

На правах рукописи

Глухов

ГЛУХОВ Тимофей Вадимович

**ОЦЕНКА РЕСУРСОВ ГАЗА ПЛАСТА НБ₁ ВЕРХНЕГО МЕЛА
НАДЫМ-ПУР-ТАЗОВСКОГО РЕГИОНА**

Специальность 1.6.11 — Геология, поиски, разведка и эксплуатация
нефтяных и газовых месторождений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Новосибирск — 2026

Работа выполнена в обществе с ограниченной ответственностью «РН — Геология Исследования Разработка» (ООО «РН-ГИР»)

Научный руководитель:

Лебедев Михаил Валентинович

доктор геолого-минералогических наук, эксперт Управления региональной геологии и ГРП Западной Сибирь ООО «РН-ГИР», (г. Тюмень), профессор кафедры Геологии месторождений нефти и газа ФГБОУ «Тюменский индустриальный университет (г. Тюмень)

Официальные оппоненты:

Постникова Ольга Васильевна

доктор геолого-минералогических наук, доцент, декан факультета геологии и геофизики нефти и газа, заведующая научно-исследовательской лабораторией по проблемам нефтегазоносности Восточной Сибири, профессор кафедры литологии ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина» (г. Москва)

Сапьяник Виктор Васильевич

кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора, Новосибирский филиал ФГБУ «ВНИГНИ» (г. Новосибирск)

Ведущая организация:

ООО «НОВАТЭК НТЦ» (г. Тюмень)

Защита состоится 14 октября 2026 года в 15:00 в большом конференц-зале на заседании диссертационного совета 24.1.087.03 по адресу: 630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3

Отзыв в двух экземплярах, оформленный в соответствии с требованиями Минобрнауки России (см. вклейку), просим направлять по адресу: 630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3; факс (383) 330-28-07; e-mail: SotnichIS@ipgg.sbras.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ИНГГ СО РАН:

<http://www.ipgg.sbras.ru/ru/education/theses/d003-068-02/glukhov2026>

Автореферат разослан 1 сентября 2026 г.

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



И. С. Сотнич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Природный газ является одним из ключевых энергетических ресурсов, обеспечивающих промышленные и бытовые нужды во всем мире. Среднесрочная перспектива мировой энергетики нацелена на увеличение роли этого топлива: в сравнении с каменным углем, нефтепродуктами, атомной и возобновляемой энергией природный газ является дешевой, безопасной и экологичной альтернативой [BP Energy Outlook, 2020].

Добыча природного газа в Российской Федерации обеспечивает значимую часть его потребления в мире [ОРЕС Annual..., 2020]. Значительная доля отечественной газодобычи приходится на месторождения севера Западной Сибири, открытые в интервале отложений апт-альб-сеноманского возраста во второй половине прошлого века. Переход месторождений на стадию падающей добычи закономерно поднимает вопрос восполнения запасов. Новым источником природного газа могут стать залежи, приуроченные к кремневым резервуарам верхнего мела (нижние подсвиты березовской и часельской свит).

Кремневые коллекторы, залегающие выше сеноманского яруса, обладают доказанной газопродуктивностью: открыты и поставлены на баланс запасы на Медвежьей и Харампурской площадях. Залежи газа, приуроченные к этим отложениям, могут рассматриваться как возвратные объекты разработки для залежей сеноманского возраста севера Западной Сибири [Агалаков, Стариков, 2003]. Поскольку запасы газа, заключенные в интервале березовской свиты, относятся к трудноизвлекаемым, к их добыче применяется льготное налогообложение [Налоговый кодекс..., 2022], что позволяет рассматривать их и как самостоятельные объекты разработки.

Кремневые отложения верхнего мела Западной Сибири малоизучены: специфика приуроченных к ним коллекторов не позволяет применять традиционные методы исследования, используемые при изучении классических терригенных отложений. Это затрудняет получение оценки ресурсов кремневых резервуаров с достаточной степенью достоверности.

Вместе с тем в последние годы разработаны принципиально новые методические подходы к исследованию кремневых отложений верхнего мела Западной Сибири. Благодаря этому получен

значительный объем новых данных о строении, составе и свойствах этих отложений, и в настоящее время стало возможным изучить закономерности изменения подсчетных параметров кремневых коллекторов в региональном масштабе.

Степень разработанности темы исследования

Березовская свита выделена Н. Н. Ростовцевым в 1955 г. [Ростовцев, 1978]. Газоносность в ее интервале установлена позднее, в 1970-е годы: впервые об интенсивных газопроявлениях при проходке интервала нижней подсвиты березовской свиты отмечено в статье С. В. Стригоцкого и В. В. Масленникова [Стригоцкий, Масленников, 1974]. В начале 1990-х публикуются первые работы, посвященные оценке перспектив надсеноманского комплекса — статья С. Е. Агалакова и О. В. Бакуева, в которой предложены новые объекты поиска залежей газа в интервале березовской свиты [Агалаков, Бакуев, 1992].

В 2000–2010-х годах на фоне падения добычи газа из апт-альб-сеноманского комплекса началось активное изучение надсеноманского интервала, включая перспективные кремневые отложения нижней подсвиты березовской свиты. С. Е. Агалаковым, О. В. Бакуевым, А. И. Кудамановым, Н. Х. Кулахметовым, В. А. Мариновым, А. А. Неждановым, М. Ю. Новоселовой, В. В. Огибениным, С. А. Скрылевым исследованы геологическое строение кремневых резервуаров, раскрыты особенности осадконакопления и формирования кремневых коллекторов, обоснованы и оценены перспективы их газоносности [Кулахметов и др., 1998; Агалаков и др., 2001; Бакуев, 2002; Нежданов и др., 2012; Агалаков и др., 2017; Агалаков, Новоселова, 2019; и др.].

Петрофизические свойства кремневых отложений по керну и данным ГИС изучены в работах А. А. Дорошенко, Я. И. Гильманова, Я. О. Карымовой, И. О. Ошнякова, Д. Б. Родивилова [Дорошенко, Карымова, 2017; Карымова, 2017, 2018; Родивилова, 2018, 2020; Гильманов и др., 2019; Гильманов, 2021; Ошняков и др., 2019; Ошняков, 2021; и др.]. Авторами предложен новый методический подход к исследованию нетрадиционных коллекторов и определены их фильтрационно-емкостные свойства, получены петрофизические модели порового пространства для отдельных площадей исследования.

Биостратиграфию верхнего мела изучали В. А. Маринов, В. М. Подобина и другие исследователи [Подобина, 1989; Маринов, Хоментовский, 2004; Подобина, Ксенева, 2012; Маринов и др., 2018; и

др.]. Результаты их работы положены в основу реконструкций условий формирования осадков и взаимоотношения стратиграфических подразделений верхнего мела, выполненных С. Е. Агалаковым, А. И. Кудамановым, В. А. Мариновым и их соавторами [Агалаков, Брадучан, 2004; Агалаков и др., 2018; Кудаманов и др., 2021; Маринов и др., 2021; Маринов и др., 2021; и др.]. Авторами определена необходимость пересмотра региональных стратиграфических схем.

Объемы ресурсов газа, заключенных в отложениях нижней подсвиты березовской свиты, оценили О. В. Бакуев, В. В. Черепанов, С. Е. Агалаков [Бакуев, 2002; Черепанов и др., 2015; Агалаков, 2019]. В связи с низкой изученностью объекта исследования оценка выполнялась в пределах отдельных структур или в обобщенном виде — в целом по региону, методом аналогии.

В 2024 г. коллективом авторов (С. Е. Агалаков, М. А. Александров, Н. Н. Аржиловская, О. В. Бакуев, А. О. Гордеев, Я. И. Гильманов, Т. В. Глухов, Н. П. Девятка, Л. Р. Дистанова, С. А. Заночуев, А. А. Калабин, Т. М. Карих, Е. С. Климова, А. И. Кудаманов, О. В. Кудряшова, А. А. Кузовков, О. А. Лознюк, В. А. Маринов, Д. Г. Митрофанов, Н. В. Нассонова, М. Ю. Новоселова, С. В. Осипов, И. О. Ошняков, И. Г. Павлуткин, А. В. Соловьева) опубликована монография, в которой обобщены и систематизированы результаты всесторонних исследований кремневых отложений верхнего мела Западной Сибири [Березовская свита..., 2024].

Объектом исследования является пласт НБ₁ верхнего мела (поздний сантон) в пределах Надым-Пур-Тазовского региона, что в плане нефтегеологического районирования соответствует Надым-Пурской и части Пур-Тазовской нефтегазоносных областей, в системе административного деления — Ямало-Ненецкому автономному округу.

Площадь территории исследования — 185 600 км².

Цель исследования — выполнить вероятностную оценку ресурсов газа пласта НБ₁ верхнего мела в пределах Надым-Пур-Тазовского региона.

Для достижения поставленной цели необходимо решить **научную задачу**: разработать методику вероятностной оценки ресурсов объекта исследования.

Решение научной задачи включает следующие этапы:

1. Изучение закономерностей накопления, формирования и преобразования кремневых коллекторов верхнего мела Западной Сибири.

2. Анализ зависимостей свойств и параметров залежей пласта НБ₁ верхнего мела.

3. Прогноз подсчетных параметров на основе полученных трендов и оценка ошибки прогноза.

4. Обоснование диапазонов неопределенности подсчетных параметров и величин вероятности существования залежей.

5. Оценка локализованных ресурсов газа пласта НБ₁ верхнего мела Надым-Пур-Тазовского региона.

Фактический материал, использованный в работе:

1. Результаты интерпретации ГИС 700 скважин.

2. Региональная модель изучаемых отложений (карты кровли ОГ Г и ОГ С4, границы распространения отложений пласта НБ₁, которые получены в рамках региональной работы по данным 11 тыс. скважин и 270 тыс. пог. км профилей СРР 2D).

3. Подсчетные планы и параметры залежей на Государственном балансе запасов.

Научная новизна

1. Впервые для пласта НБ₁ Надым-Пур-Тазовского региона выполнен прогноз коэффициента газонасыщенности по зависимости от априорных свойств изучаемой геологической системы.

2. Впервые для ловушек пласта НБ₁ Надым-Пур-Тазовского региона определены вероятности существования залежи на основе критического значения параметра, контролирующего продуктивность резервуаров.

3. Впервые на основе полученных результатов для ловушек пласта НБ₁ Надым-Пур-Тазовского региона выполнена вероятностная оценка локализованных ресурсов газа.

Теоретическая и практическая значимость работы

Предложенный подход к оценке вероятности существования залежи на основе критических величин подсчетных параметров имеет значение для развития теории вероятностной оценки локализованных ресурсов.

Методика прогноза емкостных свойств применена при оценке ресурсов газа березовской свиты на территории лицензионных участков ПАО НК «Роснефть» в Западной Сибири.

Полученные в результате работы карты емкостных параметров применимы для оценки перспективности территории и выбора первоочередных направлений поисково-разведочных работ.

Методология и методы исследования

Основным методом решения научной задачи являлся комплексный анализ накопленных данных об объекте исследования: геологического строения, условий накопления, формирования и преобразования кремневых коллекторов, результатов интерпретации ГИС пласта НБ₁. Зависимости свойств и параметров залежей пласта НБ₁ установлены по результатам применения метода регрессионного анализа. Для построения карт прогноза параметров применен метод интерполяции — кригинг. В рамках этого подхода построены карты прогнозных значений параметра и карты стандартного отклонения. Полученные карты использовались для задания функций плотности вероятности в рамках вероятностного моделирования оценки ресурсов газа, выполненного методом Монте-Карло на основе объемной формулы подсчета запасов газа.

Положения, выносимые на защиту

1. Коэффициент газонасыщенности коллекторов пласта НБ₁ в Надым-Пур-Тазовском регионе закономерно возрастает с глубиной залегания отложений, что обусловлено увеличением степени преобразованности кремневого вещества.

2. Вероятность существования залежей в пределах положительных антиклинальных структур в интервале пласта НБ₁ в Надым-Пур-Тазовском регионе определяется вероятностью наличия эффективного резервуара.

3. Наиболее перспективными по соотношению вероятностных оценок локализованных ресурсов и вероятности существования залежи являются ловушки, приуроченные к северной части территории исследования.

Личный вклад автора

Геологическая модель и основные научные результаты получены в рамках работ по уточнению ресурсного потенциала березовской свиты Западной Сибири, выполненной в ООО «РН — Геология Исследования Разработка» (ПАО НК «Роснефть»). Автор разработал методику вероятностного моделирования оценки ресурсов газа в интервале березовской свиты, обосновал модели функций плотности вероятности параметров по результатам исследования керна. Также автор принимал участие в построении региональной геологической модели, межскважинной корреляции, оценке генерационного потенциала отложений березовской свиты.

В рамках диссертационного исследования автор уточнил результаты оценки ресурсов газа пласта НБ₁ в пределах Надым-Пур-Тазовского региона за счет привлечения новых данных и актуализации прогноза подсчетных параметров. Лично автором выполнен сбор и систематизация геолого-геофизической информации (геологических данных о строении и условиях залегания пласта НБ₁, РИГИС), проведен ее анализ: выявлены зависимости подсчетных параметров (общей толщины пласта, коэффициента содержания коллекторов, коэффициента пористости, коэффициента газонасыщенности) от априорных свойств геологической среды. По результатам анализа построены карты их прогноза.

Автором выполнено обобщение и критический анализ существующих методических подходов к оценке вероятностей существования залежей и оценке ресурсов вероятностными методами, применяемыми в геологоразведочных работах. На основании результатов анализа автором разработана методика оценки вероятности существования залежи, применимая к нетрадиционным кремневым отложениям объекта исследования.

Степень достоверности полученных результатов обеспечена:

1) использованием в качестве теоретической основы результатов исследований и научных обобщений по вероятностной оценке ресурсов и анализу вероятности существования залежи Н. М. Емельяновой, П. Дельфинера, Ф. Демирмена, Дж. Мурза, А. А. Полякова, В. И. Порокуна, П. Роуза, Д. Уайта, С. В. Шатрова и других авторов, а также ряда методических руководств по оценке ресурсов и анализу вероятности существования залежи [Мурза, 1995, 2001; Роуз, 2001; Дельфинер, 2003; Емельянова, Порокун, 2008, 2010, 2020; Поляков, Мурзин, 2012; Шатров, 2015; Поляков, 2016; и др];

2) использованием в качестве региональной геологической основы апробированных результатов С. Е. Агалакова, А. А. Дорошенко, Я. О. Карымовой, А. И. Кудаманова, В. А. Маринова, А. А. Нежданова, И. О. Ошнякова, Д. Б. Родивилова и других исследователей [Агалаков и др., 2001; Нежданов и др., 2012; Агалаков и др., 2017; Карымова, 2017; Дорошенко, Карымова, 2017; Кудаманов и др., 2018; Родивилов, 2018; Агалаков, Новоселова, 2019; Кудаманов и др., 2019; Ошняков и др., 2019; Маринов и др., 2021; и др.];

3) большим объемом использованных в исследовании фактических данных.

Апробация работы

Результаты научных исследований представлены на восьми конференциях: IX Всероссийском литологическом совещании (с международным участием) «Литология осадочных комплексов Евразии и шельфовых областей» (г. Казань, 2019), Научно-практической молодежной конференции «Росгеология. В поисках новых открытий» (г. Иркутск, 2019), Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Новые технологии — нефтегазовому региону» (г. Тюмень, 2020), Национальной научно-практической конференции (с международным участием) «Нефть и газ: технологии и инновации» (г. Тюмень, 2020 и 2021 гг.), конференции «EAGE Тюмень 2021. Управление недрами как кросс-функциональный процесс» (г. Тюмень, 2021), 76-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2022» (г. Москва, 2022), IX Международной молодежной научной конференции «Tatarstan UpExPro 2025» (г. Казань, 2025).

Основные результаты работ по теме диссертационного исследования изложены в восьми научных публикациях, из них три работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК («Нефтегазовая геология. Теория и практика», категория К₁; «Известия высших учебных заведений. Нефть и газ», категория К₂).

Результаты работы автора по теме диссертационного исследования также отражены в монографии «Березовская свита Западной Сибири — геология и газонасность» (Тюмень, 2024).

Структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Текст работы изложен на 151 странице, содержит 51 рисунок и 1 таблицу. В список литературы входит 150 наименований.

Благодарности

Диссертационная работа выполнена под руководством доктора геолого-минералогических наук Лебедева Михаила Валентиновича, которому автор благодарен за регулярные консультации и проявленный интерес к работе.

Автор выражает глубокую благодарность д-ру геол.-минерал. наук С. Е. Агалакову за помощь в первых шагах исследования березовской свиты и научное наставничество.

Автор также выражает благодарность своим коллегам и старшим товарищам из ООО «РН-ГИР»: д-ру геол.-минерал. наук

А. И. Кудаманову, канд. геол.-минерал. наук В. А. Маринову, М. Ю. Новоселовой, И. О. Ошнякову за редакцию научных трудов, помощь в проведении исследований и интерпретации их результатов.

Особо автор благодарит канд. геол.-минерал. наук Г. Л. Розбаеву за организационную, научную поддержку и мотивацию к труду на всем протяжении работы над диссертацией.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрыта актуальность темы исследования, обозначена цель и поставлена научная задача, сформулированы научная новизна и соответствующие защищаемые положения, отмечены личный вклад, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

Глава 1. Характеристика объекта геологического изучения

Территория исследования охватывает Надым-Пурскую и западную часть Пур-Тазовской нефтегазоносных областей Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Такой выбор обусловлен сосредоточением в этой части Западной Сибири ключевых газовых промыслов, приуроченных к месторождениям апт-альб-сеноманского газоносного комплекса.

Пласт НБ₁ приурочен к кровле нижней подсвиты березовской и нижней подсвиты часьельской свит. Пласт сложен практически чистыми кремневыми породами (опоками и порцелланитами), обладает высокой пористостью (до 40 %) и низкой проницаемостью (не более 0,1 мД в отдельных пропластках). Газоносность пласта подтверждена на ряде площадей, на государственном балансе числится залежь Харампурского месторождения.

Залежи газа в интервале пласта НБ₁ сформированы за счет миграции из нижележащих резервуаров апт-альб-сеноманского комплекса. Гипотеза о генерации газа рассеянным органическим веществом верхнего мела в достаточном для формирования значимых скоплений количестве по результатам пиролитических и палеотемпературных исследований не подтвердилась.

Формирование кремневых отложений пласта НБ₁ происходило в коньяк-кайнозойский этап тектонического развития: в это время установился мелководно-морской режим осадконакопления на выровненном рельефе, в условиях низкой тектонической активности с дефицитом терригенного сноса — благоприятные условия для био- и хемогенного осаждения силицитов.

В ходе литогенеза кремневые отложения преобразуются от аморфного опала до халцедона, что сопровождается уменьшением объема минерального скелета и увеличением размера поровых каналов. Эти процессы в первую очередь контролируются тектоникой региона, что позволяет прогнозировать свойства кремневых коллекторов по региональным данным.

Глава 2. Прогноз и картирование подсчетных параметров залежей пласта НБ₁ Надым-Пур-Тазовского региона

Силициты верхнего мела Западной Сибири малоизучены. Оценка подсчетных параметров залежей, приуроченных к кремневым коллекторам надсеномана, является сложной задачей, требующей применения специальных методов исследований. Этим вызвана необходимость разработки альтернативных методик прогноза свойств и параметров залежей.

В рамках настоящего исследования прогноз параметров разделен на два этапа:

1. Анализ трендов — выявление зависимостей между параметрами резервуаров пласта НБ₁ и априорными геологическими данными.

2. Построение карт прогноза параметров (построение карт трендов, построение карт невязок между фактическими данными в точках скважин и трендом, суммирование карты тренда и карты невязок).

Ключевым моментом прогноза является интерполяция невязок методом кригинга, что позволяет построить карту оценки стандартного отклонения невязок прогноза. Карта стандартного отклонения невязок в дальнейшем используется для задания функций плотности вероятности параметров.

Результаты изучения тектонического развития территории исследования, особенностей геологического строения и преобразования коллекторов пласта НБ₁ использованы для выявления зависимостей между подсчетными параметрами и региональными трендами. Анализ параметров, полученных по скважинным данным, и априорной геологической информации позволил выявить и обосновать следующие связи между:

1. Общей толщиной пласта НБ₁ ($H_{\text{общ}}$) и глубиной залегания кровли юрских отложений. Распределение общей толщины пласта контролируется тектоническим развитием исследуемой территории, определившим, во-первых, благоприятные условия для

накопления кремневых осадков, во-вторых, интенсивность размыва пласта НБ₁ в пределах положительных структур.

2. Коэффициентом содержания коллекторов ($K_{\text{ск}}$) и $H_{\text{общ}}$ пласта НБ₁. Связь обусловлена отсутствием литологической дифференциации коллекторов и неколлекторов, а также выдержанностью эффективных толщин в пределах территории исследования.

3. Коэффициентом пористости ($K_{\text{п}}$) и глубиной залегания кровли пласта НБ₁. В региональном масштабе уплотнение пород является наиболее значимым фактором, контролирующим объем порового пространства.

4. Коэффициентом объемной влажности ($K_{\text{во}}$) и глубиной залегания кровли пласта НБ₁. С увеличением глубины залегания кремневых отложений под действием температуры и давления возрастает преобразованность силицитов, как следствие, увеличивается размер пор и уменьшается доля пустотного пространства, занимаемая связанной водой.

Коэффициент газонасыщенности в интервале пласта НБ₁ имеет прямую связь с коэффициентом пористости, однако, в различных частях территории исследования зависимость описывается отдельными функциями (Рисунок 1). Это явление обусловлено влиянием на газонасыщенность структуры порового пространства: адсорбированная вода, смачивающая поверхность пустотного пространства, занимает значительный объем пор субкапиллярного размера. С увеличением размера пор уменьшается доля пустотного пространства, которое занимает связанная вода. Таким образом, при сопоставимой пористости размер поровых каналов контролирует эффективный объем, который может быть заполнен свободным газом. В случае газонасыщенного коллектора структура порового пространства определяет объем связанной воды в единице объема породы, что характеризуется коэффициентом объемной влажности ($K_{\text{во}}$) — параметром, имеющим хорошую связь с удельным электрическим сопротивлением и потому хорошо определяемым по ГИС. $K_{\text{г}}$ и $K_{\text{во}}$ связаны следующим образом:

$$K_{\text{г}} = 1 - \frac{K_{\text{во}}}{K_{\text{п}}}.$$

Из чего следует, что при известной величине $K_{\text{п}}$ задача прогноза $K_{\text{г}}$ сводится к прогнозу $K_{\text{во}}$.

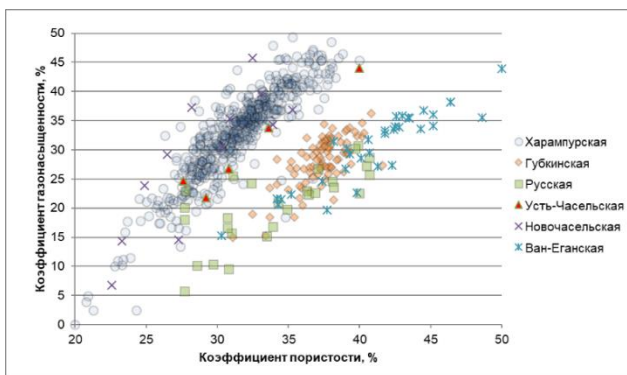


Рисунок 1 – Зависимость K_r от K_p пласта НБ₁ (по данным РИГИС)

В рамках прогноза $K_{во}$ в пределах территории исследования выполнен анализ зависимости $K_{во}$ (по данным РИГИС) от глубины кровли пласта НБ₁ (Рисунок 2). По зависимости, полученной в результате анализа, выполнен пересчет карты глубины кровли пласта НБ₁ в тренд $K_{во}$ (Рисунок 3, А). Также выполнен расчет невязок между трендом и фактическими значениями в точках скважин. Невязки, в соответствии с принятой методикой, интерполированы методом кригинга (см. Рисунок 3, Б), рассчитана карта оценки стандартного отклонения невязок прогноза $K_{во}$ (см. Рисунок 3, В). Итоговая карта прогноза $K_{во}$ (см. Рисунок 3, Г) получена суммированием карты тренда и карты невязок.

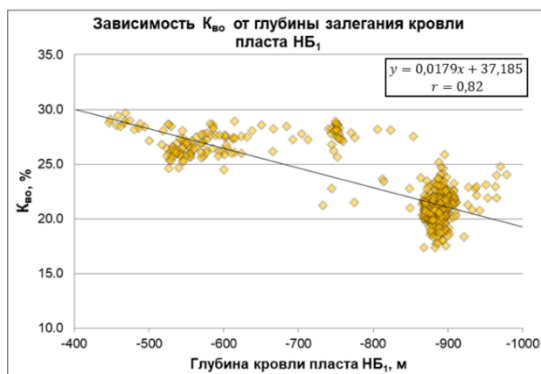


Рисунок 2 – Зависимость $K_{во}$ от глубины залегания кровли пласта НБ₁

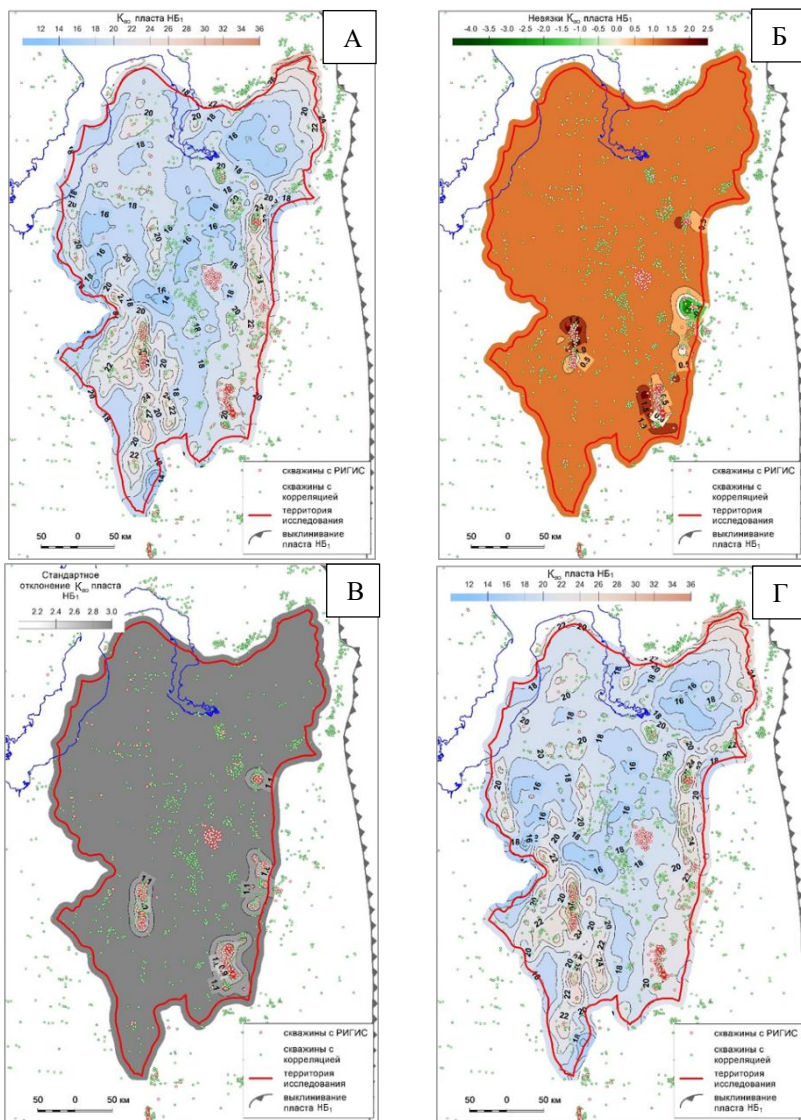


Рисунок 3 – Построение карты K_{vo} пласта NB_1
 А — карта трендовой поверхности K_{vo} ; Б — карта невязок K_{vo} ; В — карта ошибки интерполяции K_{vo} ; Г — результирующая карта K_{vo}

В результате выполненного прогноза сформулировано **первое защищаемое положение**: коэффициент газонасыщенности коллекторов пласта НБ₁ в Надым-Пур-Тазовском регионе закономерно увеличивается с глубиной залегания отложений, что обусловлено увеличением степени преобразованности кремневого вещества.

Аналогичным образом, в соответствии с принятой методикой, выполнены прогноз и картопостроение Н_{общ}, К_{ск} и К_п. Полученные результаты использованы для обоснования неопределенности подсчетных параметров поисковых объектов в интервале пласта НБ₁ в пределах Надым-Пур-Тазовского региона.

Глава 3. Методика вероятностной оценки локализованных ресурсов газа пласта НБ₁

Для решения задачи оценки локализованных ресурсов газа пласта НБ₁ в Надым-Пур-Тазовском регионе выделен ряд подсчетных объектов. Объекты антиклинального типа закартированы по кровле пласта НБ₁, приурочены к унаследованным положительным структурам, хорошо изученным бурением, с доказанной продуктивностью в нижележащем интервале апт-альб-сеноманского газоносного комплекса. Такой подход к выделению объектов обусловлен формированием газовых скоплений в интервале пласта НБ₁ в результате миграции.

Вероятностное моделирование локализованных ресурсов газа пласта НБ₁ выполнено простым методом Монте-Карло. В качестве базовой модели использована формула объемного метода оценки ресурсов (с дополнениями автора):

$$Q_{\Gamma} = V_3 \times K_{\Pi} \times K_{\Gamma} \times P_{\text{пл}} \times \alpha \times f$$

где Q_{Γ} — начальные геологические ресурсы газа, млн м³; V_3 — объем залежи, тыс. м³; K_{Π} — коэффициент пористости; K_{Γ} — коэффициент газонасыщенности; $P_{\text{пл}}$ — пластовое давление в залежи, атм; α — поправка на отклонение от закона идеального газа; f — поправка на температуру.

Моделирование газонасыщенного объема залежи выполнено по трем параметрам: коэффициенту заполнения ($K_{\text{зап}}$), общей толщине пласта и площади ловушки. В рамках исследования выполнен анализ зависимости отношения объема залежи (V_3) к объему ловушки ($V_{\text{л}}$) от $K_{\text{зап}}$ для подсчетных объектов (Рисунок 4). В результате анализа получена система из трех зависимостей (минимальная, аппроксимирующая и максимальная), описывающих поведение $V_3/V_{\text{л}}$ в зависимости от изменения $K_{\text{зап}}$ при стохастическом моделировании.

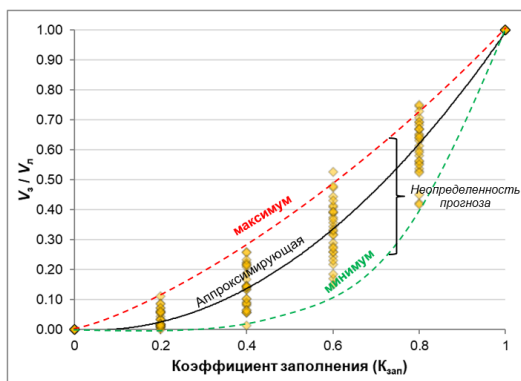


Рисунок 4 – Зависимость отношения объема залежи к объему ловушки от коэффициента заполнения структуры

Моделирование $K_{зап}$ выполнено по данным заполнения аналогов — залежей пластов покурской свиты, поскольку в самом объекте относительно достоверно изучена только одна залежь. Выбор в качестве аналога покурских залежей обусловлен:

- 1) аналогичностью свойств кузнецовской и верхнеберезовской покрышек;
- 2) сопоставимостью фактических $K_{зап}$ для залежей пластов НБ₁ и ПК₁ Харампурского месторождения (0,78 и 0,83 соответственно).

Моделирование $H_{общ}$ (для расчета V_d), K_p , $K_{ск}$ и $K_{во}$ выполнено на основе функций плотности вероятности, построенным по данным прогноза. Вид моделей функций принят как нормальный. Среднее в пределах подсчетного объекта прогнозное значение параметра использовано в качестве математического ожидания. В качестве стандартного отклонения функций принято среднее в пределах подсчетного объекта стандартное отклонение невязок прогноза.

Расчет пластового давления и температуры в ходе стохастического моделирования выполнен динамически на текущую глубину условного подсчетного уровня (в зависимости от $K_{зап}$). Давление рассчитано как гидростатическое, с учетом коэффициента аномальности: использовано фактическое распределение (получено по результатам анализа испытаний), с коэффициентом аномальности от 0,87 до 1,18 с наиболее вероятным значением 1,1. Расчет пластовой

температуры выполнен по термическому градиенту: для Западной Сибири он составляет 3,3 °C на 100 м.

Поправка на сверхсжимаемость принята по аналогу — залежи пласта НБ₁ Харампурского месторождения.

Вероятность существования залежи рассчитана как вероятность совместного наступления независимых событий:

$$Pg = P1 \times P2 \times P3 \times P4,$$

где $P1$ — вероятность существования резервуара; $P2$ — вероятность существования ловушки, $P3$ — вероятность заполнения ловушки, $P4$ — вероятность сохранности залежи после формирования.

В условиях дефицита геолого-геофизической информации оценка вероятности существования залежей может быть выполнена на основе опыта геолога. Недостаток такого подхода — субъективность результата оценки Pg . Альтернативной методикой является использование существующего опыта открытий, обобщенного в виде матрицы вероятностей. Матрицы предлагают стандартизированный подход, что является их главным недостатком: основанные на результатах опробования наиболее распространенных традиционных терригенных залежей, матрицы неприменимы к нетрадиционным геологическим системам, в том числе к кремневым резервуарам пласта НБ₁.

Разработанный автором метод оценки вероятности существования залежи предполагает рассматривать вероятности существования отдельных факторов $P1$ – $P4$ как части неопределенности подсчетных параметров этих залежей. Суть метода основана на следующих принципах:

1. Подсчетные параметры описываются посредством функции плотности вероятности.

2. По результатам изучения геологических свойств отложений выполняется оценка критической величины параметра — такого значения, ниже которого существование залежи не подтверждается.

3. Если в конкретной реализации вероятностного моделирования ресурсной оценки залежи все параметры принимают значения не меньше критических, то реализация объявляется успешной.

4. Если в конкретной реализации вероятностного моделирования ресурсной оценки хотя бы один из параметров принимает значение меньше критического, то реализация объявляется неуспешной, а оценка ресурсов обнуляется.

Таким образом, применение метода позволяет связать неопределенность прогноза подсчетных параметров и вероятность существования залежи.

В соответствии с методикой, для оценки P_g в интервале пласта НБ₁ выполнена оценка факторов $P1$ – $P4$.

Фактор $P1$. Поскольку пустотное пространство коллекторов пласта НБ₁ представлено поровыми каналами субкапиллярного размера, значительная его часть заполнена связанной водой. При сопоставимой для коллекторов и неколлекторов пористости, определяющее значение для эффективности коллектора имеет структура пустотного пространства: с увеличением размера поровых каналов увеличивается его способность фильтровать и аккумулировать свободный газ. Таким образом, фактор $P1$ определен как вероятность существования эффективного резервуара в интервале пласта НБ₁.

Фактор $P2$. Вероятность наличия ловушки определяется вероятностью существования флюидоупора и вероятностью наличия замкнутого контура.

Резервуар нижней подсвиты березовской свиты перекрыт мощными глинами верхней подсвиты березовской свиты. Эти глины имеют региональное распространение, выдержаны по толщине и хорошо изучены бурением, что позволяет принять допущение, что существование флюидоупора доказано.

Подсчетные объекты в интервале пласта выделены в пределах хорошо изученных бурением унаследованных антиклинальных структур, что позволяет также принять существование замкнутого контура как доказанное.

Фактор $P3$. Вероятность заполнения ловушки определяется вероятностью существования источника газа и путей его миграции. Источником газа являются залежи апт-альб-сеноманского комплекса, открытые ниже по разрезу; путь миграции вертикальный, за счет диффузии газа через крышку. Эти факты позволяют сделать вывод о том, что для подсчетных объектов, рассматриваемых в рамках работы, вероятность заполнения ловушки является доказанной.

Фактор $P4$. Разрушение залежей в пласте НБ₁ в пределах территории исследования могло произойти вследствие дизъюнктивных тектонических нарушений. Возникновение разломов, приводящих к разрушению залежей в интервале исследования, привело бы и к разрушению нижележащих залежей апт-альб-сеноманского комплекса — таким образом, продуктивность нижележащего интервала

доказывает сохранность залежей выше по разрезу, в интервале резервуаров пласта НБ₁.

Поскольку с увеличением размера поровых каналов увеличивается способность коллектора фильтровать и аккумулировать газ, для газонасыщенного коллектора фактор вероятности существования эффективного резервуара в интервале пласта НБ₁ связан с величиной коэффициента газонасыщенности: отношением доли порового пространства, заполненного газом, к общему объему пор.

В рамках исследования выполнен анализ результатов испытаний интервала пласта НБ₁. На текущей стадии изученности выявлено наличие качественной связи между коэффициентом газонасыщенности и продуктивностью (Рисунок 5). Установлено, что при $K_r < 0,32$ (в интервале испытания) притоков не было получено. На этом основании величина $K_r = 0,32$ принята как критическая ($K_r^{крит}$) для существования эффективного резервуара. Из этого следует, что вероятность существования эффективного резервуара соответствует вероятности того, что в пределах залежи существует интервал пласта НБ₁ с $K_r > K_r^{крит}$. Для оценки этой вероятности введен коэффициент — доля эффективного коллектора (ДЭК), характеризующий отношение суммарной толщины эффективных интервалов к общей толщине пласта. В этом случае вероятность существования эффективного резервуара в пределах залежи интерпретируется как вероятность наличия ненулевого ДЭК.

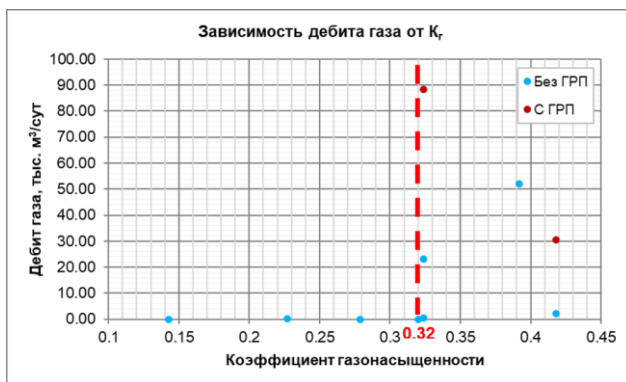


Рисунок 5 — Анализ результатов испытаний кремневых коллекторов нижней подсвиты березовской свиты в пределах территории исследования

С целью прогноза ДЭК выполнен анализ РИГИС, в результате которого выявлена прямая линейная зависимость ДЭК от средневзвешенного в точке скважины $\bar{K}_r$ (Рисунок 6). В соответствии с принятой методикой построены карта прогноза ДЭК и карта стандартного отклонения невязок прогноза ДЭК.

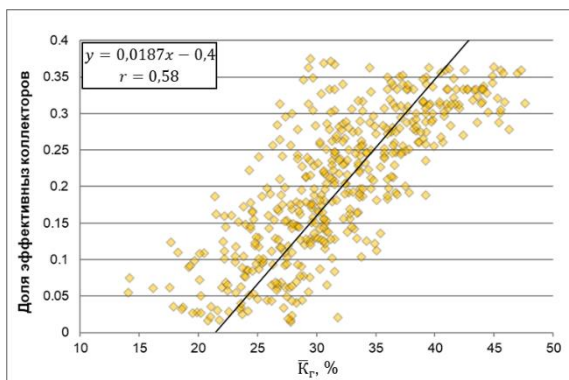


Рисунок 6 – Диаграмма зависимости ДЭК от средневзвешенного K_r по точкам скважин

На основе результатов прогноза построены модели функций плотности распределения ДЭК в пределах подсчетных объектов. Функции плотности распределения ДЭК определяют P_g при вероятностном моделировании оценки ресурсов газа:

- если в конкретной реализации ДЭК принимает положительное значение, то реализация считается успешной (эффективный коллектор существует);
- если в конкретной реализации ДЭК принимает значение меньше 0, то реализация считается неуспешной, а оценка ресурсов обнуляется (эффективный коллектор не существует).

Основным научным результатом этой части работы является обоснование критического фактора контроля газоносности объекта. Он сформулирован как **второе защищаемое положение**: вероятность существования залежей в пределах положительных антиклинальных структур в интервале пласта НБ₁ в Надым-Пур-Тазовском регионе определяется вероятностью наличия эффективного резервуара.

Глава 4. Результаты вероятностной оценки локализованных ресурсов газа пласта НБ₁

Расчет ресурсной оценки выполнен по разработанной автором методике. Вероятность существования залежей для объектов рассчитана как отношение количества успешных итераций к общему их количеству.

В результате вероятностной оценки локализованных ресурсов пласта НБ₁ в Надым-Пур-Тазовском регионе получены следующие суммарные величины геологических ресурсов газа:

- Пессимистичная оценка (P90) — 1,173 трлн м³;
- Наиболее вероятная оценка (P50) — 1,715 трлн м³;
- Оптимистичная оценка (P10) — 2,373 трлн м³.

Выполнено ранжирование залежей с целью сопоставления перспектив различных по величине ресурсов и P_г скоплений газа пласта НБ₁ и выявления первоочередных объектов для дальнейших геологоразведочных работ.

В соответствии с результатам ранжирования (Рисунок 7), в северной части Надым-Пур-Тазовского региона сосредоточены крупные объекты в интервале пласта НБ₁ со значительными (суммарно до 1 трлн м³) ресурсами газа. Умеренные перспективы территории исследования связаны с рядом антиклинальных объектов в юго-западной зоне с ресурсами от 80 до 150 млрд м³. Наименьшие перспективы связаны с объектами в восточной и северо-восточной части территории — вплоть до 5 млрд м³ в отдельных объектах.

Ранжирование дополнено анализом очередности опоискования, в рамках которого построена диаграмма «вероятность – ресурсы» (Рисунок 8). Диаграмма «вероятность – ресурсы» разделена на 4 сектора: по оси абсцисс поле разделено медианным значением вероятности существования залежей, по оси ординат поле разделено медианным значением ресурсной оценки. Это позволяет разделить подсчетные объекты на 3 категории:

1. Первоочередные объекты (выделены зеленым) — вероятность существования и оценка ресурсов объектов выше медианных значений. Объекты преимущественно сосредоточены на севере территории исследования.

2. Объекты с умеренными перспективами (выделены желтым) — вероятность существования залежи или оценка ресурсов объектов выше медианных значений. Объекты преимущественно сосредоточены на юге территории исследования.

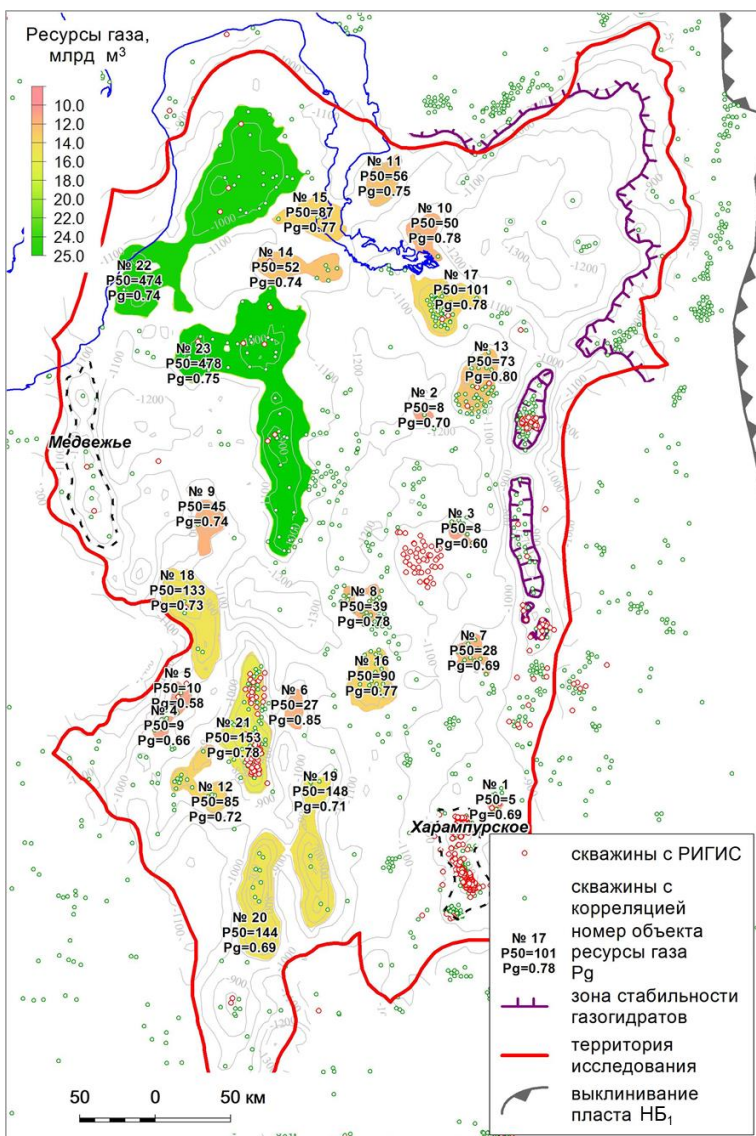


Рисунок 7 – Итоговое ранжирование объектов пласта НБ₁ по величине ресурсов

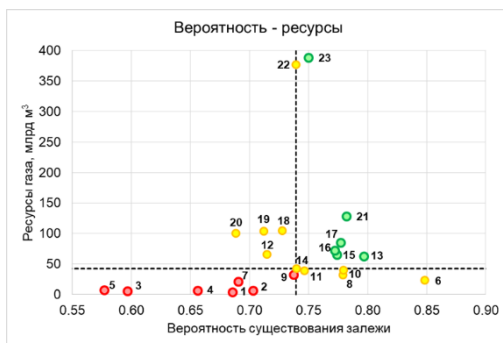


Рисунок 8 – Диаграмма «вероятность – ресурсы» для объектов в интервале пласта НБ₁

3. Наименее перспективные объекты (выделены красным) — вероятность существования залежи и оценка ресурсов объектов ниже медианных значений. Объекты преимущественно приурочены к восточной части территории исследования.

По результатам сформулировано **третье защищаемое положение**: наиболее перспективными по соотношению вероятностных оценок локализованных ресурсов и вероятности существования залежи являются ловушки, приуроченные к северной части территории исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате научного исследования впервые выполнена оценка локализованных ресурсов газа пласта НБ₁ верхнего мела в пределах Надым-Пур-Тазовского региона вероятностным методом.

В первом разделе работы проанализированы геологическое строение и газоносность пласта НБ₁ в пределах территории исследования, история тектонического развития региона, особенности седиментации и преобразования кремневого вещества. Полученные данные послужили теоретической основой для научного исследования.

Во втором разделе приведены результаты прогноза и картирования подсчетных параметров пласта НБ₁. Выполнен прогноз общей толщины, коэффициента содержания коллекторов, коэффициента пористости и коэффициента объемной влажности по априорным данным (с использованием РИГИС скважин), построены карты параметров и карты оценки стандартного отклонения невязок

прогноза. По результатам прогноза сформулировано первое защищаемое положение: коэффициент газонасыщенности коллекторов пласта НБ₁ в Надым-Пур-Тазовском регионе закономерно увеличивается с глубиной залегания отложений, что обусловлено увеличением степени преобразованности кремневого вещества.

В третьем разделе приведена авторская методика оценки локализованных ресурсов пласта НБ₁ в Надым-Пур-Тазовском регионе. В ее основе лежит стохастическое моделирование простым методом Монте-Карло. В качестве базовой модели величины ресурсов использована формула объемного метода подсчета запасов газа с дополнениями автора. Моделирование заполнения залежей и обоснование подсчетных параметров выполнено по результатам прогноза с использованием данных о строении и закономерностях изменения геологических свойств объекта исследования.

Проведен анализ существующих методик вероятностной оценки локализованных ресурсов с учетом вероятностей существования залежей. Показано, что существующие шаблоны вероятности геологических факторов контроля нефтегазоносности слабо применимы к такому нетрадиционному объекту как кремневые отложения верхнего мела Западной Сибири.

Автором разработан новый подход, в рамках которого вероятности отдельных факторов вероятности существования залежи рассматриваются как части неопределенности подсчетных параметров. В результате анализа факторов, контролирующих вероятность существования залежей в интервале пласта НБ₁, сформулировано второе защищаемое положение: вероятность существования залежей в пределах положительных антиклинальных структур в интервале пласта НБ₁ в Надым-Пур-Тазовском регионе определяется вероятностью наличия эффективного резервуара.

В четвертом разделе приведены результаты оценки локализованных ресурсов пласта НБ₁ в Надым-Пур-Тазовском регионе и ранжирование поисковых объектов по критерию их перспективности. Получены следующие величины суммарных геологических ресурсов газа:

- пессимистичная оценка (P90) — 1,173 трлн м³;
- наиболее вероятная оценка (P50) — 1,715 трлн м³;
- оптимистичная оценка (P10) — 2,373 трлн м³.

В соответствии с результатами ранжирования, в северной части Надым-Пур-Тазовского региона сосредоточены крупные объекты в

интервале пласта НБ₁ со значительными (суммарно до 1 трлн м³) ресурсами газа. Умеренные перспективы территории исследования связаны с антиклинальными объектами в юго-западной зоне с ресурсами от 80 до 150 млрд м³. Наименьшие перспективы связаны с объектами в восточной и северо-восточной части территории. Анализ результатов ранжирования позволил сформулировать третье защищаемое положение: наиболее перспективными по соотношению вероятностных оценок локализованных ресурсов и вероятности существования залежи являются ловушки, приуроченные к северной части территории исследования.

Значительный ресурсный потенциал пласта НБ₁ прогнозируется в областях, удаленных от скважин, в которых получен достаточный для достоверного прогноза объем информации — за счет проведения расширенного комплекса ГИС и отбора керна.

Перспективы дальнейших исследований по теме связаны с уточнением достоверности прогноза перспектив газонасыщенности за счет новых данных бурения скважин со специальным комплексом ГИС, особенно в малоизученных областях территории исследования. Не менее перспективным направлением является применение разработанной автором методики оценки ресурсов газа к залежам пластов НБ₂, НБ₃ и НБ₄ нижней подсвиты березовской свиты, обладающих схожим кремнисто-глинистым литологическим составом и доказанной газонасыщенностью в пределах Надым-Пур-Тазовского региона.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Глухов, Т. В. Оценка вероятности существования залежи в интервале пласта НБ₁ верхнего мела Надым-Пур-Тазовского региона / Т. В. Глухов, М. В. Лебедев // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2025. – Т. 20, № 4. – 14 с.
2. Глухов, Т. В. Прогноз коэффициента газонасыщенности в отложениях пласта НБ₁ верхнего мела в пределах Надым-Пур-Тазовского региона Западной Сибири / Т. В. Глухов // Известия вузов. Нефть и газ. – 2024. – № 3 (165). – С. 11–23.
3. Маринов, В. А. Строение комплекса верхнемеловых отложений Западной Сибири / В. А. Маринов, С. Е. Агалаков, Т. В. Глухов и др. // Известия вузов. Нефть и газ. – 2021. – № 5. – С. 51–68.

Публикации в прочих научных изданиях:

1. Глухов, Т. В. Новый подход к оценке рисков и неопределенностей параметров резервуаров в геологоразведочном процессе / Т. В. Глухов // Экспозиция Нефть Газ. – 2022. – № 6. – С. 34–38.

2. **Глухов, Т. В.** Оценка генерационного потенциала отложений кузнецовской и березовской свит Западной Сибири / Т. В. Глухов, Т. А. Рязанова, М. Ю. Новоселова, С. Е. Агалаков // Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Новые технологии – нефтегазовому региону». – Тюмень: ТИУ. – 2020. – С. 20–22.
3. **Маринов, В. А.** Региональные и местные подразделения верхнего мела центральных и северных районов Западной Сибири / В. А. Маринов, С. Е. Агалаков, **Т. В. Глухов** и др. // Бюллетень Московского общества испытателей природы (МОИП). Отдел геологический. – 2021. – Т. 96. – Вып. 3. – С. 12–39.
4. **Глухов, Т. В.** Прогноз емкостных свойств пород нижнеберезовской подсвиты Западной Сибири по априорным геологическим данным / Т. В. Глухов // Тезисы докладов 76-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2022» 25–29 апреля 2022 г. – М.: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2022. – Т. 1. – С. 14–15.
5. **Glukhov T. V., Kudamanov A. I., Novoselova M. J.** Origin of siliceous sediments in the lower part of Verkhneberozovskaya Suite // EAGE Conference Proceedings, Tyumen 2021. – EAGE, 2021. – DOI: 10.3997/2214-4609.202150074.

Монография (коллектив авторов):

1. Березовская свита Западной Сибири – геология и газонасность: монография / С. Е. Агалаков, М. А. Александров, Н. Н. Аржиловская, О. В. Бакуев, А. О. Гордеев, Я. И. Гильманов, **Т. В. Глухов**, Н. П. Девятка, Л. Р. Дистанова, С. А. Заночуев, А. А. Калабин, Т. М. Карих, Е. С. Климова, А. И. Кудаманов, О. В. Кудряшова, А. А. Кузовков, О. А. Лознюк, В. А. Маринов, Д. Г. Митрофанов, Н. В. Нассонова, М. Ю. Новоселова, С. В. Осипов, И. О. Ошняков, И. Г. Павлуткин, А. В. Соловьева. – Тюмень: ИПЦ «Экспресс», 2024. – 380 с.

Патенты:

1. Патент № 2844918 Российская Федерация, МПК G01V 99/00 (2009.01). Способ картирования и фациального районирования осадочных толщ: № 2024133728: заявлено 24.12.2024: опубликовано 11.08.2025 / В. А. Маринов, С. Е. Агалаков, **Т. В. Глухов**, Д. Н. Жестков, А. И. Кудаманов, М. Ю. Новоселова. – 14 с.: 6 ил.

Технический редактор Т. С. Курганова

Подписано в печать 16.06.2026

Формат 60x84/16. Бумага офсет №1. Гарнитура Таймс

Усл. печ.л. 1,5. Тираж 120. Зак. № Э-04686

ООО «ИПЦ «Экспресс», г. Тюмень, ул. Минская, 3г, корп. 3