

*На правах рукописи*



**Куркин Александр Анатольевич**

**УТОЧНЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ВОСТОКА  
ЯМАЛА НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ ДЕТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ  
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ**

Специальность 25.00.12 – Геология, поиски и разведка  
нефтяных и газовых месторождений

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Тюмень, 2020

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

**Научный руководитель:** **Кузнецов Владислав Иванович,**  
доктор геолого-минералогических наук,  
заместитель генерального директора по науке  
ООО «НОВАТЭК НТЦ», г. Тюмень

**Официальные оппоненты:** **Дорошенко Александр Александрович,**  
доктор геолого-минералогических наук,  
заместитель начальника отдела подсчета  
запасов филиала "ГАЗПРОМ НЕДРА НТЦ"  
ООО "ГАЗПРОМ НЕДРА", г. Тюмень

**Смирнов Олег Аркадьевич,**  
кандидат геолого-минералогических наук,  
главный геолог ООО «ИНГЕОСЕРВИС», г.  
Тюмень

**Ведущая организация:** Федеральное автономное учреждение  
«Западно-Сибирский научно-  
исследовательский институт геологии и  
геофизики», г. Тюмень

Защита состоится 23 апреля 2020 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 212.273.05 при Тюменском индустриальном университете (ТИУ) по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 56, аудитория 113.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотечном информационном центре ТИУ по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72 и на сайте [tyuiu.ru](http://tyuiu.ru).

Автореферат разослан 29 февраля 2020 г.

Отзывы, заверенные печатью утверждения, в двух экземплярах просим направлять по адресу 625000, г. Тюмень, ул. Володарского 56, Тюменский индустриальный университет, ученому секретарю диссертационного совета Д. 212.273.05 Семеновой Татьяне Владимировне, факс 8(3452)53-94-73, e-mail: [semenovav@tyuiu.ru](mailto:semenovav@tyuiu.ru)

Ученый секретарь  
диссертационного совета, к.г.-м.н.



Т.В. Семенова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### *Актуальность исследования.*

Ресурсная база севера Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции является одной из основ энергетической стратегии России. Среди северных территорий провинции по оцененным ресурсам углеводородов лидирует Ямальская нефтегазоносная область. При этом в восточной части области основной фонд недр еще не распределен, и здесь находятся месторождения, отнесенные к стратегически важным для газоснабжения страны объектам: Верхнетиутейское, Западно-Сеяхинское, Нейтинское, Арктическое, Нурминское и Ростовцевское (рисунок 1).

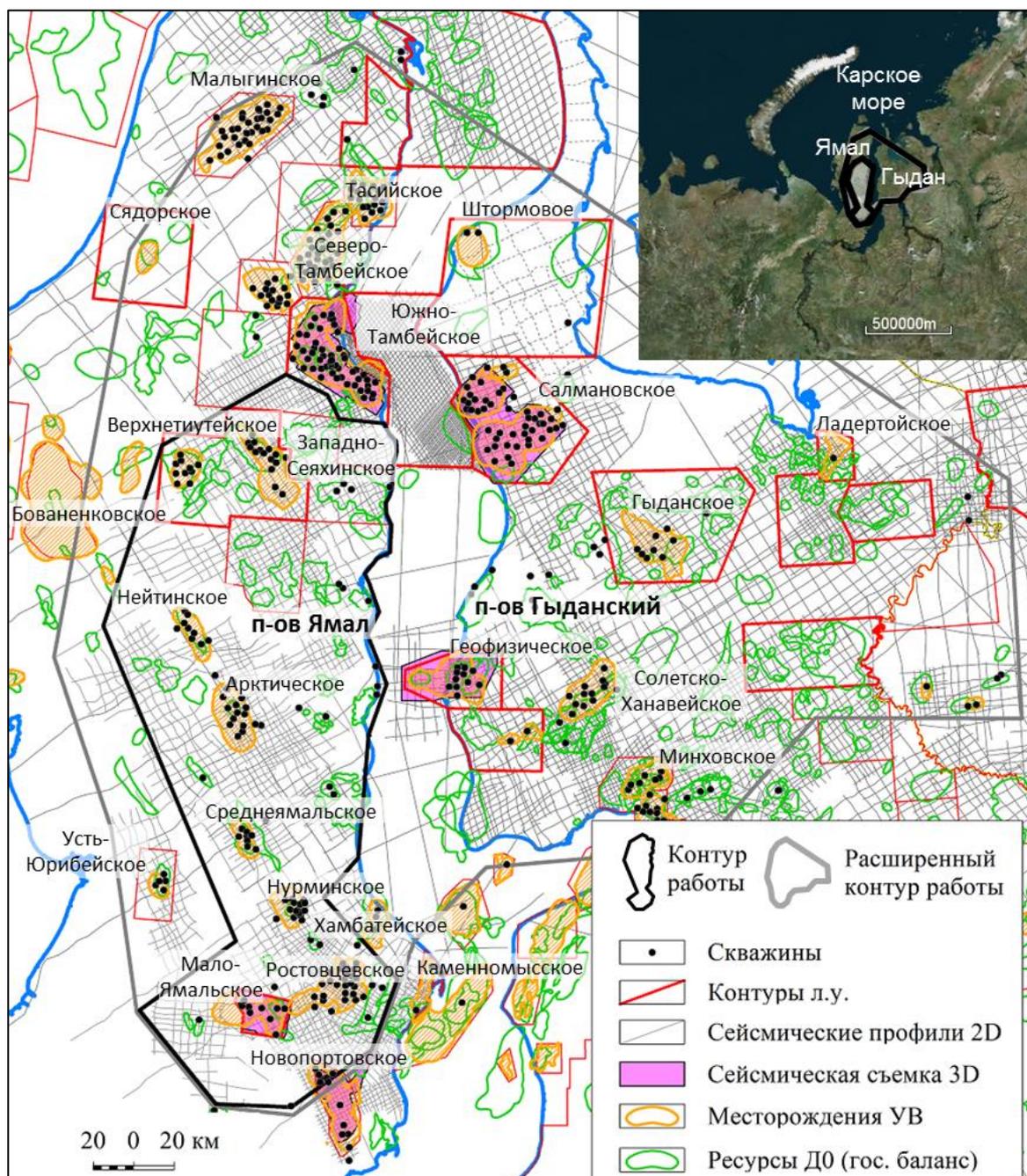


Рисунок 1 – Исходные геолого-геофизические данные для работы

Согласно оценкам, принятым на баланс департаментом недропользования Ямало-Ненецкого автономного округа (далее – балансовые оценки), на Ямале содержатся колоссальные объемы ресурсов газа – около 10 трлн. м<sup>3</sup>. Однако больше трети ресурсов сосредоточено в структурных ловушках апт-альб-сеноманского комплекса (рисунок 2), для которого на Ямале и Гыдане отмечается относительно низкий процент успешности поискового бурения – более 60 пробуренных в 1970-90-е года скважин не открыли промышленно значимых запасов.

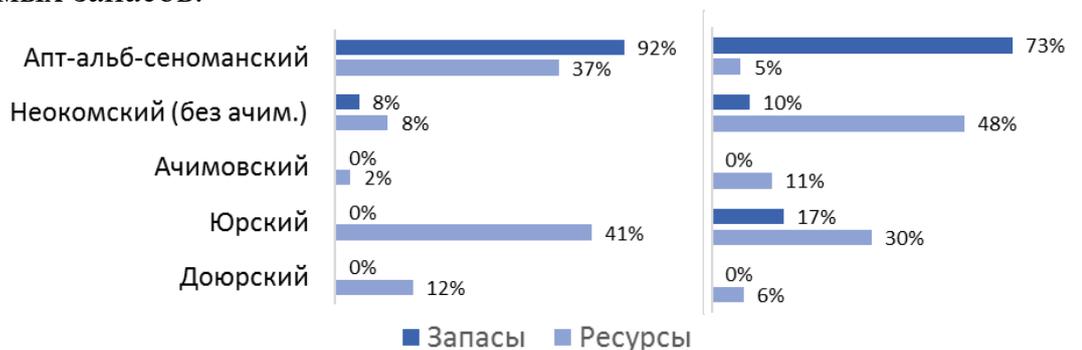


Рисунок 2 – Распределение запасов и ресурсов газа по интервалам согласно балансовым оценкам (слева) и по результатам данной работы (справа)

Что касается сложнопостроенных ловушек неструктурного типа, то относительно невысокие балансовые оценки ресурсов неокомских отложений, включая ачимовскую толщу, представляются заниженными. На юге территории открыты Ростовцевское и Новопортовское месторождения с крупными запасами УВ в этом интервале, а на многих других площадях Ямала получены притоки УВ из объектов, не учтенных на государственном балансе: Хамбате́йская, Нурминская, Средняяма́льская, Сядорская, Малыгинская площади. Таким образом, ресурсная база территории может быть существенно увеличена за счет ревизии и выявления новых перспективных неокомских неантиклинальных объектов. В качестве приоритетного направления поиска следует рассматривать юго-восточную часть полуострова, где неокомский интервал имеет особо сложное, двухэтажное строение. Здесь на сейсмических разрезах выделяются отражающие границы не только традиционного, северо-западного падения, но и юго-восточного и северо-восточного падения.

Другим перспективным направлением наращивания ресурсной базы является поиск ловушек с тектоническим экранированием, расформированных палеоподнятий в юрских отложениях и зон развития коры выветривания в кровле доюрского основания.

Картирование вышеперечисленных неантиклинальных объектов может быть выполнено путем построения комплексной модели развития осадочного чехла и доюрского основания, включающей модель накопления неокомских клиноформ и палеотектоническую-геодинамическую модель.

При выборе первоочередных объектов для поискового бурения обычно ориентируются на объем оцененных ресурсов в ловушках. Для повышения эффективности геологоразведочных работ более правильным представляется

использование не только величины ресурсов, но и оценки геологических рисков бурения ловушек и составления рейтинга наиболее надежных объектов.

Важно отметить, что за последние годы в пределах изучаемой территории и сопредельных районах – северной части Ямала и западной части Гыданского полуострова (рисунок 1, расширенный контур) – был пробурен ряд новых поисково-разведочных скважин и проведены сейсмические съемки, позволяющие выявить новые детали геологического строения и уточнить перспективы нефтегазоносности востока Ямала. При построении модели необходимо учесть все эти новые материалы.

### ***Степень разработанности темы.***

Изучением перспектив нефтегазоносности недр Ямала занимались И.И. Нестеров, А.А. Нежданов, В.С. Соседков, В.Н. Бородкин, В.И. Кислухин, В.А. Скоробогатов, Л.В. Строганов, и многие другие. Только в пределах юго-восточной части полуострова коллективами производственных и научно-тематических партий «Ямалгеофизика» в разные годы были выделены более 200 перспективных объектов. Но важно отметить, что большая часть ловушек закартирована по материалам 25-летней давности по методически различным подходам на разных площадях. Из этого следует необходимость обобщения результатов всех проведенных работ и построения единой модели по современным технологиям интерпретации данных.

Из современных обобщающих исследований следует отметить работы коллективов ВНИИГАЗ, «Газпром», «СибНАЦ». В большинстве своем они основывались на региональной сети профилей и были нацелены на выделение крупных перспективных зон внутри региональных и зональных неоконских циклитов. Опубликованных обобщающих работ, учитывающих и сохраняющих степень детализации материалов площадных съемок, где была бы проведена объектно-ориентированная оценка ресурсов, нет.

Успешность поисково-разведочного бурения в Западной Сибири рассматривалась в работах В.И. Шпильмана, Г.И. Плавника, Н.Х. Кулахметова и многих других авторов. При этом комплексный анализ причин неподтверждения ловушек Ямала не проводился.

Вопросы клиноформного строения неокома, методы прогнозирования неструктурных ловушек неокома и юры разрабатывались А.Л. Наумовым, Ф.Г. Гурами, В.С. Соседковым, А.А. Неждановым, В.Н. Бородкиным, В.П. Игошкиным, Л.Я. Трушковой, В.А. Корневым. Однако, целенаправленного бурения на ловушки неструктурного типа на востоке Ямала практически не велось. Остаются открытыми вопросы, касающиеся закономерностей распределения залежей. В частности, почему на Ростовцевском и Новопортовском месторождении неоконский интервал сильно опесчанен, и здесь сформировались относительно крупные залежи? Почему некоторые поднятия заполнены углеводородами до замка, другие имеют невысокий коэффициент заполнения, а некоторые и вовсе не содержат ни одной залежей?

Тектоническое строение Ямала и всего севера Западной Сибири изучалось в работах В.С. Суркова, В.С. Бочкарева, А.А. Нежданова, С.В. Аплонова, К.О. Соборнова, Г.Н. Гогоненкова, А.И. Тимурзиева, Ю.В. Филипповича и других

исследователей. При этом остаются открытыми вопросы формирования и распространенности предполагаемых пермо-триасовых рифтов – важнейших тектонических элементов Западно-Сибирской плиты. Не до конца установлены причины формирования структурных элементов и осадочного чехла. Назрело обновление тектонических схем Ямала в соответствии с современными сейсмическими материалами.

Аналізу геологических рисков посвящены работы В.И. Пороскуна, А.Г. Авербуха, Н.Л. Ивановой, В.И. Галкина, А.Н. Фокина, А.А. Полякова, R. Otis, N. Schneidermann, P. Rose. Вопросы оценки структурных неопределенностей рассмотрены в работах В.И. Аронова, В.И. Пороскуна, А.Г. Авербуха, Н.Л. Ивановой, А.П. Сысоева, А.В. Новокрещина, Е.О. Черкаса. Разработаны соответствующие регламенты и инструкции. Однако, большая часть методик основана на общегеологических зависимостях и теоретических предпосылках к нефтегазоносности. Корректный расчет рисков должен основываться в первую очередь на эмпирических данных рассматриваемого региона: установленных закономерностях размещения залежей и подтверждаемости бурением ранее выделенных объектов. Такие эмпирические или статистические подходы к оценке геологических рисков по территории Ямала в современных публикациях не встречались.

#### ***Цель и задачи исследования.***

Цель работы – уточнить перспективы нефтегазоносности и повысить эффективность геологоразведочных работ в пределах восточной части полуострова Ямал путем выбора приоритетных для поискового бурения перспективных объектов.

Научная задача, которую необходимо решить для достижения поставленной цели – создать модель геологического развития осадочного чехла и доюрского основания восточного Ямала с учетом всей новой геолого-геофизической информации и провести анализ подтверждаемости бурением ранее выделенных ловушек.

Этапы решения поставленной задачи:

1. Анализ отрицательных результатов поискового бурения ранее выделенных перспективных объектов для установления причин ошибок и недопущения их при последующих геологоразведочных работах.
2. Уточнение строения тектонических структур и разломов, последовательности и механизмов их формирования.
3. Картирование новых неструктурных ловушек.
4. Оценка геологических рисков поискового бурения перспективных ловушек на основе установленных закономерностей распределения залежей и подтверждаемости объектов бурением.

***Объект исследования*** – осадочный чехол и доюрское основание восточной части полуострова Ямал и западной части Гыданского полуострова (см. рисунок 1).

***Предмет исследования*** – особенности геологического развития, закономерности размещения залежей углеводородов и перспективные объекты восточной части полуострова Ямал.

### ***Научная новизна.***

1. На основе всей имеющейся геолого-геофизической информации, включая новые сейсмические данные, обновлены и детализированы тектонические схемы осадочного чехла и доюрского основания. Выделены глубинные тектонические нарушения-линеаменты основания и установлена их взаимосвязь с разломами чехла.

2. В результате палеогеоморфологического и геодинамического анализа составлена концептуальная модель тектонического развития осадочного чехла: определены временные интервалы, механизмы образования структурных поднятий и разломов, выявлены преимущественные направления тектонических напряжений. Впервые инверсионными сдвигами объяснено противоречие одинаковой ориентировки антиклиналей и сбросов, формировавшихся на неотектоническом этапе развития.

3. Разработана детальная модель накопления неокомских отложений. Закартированы границы распространения берриас-раннеготеривской глинистой толщи, накопившейся раньше традиционных клиноформ западного падения и предопределившей формирование пластов-коллекторов значительной толщины с залежами углеводородов.

4. Разработаны и апробированы оптимизированные методики построения карт пространственного распределения погрешности структурных построений и оценки геологических рисков поискового бурения перспективных объектов.

### ***Теоретическая и практическая значимость работ.***

1. Методика оценки латеральной погрешности структурных построений и геологических рисков способствует повышению коэффициента успешности поисково-разведочного бурения. Технология расчета карт структурной неопределенности и элементы методики расчета рисков использованы в 5 научно-производственных проектах.

2. Локализованы 123 ловушки в неокомских отложениях, включая впервые выделенные объекты, и оценены риски поискового бурения. Проведенное ранжирование перспективных ловушек по степени надежности (геологическим рискам) послужило основой для принятия решений о лицензировании и для планирования геологоразведочных работ на Верхнетиутейской и Западно-Сеяхинской площадях.

3. Обосновано списание большинства ранее выделенных структурных объектов апт-альб-сеноманского интервала как бесперспективных и смещение приоритета геологоразведочных работ в восточной части Ямала на впервые локализованные неокомские ловушки неантиклинального типа. Продуктивность этого типа ловушек подтверждена бурением.

4. Выявленные закономерности размещения залежей углеводородов востока Ямала могут быть использованы для прогноза распределения залежей УВ на других схожих по геологическому строению перспективных территориях: Гыданский полуостров, Карское море, Полуйский район. В частности, по итогам работы для поискового бурения рекомендованы наиболее перспективные на обнаружение крупных месторождений структурные объекты в Гыданской нефтегазоносной области.

**Методология и методы исследования (рисунок 3).**

На первом этапе работы проводился сбор, систематизация и анализ ранее выполненных исследований (ретроспективный анализ). Далее выполнялась комплексная геолого-геофизическая интерпретация сейсмических, скважинных и гравимагнитных данных, включающая методы структурно-тектонического, палеогеоморфологического, геодинамического анализа. При сейсмической интерпретации особое внимание уделялось учету скоростных неоднородностей, атрибутивному анализу. Были рассмотрены стохастические и детерминистические методы оценки структурной неопределенности.



Рисунок 3 – Этапы, методы решения цели и задачи исследования

Методика оценки рисков базировалась как на статистическом подходе (основанном на расчете коэффициентов успешности), так и на теоретико-вероятностном и экспертном подходах (основанных на установлении закономерностей распределения залежей углеводородов).

В основу работы легла парадигма мобилизма, тектоники плит и теория органического происхождения углеводородов. Применялся системный подход к исследованию геологических объектов и процессов – как частей единой нефтегазоносной системы. Автор старался по мере возможности не ограничиваться описательным, структурным подходом к изучению геологических объектов, а использовать генетический метод – выявлять

причинно-следственные связи, пытаться устанавливать причины наблюдаемых закономерностей.

Эмпирическую основу работы представляла собой практически вся доступная информация в пределах востока Ямала и сопредельных территорий (рисунок 1): данные бурения более 200 скважин, сейсмические профили 2D объемом более 20000 пог. км, 5 сейсморазведочных съемок 3D общей площадью более 4500 км<sup>2</sup>, материалы потенциальных полей.

***Основные положения, выносимые на защиту:***

1. Структурные элементы осадочного чехла полуострова Ямал формировались в результате комбинации неравномерного погружения блоков основания и горизонтальных сдвигов, происходивших в ходе пяти импульсов активизации тектонического сжатия: северо-северо-восточного простирания в средней юре, северо-северо-западного простирания в поздней юре - раннем неокоме, субмеридиональной ориентировки в позднем альбе - сеномане, северо-северо-восточного простирания в олигоцене и западно-северо-западного простирания в миоцене.

2. Минимальные риски поискового бурения среди перспективных неантиклинальных объектов востока Ямала имеют ловушки выклинивания пластов клиноформ западного падения на берриас-раннеготеривскую глинистую толщу (на клин восточного падения).

3. Успешность нефтегазопоисковых работ на апт-альб-сеноманский интервал повышается, согласно статистическим данным, на 30-40% путем выбора наиболее надежных для бурения объектов с помощью оценки самого важного из геологических рисков – неподтверждения структурной ловушки по эмпирически установленным критериям, таким как: наличие сейсмических амплитудных аномалий в интервале пластов ПК или ХМ, либо низкоскоростных аномалий в своде структуры, а также древний возраст заложения поднятия или его более высокое гипсометрическое расположение относительно других поднятий на современном структурном плане кровли юры.

***Личный вклад.***

Работа по комплексной оценке перспектив нефтегазоносности востока Ямала, результаты которой изложены в диссертации, выполнена под руководством автора в роли ответственного исполнителя. Лично автор провел анализ отрицательных результатов бурения, участвовал в сейсмической интерпретации, разработал модель тектонического развития, составил модель строения и закартировал перспективные объекты неокомского интервала. Автором усовершенствована и применена методика оценки геологических рисков и структурной неопределенности.

***Степень достоверности и апробация результатов.***

Достоверность результатов работы следует из их соответствия современным теоретическим представлениям о геологии региона исследования и фактическим данным. В частности, на фактических данных (статистике результатов поисково-разведочного бурения) основывается предлагаемая методика оценки геологических рисков неподтверждения перспективных

объектов. Продуктивность наиболее перспективного типа ловушек доказана бурением.

Результаты работ докладывались на восьми научно-практических конференциях, из них пять имели статус международных.

### ***Публикации.***

По теме диссертационного исследования автором было опубликовано 13 статей и тезисов докладов, из них 5 в журналах, рецензируемых ВАК.

### ***Объем и структура работы.***

Работа изложена на 219 страницах, содержит 86 рисунков, 13 таблиц. Структура работы состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Список литературы включает 170 источников.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **1. Обзор предшествующих исследований**

В первой главе на основе анализа результатов ранее выполненных работ выявлены основные нерешенные вопросы геологического строения территории и проведена окончательная постановка задач исследования.

Среди многочисленных исследований ***перспектив нефтегазоносности*** Ямала следует отметить последнюю обобщающую работу, выполненную тематической партией «Ямалгеофизики» в 1988 г. под руководством В.С. Соседкова. В результате были намечены основные направления работ по выявлению новых перспективных зон на юго-востоке Ямала: область «интерференции» (перехлеста) клиноформ восточного и западного падения, ловушки выклинивания юрского интервала (по И.И. Нестерову – барьерные ловушки) и палеодолины в базальных горизонтах юры. Из современных обобщающих исследований следует отметить работы И.В. Кислухина 2009 и 2012 г., где по региональной сети профилей были выделены ловушки барьерного типа на всей территории полуострова Ямал.

Основной резерв увеличения ресурсной базы на Ямале скрывают в себе неокомские отложения (Скоробогатов, 2003). Так, в целом по ЯНАО в ходе геологоразведочных детализирующих и обобщающих работ за последние 10-15 лет ресурсы ачимовского НГК увеличились на 30-50% (Бородкин, 2015). Опыт разведки крупнейших месторождений севера Западной Сибири показывает, что оцениваемые запасы УВ в неокомских залежах возрастают относительно первоначальных оценок (Нежданов, 2014).

Для нефтегазопоисковых работ представляется важным ***изучение тектоники***, поскольку по данным некоторых авторов наиболее информативными критериями нефтегазоносности являются палеоструктурные (Левинзон, 1997), а палеотектонические методы позволяют прогнозировать неструктурные скопления УВ в палеоподнятиях (Вайполин, 1990, Нассонова, 2011) или в зонах пассивного древнего нефтегазонакопления (Аплонов, 2000). Глубинные линейные элементы контролируют положение линейных кор выветривания, в которых доказано развитие залежей углеводородов, например, на Новопортовской площади (Журавлев, 1999).

Существует множество вариаций *схем тектонического строения* севера Западно-Сибирской плиты. В интерпретации В.С. Суркова Колтогорско-Уренгойский грабен-рифт, проходящий субмеридионально через всю территорию плиты, продолжается на территорию Гыдана, а на Ямале протягивается его северо-западное ответвление. Согласно другим авторам, на Ямале и Гыдане признаков рифтогенеза по сейсмическим данным не обнаружено (Vyssotski, 2006). Многие исследователи ставят под вопрос существование рифтов в Западной Сибири в целом (Бочкарев, 2004; Артющков, 2010; Кушнир, 2016). Эти вопросы тесно связаны с фундаментальной проблемой зарождения континентальных осадочных бассейнов, которую можно сформулировать в духе известного высказывания: растяжение определяет погружение (Allen, 2005) или погружение определяет растяжение (Артющков, 2010; Лунев, 2010)? Что касается осадочного чехла, то используемые ныне в практике работ тектонические схемы ЗапСибНИГНИ (Бочкарев, 1990) составлялись еще в 1990-х годах и основывались на сейсмических материалах без должного учета скоростных аномалий.

*Происхождение поднятий и разломов* осадочного чехла региона не может быть полностью объяснено ни вертикальными движениями (например, неравномерное опускание блоков основания или автокаталитическое всплывание газонасыщенных поднятий (Конторович, 2014) и др.), ни горизонтальным сжатием. Одновременное образование кулисообразных систем сбросов (признак растяжения) и рост антиклиналей (признак сжатия) принято объяснять транспрессией при сдвиговых дислокациях (Kunin, 1996; Гогоненков, 2008; Филиппович, 2012). Но имеется и другое противоречие, которое транспрессией объяснить уже нельзя – ориентировка большинства формировавшихся на неотектоническом этапе антиклиналей и сбросов имеет одинаковое, субмеридиональное простирание (Гогоненков, 2008, Гончаров 2010). Нет единого мнения и по амплитуде сдвигов в мезозое и временным этапам формирования структур.

При *структурных построениях* исследуемого региона необходимо отметить важность использования сейсмических (эффективных) скоростей суммирования, применение которых повышает точность прогноза глубин более, чем в два раза (Новокрецин, 2008). Но, как бы ни была оптимальна методика структурных построений, не существует единственно верного решения обратной кинематической задачи (Долгих, 2011, 2012; Glogovsky, 2009). Следовательно, при построении глубинно-скоростных моделей неизбежны погрешности, которые необходимо достоверно оценивать.

Для *оценки структурных неопределенностей* методические рекомендации регламентируют использование в качестве меры погрешности среднеквадратической ошибки  $\sigma$ , которая рассчитывается по внешней сходимости данных сейсморазведки с бурением. Оценка дается в виде единого для всей площади значения. Применение такого подхода видится правомерным только при интерпретации данных 3D съемки и при плотной и равномерной разбуренности площади. Если сеть скважин неравномерная и/или редкая, для оценки точности необходим анализ внутренней сходимости сейсмических

данных, который отдельно учитывает ошибки определения исходных кинематических параметров – времени и скорости.

Еще более информативным с практической точки зрения подходом к оценке неопределенности является построение карты распределения ошибок. В случае использования постоянного по всей площади значения погрешности, фактическая неопределенность, с высокой степенью вероятности, в удаленных от бурения областях отстраиваемой карты будет занижаться, а вблизи скважин – завышаться. Это очевидно, поскольку свойства изучаемого объекта латерально изменчивы, а исходные данные распределены неравномерно (Сысоев, 2001).

Подходы к построению карт ошибок можно разделить на стохастические и детерминистические. Стохастические методы имеют ряд существенных методологических недостатков: субъективность и сложность построения модельной вариограммы, а также необходимость стационарности поля (Аронов, 2002, Черкасс, 2008) и долгое время расчета (Новокрещин, 2008). Для корректного расчета по стохастическим методам необходимо иметь априорную информацию об изменчивости поля времен и скоростей. Такие карты можно получить только детерминистическим путем. Для их получения разные авторы предлагают использовать невязки на пересечениях сейсмических профилей 2D (Иванова, 2004), флуктуации скоростей суммирования и поочередное исключение профилей из процесса построений (Авербух, 2007).

**Методы оценки геологических рисков** давно и широко применяются за рубежом для технико-экономической оценки и при принятии инвестиционных решений в геологоразведке и разработке месторождений (Otis, 1997). В последнее время эти методы активно распространяются и в России. В частности, наиболее популярные из опубликованных методические рекомендации (The CCOP Guidelines..., 2000) были адаптированы для применения в российских реалиях (Поляков, 2012), а в самых крупных нефтяных компаниях были разработаны свои регламентирующие документы по оценке рисков (Фокин, 2011).

Важно использовать статистические данные при оценке рисков (Вишняков, 2008). Статистический и вероятностно-статистический подход для расчета рисков успешно применялся в хорошо изученной бурением Волго-Уральской НГП (Галкин, 2012). Для территории Ямала подобных опубликованных работ найти не удалось.

## **2. Анализ отрицательных результатов поисково-разведочного бурения**

Проведен анализ отрицательных результатов поисково-разведочного бурения структурных поднятий Ямало-Гыданского региона и анализ результатов бурения неоконченного интервала востока Ямала. Было рассмотрено более 60 отчетов и паспортов структур, составленных еще в советское время, с 1976 по 1992 гг., в ПГО «Ямалгеофизика», а также результатов более современных работ, выполненных в «Таймыргеофизика», «ГеоПрайм», «ЛНТНГ Петрограф», «СибНАЦ» и других организациях.

Наиболее вероятная причина отрицательных результатов бурения апт-альб-сеноманского интервала – ошибки прогноза структурного плана (рисунок 4). На втором месте – особенности истории и механизма миграции углеводородов в ловушки (см. подробности в главе 4).

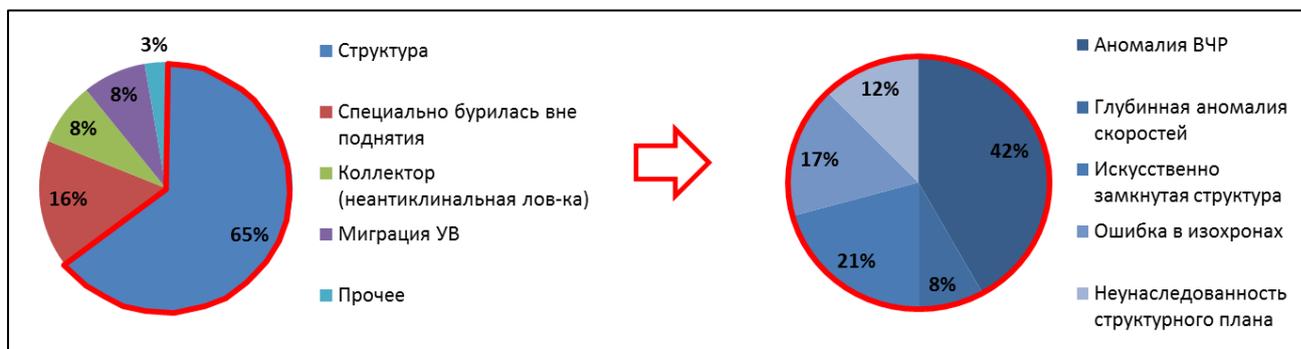


Рисунок 4 – Причины отрицательных результатов поискового бурения Ямало-Гыданского региона (слева) и более подробные причины структурных ошибок (справа)

Ошибки прогноза структурных планов, в свою очередь, могли возникнуть по нескольким причинам, из которых примерно половину от общего числа случаев составляют скоростные аномалии (см. рисунок 4). В большинстве своем они вызваны неоднородностью строения верхней части разреза. Эти проблемы связаны с относительно высокой в сравнении с размерами поднятий погрешностью структурных построений. Зачастую оцениваемая среднеквадратическая ошибка (погрешность) архивных структурных построений была сильно занижена.

По статистическим данным выведены **коэффициенты подтверждаемости (успешности) бурения структурных и неструктурных ловушек** региона (таблица 1), а также коэффициенты, характеризующие вероятность наличия качественного коллектора и УВ-насыщения ловушек для каждой палеогеоморфологической зоны в неокомских клиноформах (таблица 2).

Таблица 1. Подтверждаемость ловушек в апт-альб-сеноманском интервале поисковым бурением.

Ловушки	Ямал	Гыдан	Все
Все	0.41	0.44	<b>0.42</b>
Структурные	0.48	0.52	<b>0.50</b>
Надежные структурные (без признаков псевдоподнятий)	0.79	0.94	<b>0.87</b>

Для распознавания ненадежных структур, дополнительно к анализу структурных неопределенностей, эмпирически установлены морфологические и динамические критерии, которые характерны для псевдоподнятий: отсутствие выраженных амплитудных аномалий волнового поля в кровле сеномана и альба, либо низкоскоростных аномалий в ачимовском-юрском интервале, отсутствие унаследованности структурного плана, молодой возраст

заложения структуры, расположение объектов на периферии, в погруженной части более крупных поднятий и другие признаки. Применение этих критериев может повысить подтверждаемость ловушек бурением, согласно статистическим данным, на 30-40% (с 0.48 до 0.79 и с 0.52 до 0.94).

Таблица 2. Подтверждаемость коллектора и продуктивности ловушек неокомского интервала бурением.

Подтверждаемость бурением	Все скважины/ловушки				В пределах «ярких пятен»			
	Все	Унда-форма	Склон, терраса	Фондо-форма	Все	Унда-форма	Склон, терраса	Фондо-форма
Коллектор (по РИГИС и испытаниям)	<b>0.50</b>	0.55	0.51	0.17	<b>0.56</b>	0.54	0.62	0.39
Продуктивности ловушек (по РИГИС)	<b>0.74</b>	0.59	0.90*	1.00*	<b>0.86</b>	0.67	1.00*	1.00*

\*статистики слишком мало

В отношении неструктурных ловушек из собранной статистики совершенно логичными представляются два основных вывода: коллектор в пределах фондоформы (ачимовской толщи) имеет гораздо более низкий коэффициент подтверждаемости бурением в сравнении с зоной склона и ундаформы; применение динамического анализа сейсмических данных (выявление аномалий типа «яркие пятна») увеличивает шанс вскрытия коллектора – в частности, для отложений фондоформы в два раза.

### 3. Структурно-тектоническое строение

Структурные построения в данной работе были выполнены с применением сейсмических скоростей суммирования, использование которых, как было отмечено ранее, должно приводить к повышению точности прогноза глубин.

Разработана *методика оценки пространственного распределения прогнозной структурной погрешности* (рисунок 5), которая позволяет повысить эффективность описанных в главе 1 традиционных подходов. Оценка производится детерминистическим способом, как по внутренней сходимости метода (ошибки определения кинематических параметров: времен и скоростей), так и по внешней сходимости со скважинными отбивками. В итоге рассчитывается карта среднеквадратической погрешности структурных построений, которая далее, вместе с результатами анализа тектонического фактора и отрицательных результатов бурения, используется для распознавания ненадежных поднятий.

С учетом результатов анализа структурных неопределенностей, новых съемок 3D и современной переобработки сейсмических профилей 2D была уточнена *схема структурно-тектонических элементов осадочного чехла* ЗапСибНИГНИ (Бочкарев, 1990). По всей территории востока Ямала детализированы тектонические разломы в соответствии с результатами 3D сейсмических съемок на Мало-Ямальской и Новопортовской площадях. На схеме отражены ранее не выделявшиеся замкнутые поднятия: бескорневые

Западно-Сеяхинское (юг), Верхнесеяхинское, Ростовцевское, Хамбате́йское, и глубокое выположенное вверх по разрезу к кровле юры Рифовое поднятие. Обособилась крупнейшая замкнутая положительная структура центральной части Ямала – Бованенковско-Арктический крупный вал, включающий существенно увеличившиеся в размерах Арктическое и Нейтинское поднятия. Ниливэйский и Восточно-Арктический структурные мысы уменьшились в размерах и превратились в седловины.

На основе комплексной интерпретации материалов потенциальных полей (аномалий гравитационного и магнитного полей) и данных сейсморазведки была составлена **схема строения доюрского основания** района работ. Результаты показывают более сложную конфигурацию рифтов, по своей сегментированности более близкую к интерпретации А.А. Нежданова и Д.А. Астафьева (Астафьев, 2008), чем к широко известной схеме В.С. Суркова. На сейсмических разрезах рифтовые зоны имеют вид пликативных впадин и не обладают признаками грабенов, образовавшихся в результате растяжения-спрединга. Отсюда следует вывод о более глубоком, чем было принято считать ранее, заложении зон растяжения при рифтогенезе.

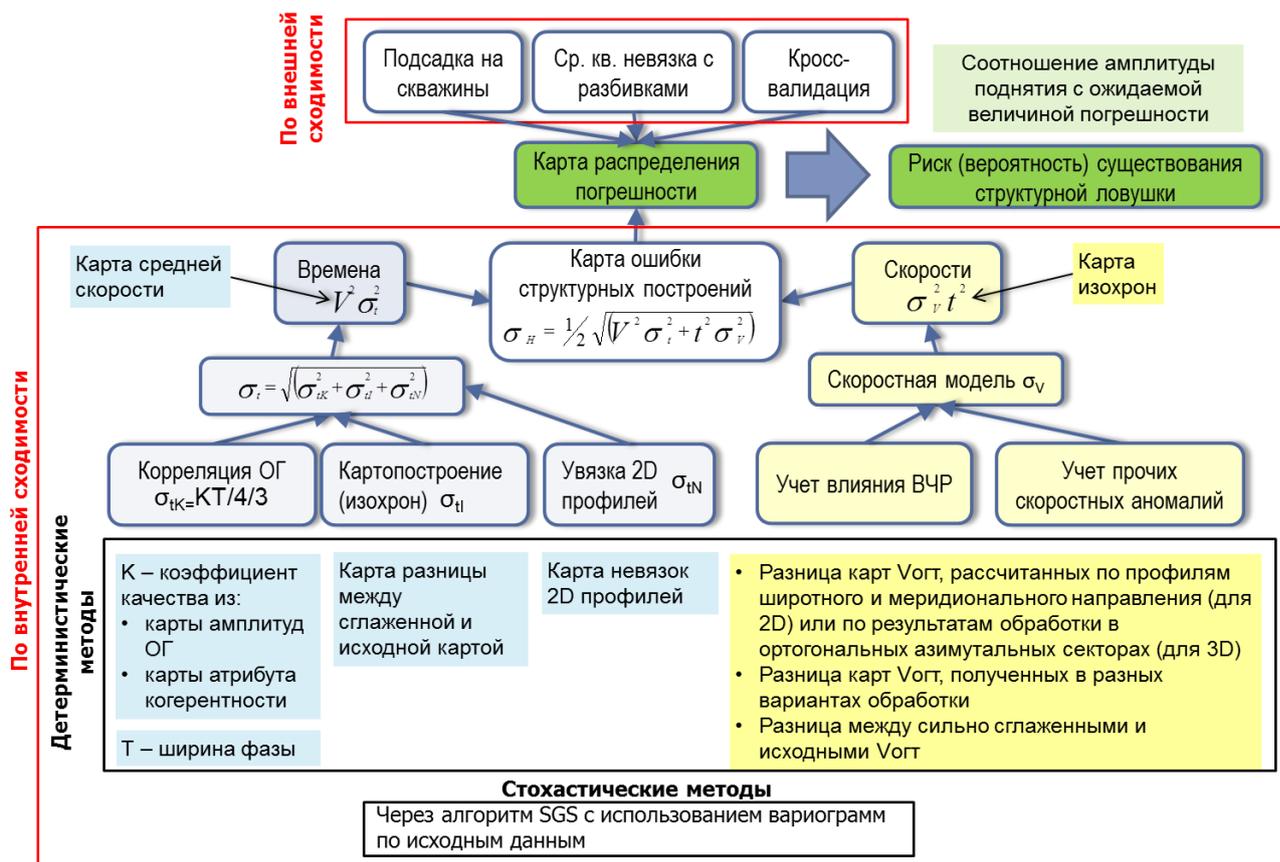


Рисунок 5 – Схема оценки структурной неопределенности

В результате палеогеоморфологического и геодинамического анализа были определены **временные интервалы, механизмы образования антиклинальных поднятий и разломов осадочного чехла, выявлены преимущественные направления тектонических сил** (рисунок 6, 7). В соответствии с выполненным анализом произведена классификация

Основные периоды роста структур, образования разломов и тектонической активности на территории работ	Центральноямальский мегавал										Южно-Ямальский мегавал				Преимущественное простирание					
	Центральноямальский крупный вал					Нурминско-Бованенковский мегавал					Юрибейская моноклираль		Каменно-Ямальный выступ		анти-клиналей	вектора максимального напряжения				
	Верхне-триутейское	Западно-Сейхинское (север)	Вануйское	Северо-Сейхинское	Верхне-сейхинское	Нейттинское	Арктическое	Бованенковско-Арктический кувильный вал	Западно-Арктическое	Средне-ямальское	Нурминское	Рифовое	Ростов-Цевское	Хамба-Тейское			Мало-Ямальское 1	Мало-Ямальское 2	Ямальское	Менгелотское
Интервал	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	нет
Млоцен	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Олигоцен	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Поздний альб - сеноман	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Ранний альб	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Баррем - апт	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Поздняя юра-готерив	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Средняя юра	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Ранняя юра	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Верхний горизонт, нарушенный разломами	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г
<b>Выводы по механизму формирования структуры</b>	1	1	2	1	4	2	1	3	1	2	2	3	1	2	2	4	1	4	1	4
	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

Рисунок 6 – Этапы формирования тектонических элементов чехла

выделенных разломов и поднятий осадочного чехла по их типу, времени, способу образования.

Структурные элементы чехла формировались за счет двух основных механизмов: неравномерного опускания блоков доюрского основания и горизонтального сжатия. По мере общего прогибания бассейна, концентрировавшегося вдоль надрифтовых зон, выявлены пять импульсов тектонической активизации (рисунок 6). В ходе них отмечались схожие процессы – происходили горизонтальные сдвиги, сопровождающиеся транспрессией, формированием поднятий, сопряженных с ними взбросов и кулисообразных систем сбросов вдоль сдвиговых зон.

Основные структурообразующие движения в осадочном чехле происходили вдоль закартированных глубинных линейных нарушений доюрского основания. Эти линеаменты отражают границы тектонических блоков, взбросы, надвиги и прочие неоднородности основания.

Установлено продолжение систем горизонтального сдвига (Гогоненков, 2007) на территорию Ямала и их приуроченность к глубинным линеаментам. Противоречие в ориентировке антиклиналей и сбросов при транспрессии в ходе кайнозойского этапа развития объясняется инверсией, разнонаправленными сдвиговыми движениями, выявленными при помощи материалов сейсмических съемок 3D (см. рисунок 7).

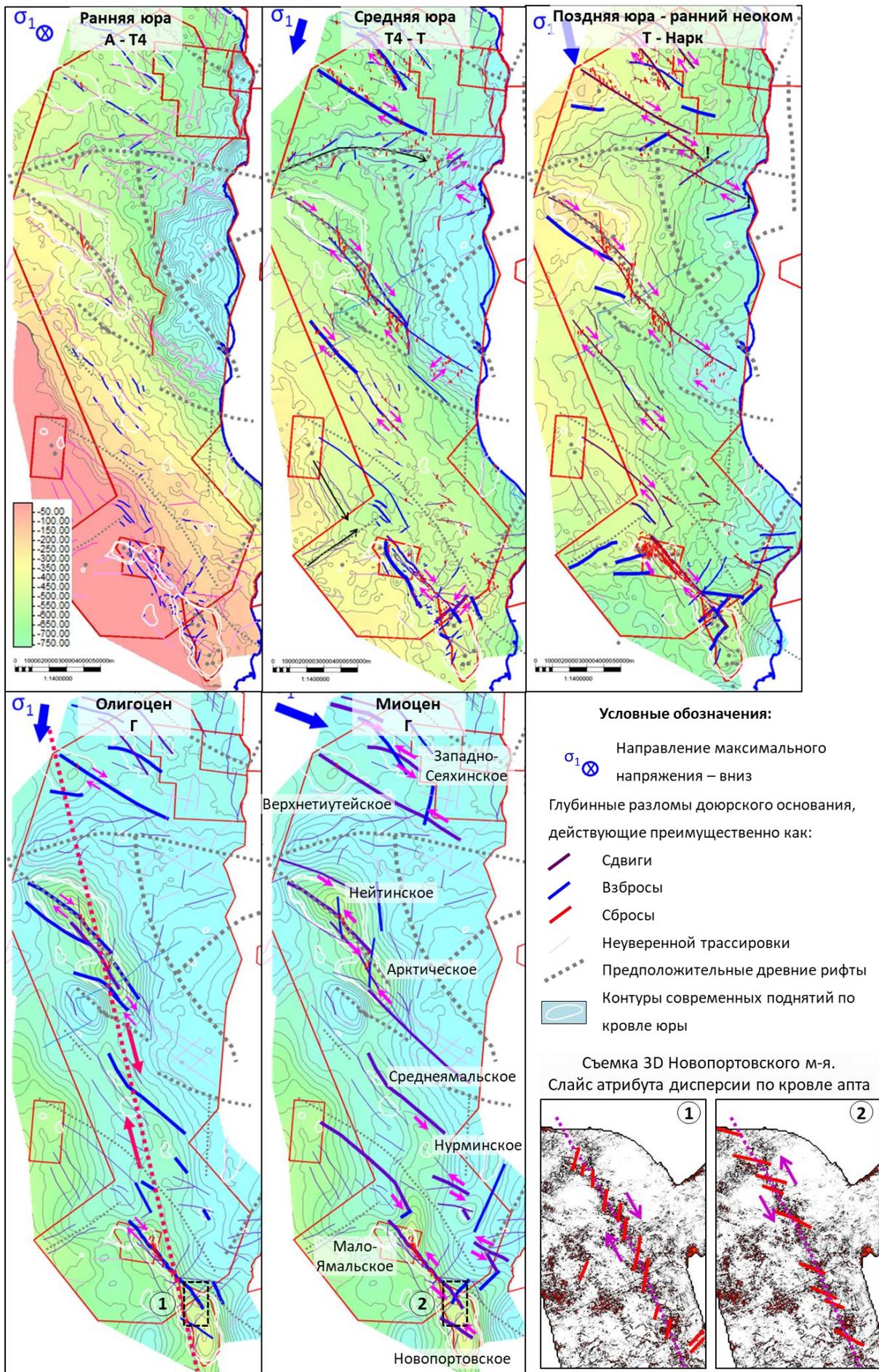


Рисунок 7 – Палеорельеф, тектонические напряжения

Амплитуда сдвиговых смещений в мезозое, по-видимому, была не значительной и не могла превышать 1-5 км, что согласуется с палеомагнитными (Павлов, 2012) и скважинными данными. В домезозойское время структуры Нурминско-Бованенковского мегавала, вероятнее всего, ранее представляли собой единую структуру субмеридионального северо-северо-восточного простирания. Он был сегментирован по системе левосторонних сдвигов северо-западного простирания на отдельные складки, предположительно, в конце перми, когда происходили глобальные подвижки по Трансевразийскому (Соборнов, 2006) или Саяно-Пайхойскому (Филиппович, 2001) разлому.

#### **4. Закономерности и перспективы нефтегазоносности. Оценка рисков**

С целью детального картирования неантиклинальных объектов была выполнена межскважинная корреляция и сейсмическая интерпретация, построена *модель геологического развития неокомского интервала восточной* части Ямала. На юго-западе полуострова в составе ахской свиты выделена берриас-раннеготеривская *восходная толща*, сложенная преимущественно морскими аргиллитами. С кровлей толщи ассоциируется отражающая граница – клин восточного падения, встречного к более поздним традиционным неокомским клиноформам западного падения. Ее образование связано как с тектоническим фактором, так и с проградацией осадков в северо-восточном направлении с Щучьинского выступа. Эта толща играла огромную роль в распределении осадочного материала традиционных клиноформ западного падения. Сформировавшийся палеовыступ в районе Мало-Ямальской и Нурминской площадей послужил препятствием на пути распространения осадков и вызвал формирование террас в склоновой части клиноформ западного падения и мелководных, благоприятных условий для накопления пластов-коллекторов значительной толщины. Этим, в частности, объясняется формирование крупных залежей углеводородов в низах ахской свиты Новопортовского и Ростовцевского месторождений.

Установлены и другие заслуживающие внимания закономерности распределения залежей. На месторождениях, осложненных высокоамплитудными разломами, цикличность распределения запасов по разрезу нарушается, коэффициент заполнения ловушки резко уменьшается, доля нефти в соотношении запасов возрастает.

Выявлены водонасыщенные структуры, где отсутствие залежей в сводовой части антиклинали при наличии коллектора сложно объяснить чем-либо иным, кроме как механизмом миграции углеводородов. Они обладают следующими общими признаками: являются структурами-«спутниками» более крупных месторождений, сформировались относительно недавно и не осложнены разломами. В отличие от более древних поднятий, апт-альб-сеноманские пласты этих структур до кайнозоя не имели возможности подпитываться УВ-флюидами из первичных юрских залежей, которые не формировались ввиду отсутствия глубоких поднятий, а прямая миграция УВ из юрских нефтегазоматеринских пород была затруднительна из-за отсутствия разломов.

Существование таких водоносных структур противоречит гипотезе о том, что преимущественным источником апт-альб-сеноманских залежей могли быть апт-альбские углистые отложения (Скоробогатов, 2003, 2006; Fjellanger, 2010), поскольку если УВ генерировались бы *in situ*, то все структурные ловушки в апт-альбе содержали залежи.

В результате проведенной работы **оцененные запасы и ресурсы** изученной территории перераспределяются относительно балансовых оценок следующим образом (см. рисунок 1). Часть ресурсов юрского интервала рекомендуется перевести в запасы, как подтвержденные испытаниями в скважинах. Целый ряд небольших по размеру структурных ловушек, ресурсы которых оценены и учтены на государственном балансе Ямала, рекомендуется списать. Эти структуры относятся к классу объектов, на которые был пробурен ряд «пустых» поисково-разведочных скважин: с высокой структурной неопределенностью и перечисленными в главе 2 признаками псевдоподнятий. Следует сместить акцент геологоразведочных работ вместо данных структур на неопределенные надежные ловушки без признаков псевдоподнятий, которые в силу больших искажений, вносимых скоростными неоднородностями ВЧР, могли оказаться не выражены в виде структурных поднятий в волновом поле, а также на неантиклинальные ловушки.

Что касается неантиклинальных ловушек, то в неокомском интервале вдоль всей восточной границы распространения восходной толщи (клина восточного падения), как и предполагалось В.С. Соседковым и А.Л. Наумовым в конце 1980-ых гг. (Соседков, 1988), было установлено развитие и локализованы перспективные **ловушки выклинивания пластов клиноформ западного падения на клин восточного падения** (кровлю восходной толщи) (рисунок 8, 9). Доказана приуроченность притоков УВ к этим ловушкам в скважинах Западно-Ростовцевской (Нулмаухинской), Южно-Нурминской, Среднеямальской, Хамбатеиской площадей. Выделены **ловушки выклинивания на оползневый объект** на Северо-Сеяхинской площади (рисунок 8).

Локализованы **неантиклинальные объекты юрских горизонтов**. Перспективы расформированных палеоподнятий доказаны бурением на Северо-Сеяхинской, Южно-Нурминской и Усть-Юрибейской площадях. Намечены зоны развития тектонических ловушек.

Под геологические условия региона адаптирована **методика оценки рисков**, которая определяет вероятность открытия залежи в конкретном пласте и объекте. В соответствии с результатами анализа закономерностей размещения залежей были выбраны и оценены три основных фактора успешности поискового бурения: наличие ловушки, коллектора и УВ-насыщения ловушки. Эти факторы оценивались по нескольким параметрам, исходя из теоретических соображений о вероятности наличия благоприятных условий, определяющих нефтегазоносность, и, что более важно, исходя из эмпирических данных – статистики результатов бурения подобных объектов в нефтегазоносном бассейне (см. таблицы 1 и 2). На основе методики произведено ранжирование локализованных ловушек по степени надежности и перспективности для постановки поискового бурения.

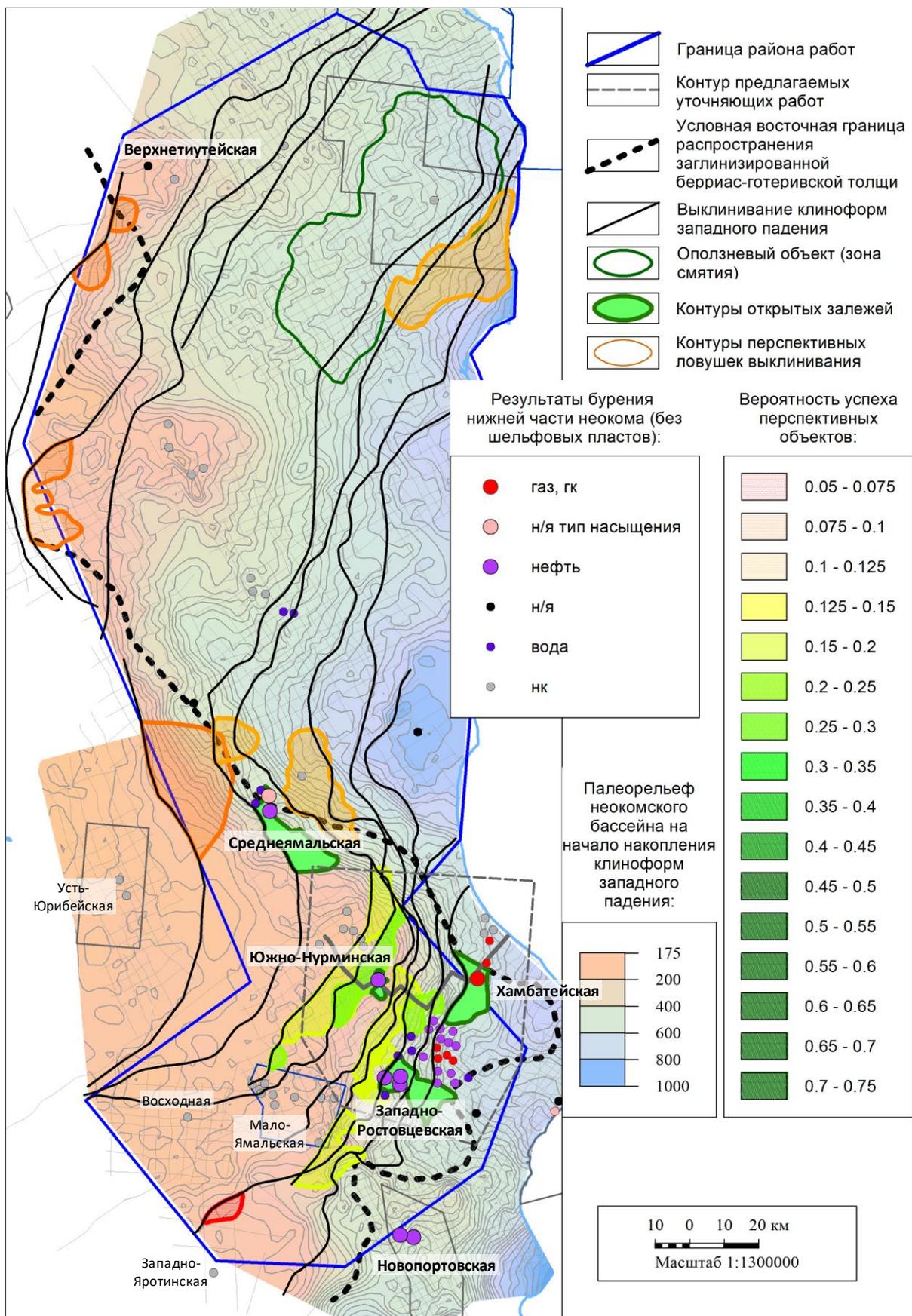


Рисунок 8 – Неантиклинальные неокомские объекты: ловушки выклинивания клиноформ западного падения на клин восточного падения (кровлю берриас-готеривской глинистой восточной толщи) и на оползневый объект

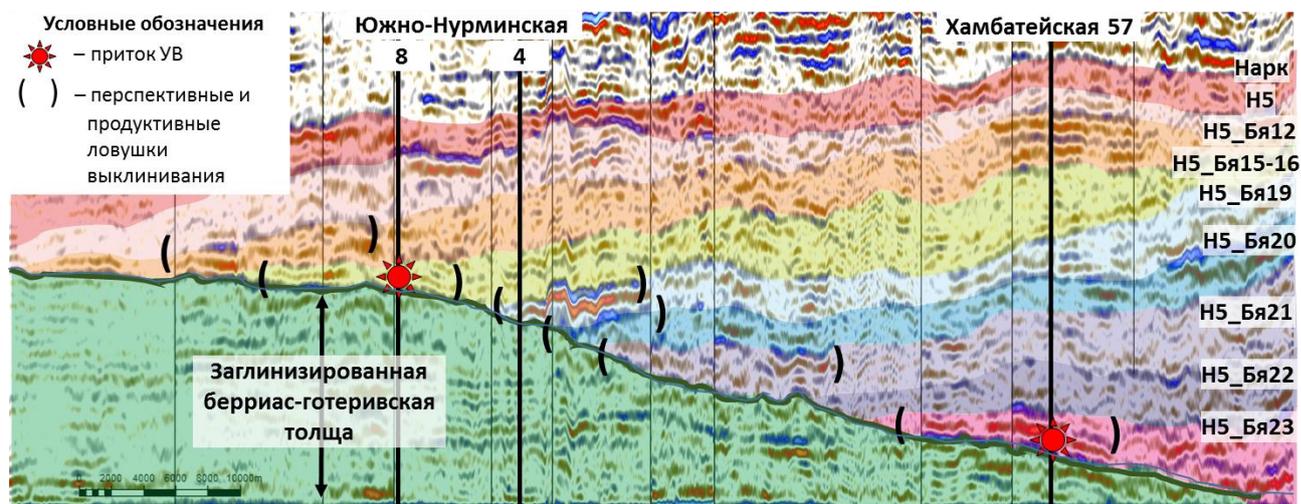


Рисунок 9 – Сейсмический разрез через неокомские ловушки выклинивания (положение разреза указано на рисунке 8)

Надежных **структурных объектов**, которые можно было бы рекомендовать для бурения, на востоке Ямала не выявлено. Вместе с тем, на основе установленных в ходе данной работы закономерностей можно выделить первоочередные для изучения непоискованные и недоразведанные поднятия на сопредельных территориях. Это Хвойное, Хороводное и Восточно-Харасавэйское поднятия на севере Ямала; Северо-Обское и Восточно-Тамбейское в Обской губе; Сопочное, Аметистовое, Трехбугорное, Яровское-Паютское, Нанадянское и Южно-Явайское на Гыданском полуострове.

Наибольшее сосредоточение **надежных неантиклинальных неокомских объектов** с преимущественно нефтяным прогнозным насыщением наблюдается в районе Южно-Нурминской и Западно-Ростовцевской площадей (см. рисунок 8, 9). Здесь выявлены новые, не учтенные на государственном балансе, ловушки выклинивания на клин восточного падения. Относительно надежные ачимовские и склоново-террасные объекты прогнозируются также на Верхнетиутейской площади. Изучение неокомских отложений для постановки поискового бурения рекомендуется начать с этих участков.

Для первоочередного изучения перспектив **доюрского основания** можно рекомендовать Рифовую структуру к северу от Мало-Ямальской площади.

### Заключение

В ходе решения поставленной научной задачи были выполнены следующие основные этапы работы.

Проведен ретроспективный анализ результатов предшествующих работ. Установлены причины отрицательных результатов поисково-разведочного бурения (см. рисунок 4) и эмпирические критерии водоносных объектов.

Выполнена комплексная интерпретация всего массива сейсмических, скважинных и гравимагнитных данных. Разработана методика оценки пространственного распределения структурной погрешности (см. рисунок 5).

На основе выполненных структурных построений с учетом оцененных погрешностей был проведен палеогеоморфологический и геодинамический

анализ разреза. Построена концептуальная модель тектонического развития территории. В результате этого уточнено морфологическое строение, последовательность и механизмы формирования тектонических элементов (см. рисунок 6, 7), а также выделены перспективные объекты неантиклинального типа: тектонические ловушки и расформированные палеоподнятия.

Разработана модель накопления неокомских клиноформ, позволившая найти и локализовать новые неструктурные ловушки типа выклинивания (см. рисунок 8, 9).

На основе результатов анализа подтверждаемости бурением ранее выделенных перспективных объектов и установленных геологических закономерностей оценены риски поискового бурения перспективных ловушек и выявлены приоритетные объекты.

В итоге, уточнены перспективы нефтегазоносности востока Ямала – рекомендовано сместить приоритеты геологоразведочных работ со структурных ловушек апт-альб-сеноманского и юрского комплекса на неантиклинальные ловушки вне крупных поднятий неокомского интервала (включая ачимовскую толщу), локализованные в ходе данной работы (см. рисунок 8, 9). Также были даны рекомендации по первоочередным для бурения структурным поднятиям территории севера Ямала и Гыданского полуострова.

Согласно статистическим данным в случае выполнения рекомендаций следует ожидать повышение эффективности геологоразведочных работ – увеличение коэффициента успешности поискового бурения (см. таблицу 1, 2).

Таким образом, цель работы – уточнить перспективы нефтегазоносности и повысить эффективность геологоразведочных работ в пределах восточной части полуострова Ямал путем выбора приоритетных для поискового бурения перспективных объектов – следует считать выполненной.

## **Список опубликованных работ по теме диссертации**

### ***Публикации в изданиях, рецензируемых ВАК:***

1. Куркин, А. А. Оценка пространственного распределения погрешности структурных построений / А. А. Куркин // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2016. – №1. – С. 15-20.
2. Хасанов, Т. И. Влияние структурных неопределенностей на геологические риски / Т. И. Хасанов, А. А. Куркин, С. А. Федоров, Е. А. Зыза, В. А. Пономаренко // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2016. – №2. – С. 32-40.
3. Куркин, А. А. Причины неподтверждения структурных объектов при поисково-разведочном бурении в Ямальской и Гыданской НГО / А. А. Куркин // Экспозиция Нефть Газ – 2017. – №5 (58). – С. 27-32.
4. Куркин, А. А. Заглинизированная берриас-готеривская толща на Ямале и связанные с ней перспективные ловушки выклинивания / А. А. Куркин, Н. В. Янкова, В. И. Кузнецов, С. К. Стуликов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2018. – №1. – С. 13-21.

5. Куркин, А. А. Уточнение тектонического строения Ямало-Гыданского региона по результатам комплексной интерпретации геофизических данных / А. А. Куркин, В. И. Кузнецов // Геология нефти и газа. – 2018. – №3. – С. 87-101.

***Публикации в изданиях международных баз цитирования (Scopus):***

6. Kurkin, A. A. Some Results of Tectonic Evolution Study of Northern West Siberia Fields. / A. A. Kurkin, I. I. Grigoreva // EAGE Saint Petersburg International Conference and Exhibition on Geosciences 2014: Investing in the Future / Saint-Petersburg, 2014.
7. Ilyushina, A. S. Uncertainty Analysis of Main Development Targets of Unique Gas-Condensate Field / A. S. Ilyushina, V. V. Serebryakov, A. A. Kurkin, T. I. Gataullin, S. G. Medvedev // SPE Russian Oil and Gas Exploration & Production Technical Conference and Exhibition 2014 : 14-16 October / Moscow, Russia, 2014.
8. Khasanov, T. I. Lateral Distribution Estimation of Geological Risks Related to Structural Uncertainty / T. I. Khasanov, A.A. Kurkin, S. A. Fedorov, E. A. Zyza // EAGE Saint Petersburg International Conference and Exhibition 2016 / Saint-Petersburg, 2016.
9. Kurkin, A. A. Estimation of Structural Uncertainty Lateral Distribution / A. A. Kurkin // 79th EAGE Conference and Exhibition 2017 / Paris, 2017.

***Публикации в прочих изданиях:***

10. Куркин, А. А. О методике и результатах исследования тектонического развития месторождений Ямало-Гыданской НГО / А. А. Куркин, Ю. И. Григорьева // XVIII научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Проблемы развития газовой промышленности Сибири-2014» : сб. тезисов докладов / ООО «ТюменНИИгипрогаз». – Тюмень, 2014. – С. 28-31
11. Куркин, А. А. Оптимизация технологии учета ВЧР и построения глубинно-скоростной модели на основе адаптивной фильтрации поверхности верхнего опорного горизонта / А. А. Куркин, Ю. Н. Долгих, С. Н. Курышкин // Тюмень 2015: Глубокие горизонты науки и недр : Международная научно-практическая конференция EAGE : тезисы докладов / Тюмень, 2015.
12. Куркин, А. А. Методика расчета карт распределения структурной неопределенности / А. А. Куркин, Ю. Н. Долгих, С. Н. Курышкин // Нефть и газ - 2015 : Международная молодежная научная конференция : сб. тезисов / РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. – Москва, 2015. С. 65.
13. Куркин, А. А. Анализ отрицательных результатов поисково-разведочного бурения на севере Западной Сибири / А. А. Куркин // Oil & Gas Journal Russia. – 2017. – №6 (116) – С. 38-43