот и лучшее соотношение сигнал/помеха, для корреляции целевых горизонтов эти разрезы оказываются весьма неудобны, что связано с серьезными потерями динамической выразительности. Поэтому от данной процедуры было решено отказаться в пользу ДМО-коррекции и миграции после суммирования по алгоритму Столта.

От шага к шагу в процессе обработки увеличивалось соотношение амплитуд сигнал/помеха: от значения 1,47 на априорном разрезе до значения 3,80 на окончательном мигрированном для 2Д модификации и от 1,07 до 6,59, соответственно, для 3Д модификации. Для наглядности эти данные представлены на рисунке 2 в виде гистограммы. Превосходство 2Д модификации по соотношению амплитуд сигнал/помеха на априорном разрезе обусловлено, видимо, более высоким качеством СРМ по результатам полевых работ.

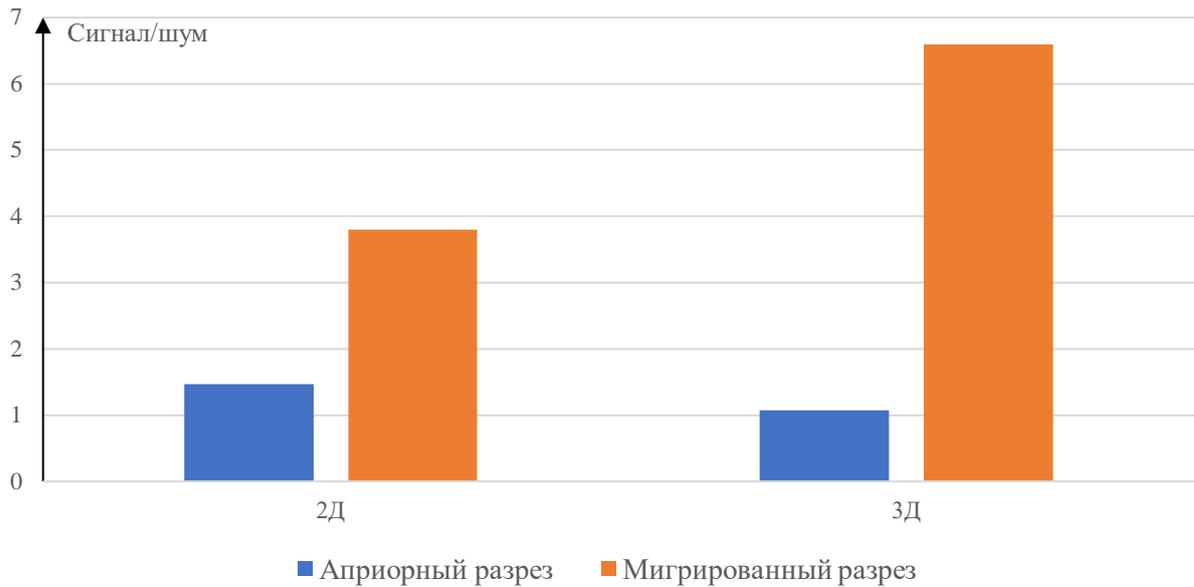


Рисунок 2 — Сравнительная гистограмма априорного и окончательного разрезов

Стоит также отметить, что при обработке материалов 2Д сейсморазведки на этапе спецобработки применялась процедура сейсмической инверсии, в результате которой были получены разрезы псевдоакустических скоростей и упругих импедансов. Применение данной процедуры обработки к материалам 2Д съемки диктуется спецификой поставленных перед ней задач.

Стоит отметить, что горизонтальная разрешающая способность 3Д модификации значительно повышается, если ее сравнивать с таковой у 2Д. А в отношении вертикальной разрешающей способности серьезных различий не отмечается. Сравнительная гистограмма разрешающей способности для обсуждаемых модификаций приведена на рисунке 3.

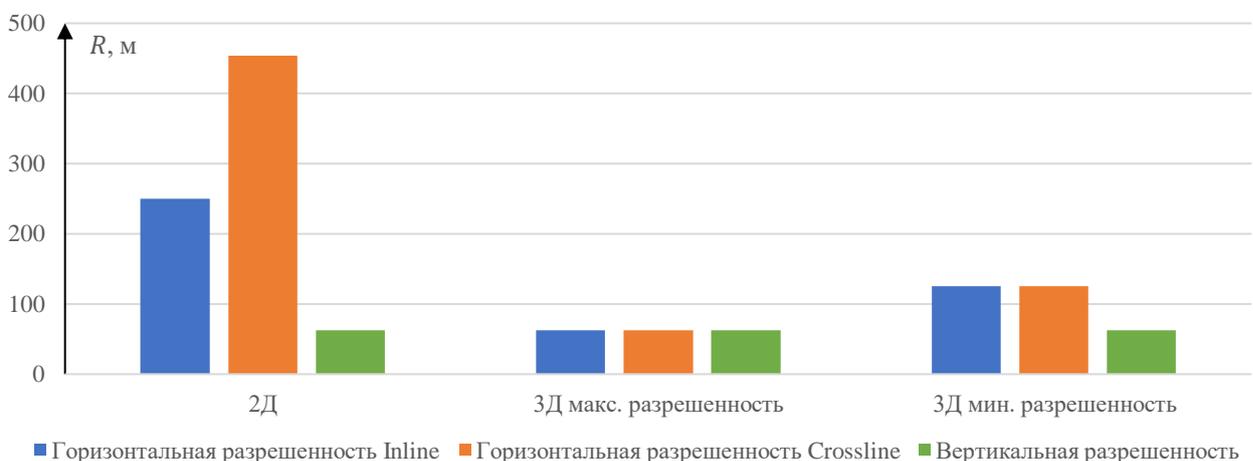


Рисунок 3 — Сравнительная гистограмма горизонтальной и вертикальной разрешенностей

В ходе интерпретации материалов сейсморазведочных работ 2Д и 3Д, прошедших все этапы обработки, были проведены: стратиграфическая привязка отражений, корреляция ОВ, выделение тектонических нарушений, переход в глубинную область, изучение динамических свойств ОВ. Интерпретация СРМ выполнена по стандартной методике, решающей структурные и прогнозные задачи.

Серьезный интерес вызывает изучение динамических свойств ОВ с целью прогноза коллекторов и решение обратной динамической задачи. На площади ЛУ основным продуктивным пластом является горизонт Т₁-IVв, породы-коллекторы которого не выдержаны по латерали и претерпевают замещение глинистыми породами, отсюда и вытекает актуальность применения приемов динамического анализа.

Для качественной оценки распространения коллектора в 2Д модификации был рассчитан набор сейсмических атрибутов: комплексные амплитуды по горизонту ТП, атрибуты AVO, в частности Интерцепт-Градиент-Коэффициент корреляции. По картам последнего атрибута были построены карты прогнозной пористости, по которым удалось выделить две предполагаемые зоны улучшенных коллекторских свойств, ограниченных линией глинизации.

Достоверность такой оценки некоторое время оставалась под вопросом, т.к. статистических данных для уверенного прогноза не хватало. Однако работы в данном направлении были продолжены с использованием материалов 3Д съемки. Были построены и проанализированы карты мгновенных амплитуд, энергий и Интерцепт-Градиент-Коэффициент корреляции. На качественном уровне результаты изысканий подтвердили прогнозы по 2Д сейсмике, а также был сделан вывод о корреляции зон с улучшенными коллекторскими свойствами и зон тектонических нарушений.

По материалам 3Д сейсморазведки также было восстановлено пространственное положение тектонических нарушений, которые представляют собой зоны прерывистого прослеживания с небольшими амплитудами смещения

в нижней части разреза и без смещений — в верхней. Все нарушения были прослежены в интервале под меловыми образованиями.

По результатам сейсморазведочных работ 2Д и 3Д был оконтурен продуктивный горизонт — T_1-X . По материалам 2Д съемки были оценены подготовленные ресурсы этой залежи, однако это значение претерпело корректировку после обработки результатов 3Д сейсморазведки. По материалам 3Д съемки выделен новый элемент структурного плана данного горизонта — небольшая по запасам залежь с элементами тектонического экранирования. Также выделены и подготовлены к бурению ресурсы категории D_0 в продуктивных пластах: T_1-IIIa , $T_1-IIIб$ и T_1-III . По результатам 3Д сейсморазведки были уточнены площади газонасыщения и пересчитаны запасы категорий C_1 , C_2 и C_1+C_2 .

На основе структурных карт для горизонтов $ТП$ и T , полученных по результатам 3Д сейсморазведки, выполнена детализация структурного плана основных залежей продуктивных пластов: T_1-III , T_1-I , T_1-II . Все они, по результатам построений, являются залежами структурного типа с элементами литологического экранирования для песчаных пластов.

Все структурные построения по горизонтам сопровождались оценкой точности данных построений, результаты которой представлены в виде гистограммы на рисунке 4: по горизонту $ТП$ дисперсии погрешностей структурной карты составили 50 м и 29,43 м, соответственно для 2Д и 3Д модификаций; по горизонту T — 42 м и 24,53 м; по горизонту $Ю_2$ — 34 м и 20,6 м. Точность структурных построений по материалам 3Д сейсморазведки в отношении каждого продуктивного горизонта оказывается выше более чем в 1,5 раза таковой в 2Д модификации, что обосновывает высокую геолого-геофизическую эффективность проведенных 3Д изысканий, а также надежность структурных построений, последующих расчетов и подсчетов параметров залежей.

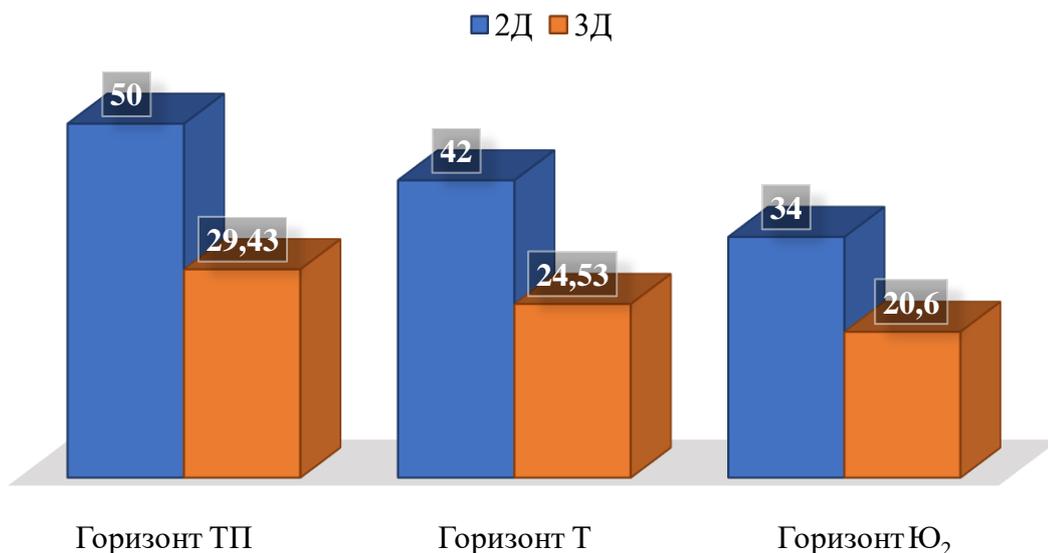


Рисунок 4 — Гистограмма значений σ_k по продуктивным горизонтам для 2Д и 3Д вариаций

Однако важна не только точность структурных построений, но и надежность выделения структур по этим построениям. Оценка надежности выявленных структур, результаты которой представлены на рисунке 5, выполнялась по результатам 3Д сейсморазведки и характеризуется вероятностью существования данной структуры. Вероятность существования всех подготовленных ловушек, выявленных по полученным данным, составляет 1,0. Исключение составляет ловушка по горизонту Т₁-Х, но вероятность так же весьма высокая — 0,98.

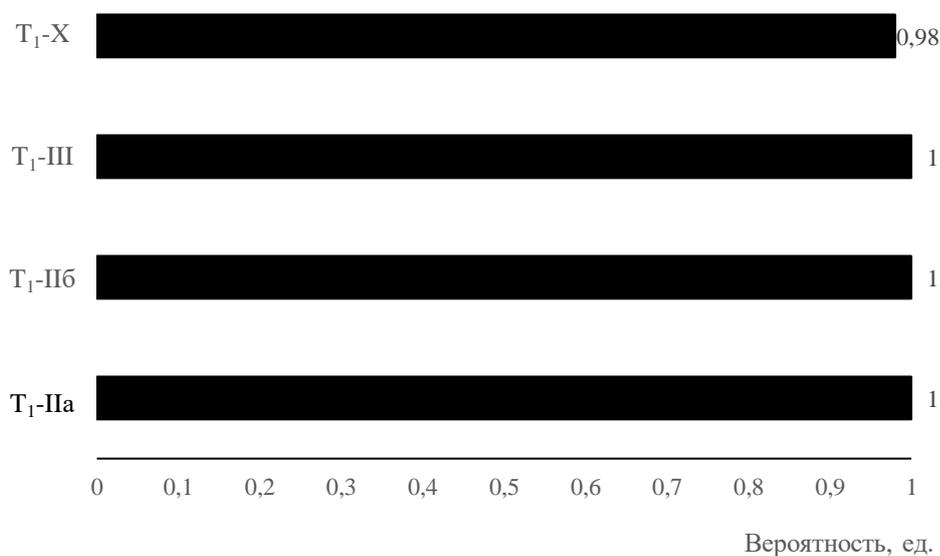


Рисунок 5 — Линейчатая гистограмма вероятности существования структур

Экономическая эффективность сейсморазведочных работ оценивается величиной подготовленных к бурению ресурсов и приращенных запасов, удельной прибылью или удельными затратами на единицу ресурсов, экономией стоимости работ при сравнении различных источников возбуждения колебаний.

В нашем случае по материалам 2Д сейсморазведки удалось выявить локальную залежь в образованиях пласта Т₁-Х и произвести оценку подготовленных к бурению ресурсов газа. Их объем равен 10,561 млрд. м³. Прогнозируемая удельная прибыль оценивается в 26,96 руб. на 1 вложенный рубль. Расчеты производились с учетом трендового соотношения геофизики и бурения на этапе поисково-разведочных работ, которое составляет 1:4.

Для 3Д модификации прогнозируемую удельную прибыль оценим только для приращений запасов категорий С₁, С₂ и С₂+С₁ и для подготовленных к бурению ресурсов Д₀ по всем продуктивным интервалам. Объемы приращения запасов газа составили 33,798 млрд. м³, а объемы приращения ресурсов — 17,658 млрд. м³. В итоге получим суммарную удельную прибыль в 135,24 руб. на 1 вложенный рубль. Сравнительная гистограмма экономической эффективности по параметру прогнозируемой удельной прибыли для обсуждаемых модификаций сейсморазведки приведена на рисунке 6.

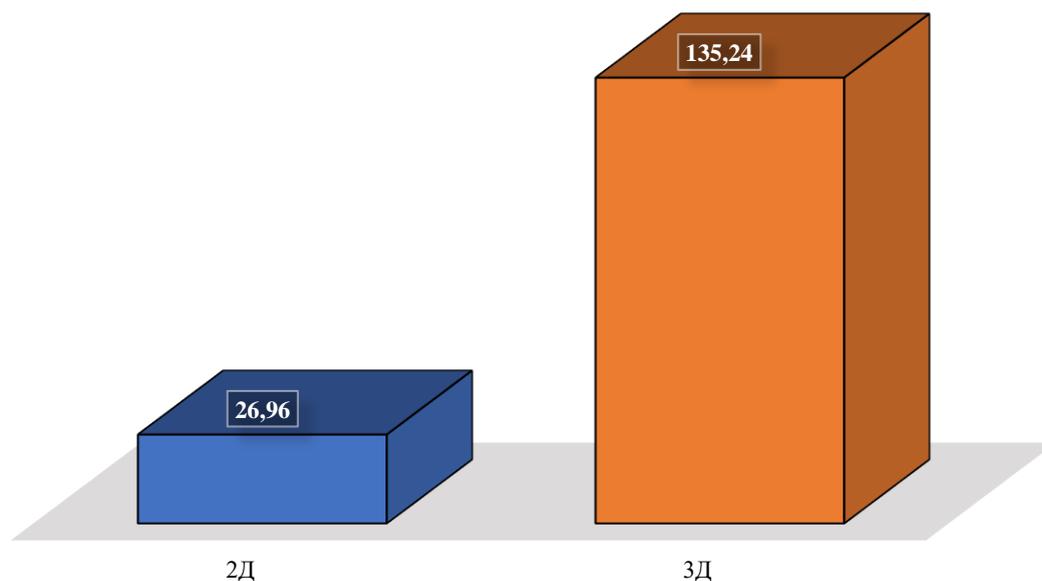


Рисунок 6 — Сравнительная гистограмма по параметру прогнозируемой удельной прибыли

Заключение. Главным результатом представленной работы являются выявление наиболее эффективной модификации сейсморазведки в условиях Боливарского участка в Якутии и определение путей повышения эффективности проводимых сейсморазведочных работ с минимизацией затраченных ресурсов без потери удовлетворительного качества сейсморазведочного материала.

Для достижения поставленных целей был решен ряд частных задач и получены следующие результаты:

1. По результатам анализа достоинств и недостатков методик сейсморазведочных работ 2Д и 3Д было выявлено безоговорочное преимущество 3Д модификации. Однако стоит отметить негативное влияние азимутальной составляющей на результаты после суммирования трасс по ОГТ, которое, впрочем, не мешает сейсморазведке 3Д иметь весьма солидный выигрыш по параметрам точности структурных построений и экономической эффективности. Для минимизации влияния данной составляющей и повышения эффективности работ в сложных геологических условиях рекомендуется применять активные расстановки с узкоазимутальной конфигурацией.

2. По результатам интерпретации материалов сейсморазведочных работ 2Д и 3Д были выявлены зоны улучшенных коллекторских свойств и тектонических нарушений, сделан вывод об их тесной связи, а также уточнены газонасыщенные площади по результатам структурных построений и оконтурен новый продуктивный горизонт — T_1-X .

3. По результатам оценки точности выполненных структурных построений, надежности выявленных структур и расчета прогнозной удельной прибыли для обсуждаемых модификаций была выявлена высокая эффективность 3Д съемки. В целях повышения эффективности работ на поисковом этапе, при 2Д наблюдениях рекомендуется использовать технико-методические приемы многоволновой сейсморазведки, а для повышения точности и надежности прогноза нефтегазоносности — приемы нелинейной сейсморазведки (микросейсмические исследования и др.).