

На правах рукописи

ГАРСИЯ БАЛЬСА Аура Самид

**КРИТЕРИИ ПРОГНОЗА ЗАЛЕЖЕЙ
«НЕСТРУКТУРНОГО» ТИПА В
ДОЛОМИТИЗИРОВАННЫХ ОРГАНОГЕННЫХ
ИЗВЕСТНЯКАХ КРОВЛИ ПАЛЕОЗОЙСКОГО
ФУНДАМЕНТА НЮРОЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ НА
ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ОСТАНИНСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

25.00.12 — Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых
месторождений

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель:

Белозеров Владимир Борисович доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией геологии ЦППСНД Инженерной школы природных ресурсов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.

Официальные оппоненты:

Лебедев Михаил Валентинович доктор геолого-минералогических наук, Общество с ограниченной ответственностью «Тюменский нефтяной научный центр», ПАО «НК-Роснефть», эксперт Управления геологоразведочных работ – Западная Сибирь, г. Тюмень.

Ершов Сергей Викторович кандидат геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, заведующий лабораторией геологии нефти и газа арктических регионов Сибири, г. Новосибирск.

Ведущая организация:

Акционерное общество «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья» (АО «СНИИГГиМС»), 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 67).

Защита состоится 26 июля 2022 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 003.068.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), в конференц-зале.

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 (8-383) 330-28-07,

e-mail: KostyrevaEA@ipgg.sbras.ru

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

<http://www.ipgg.sbras.ru/ru/education/theses/d003-068-02/garciabalza2022>

Автореферат разослан 23 июня 2022 г.

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

Е.А. Костырева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Существующие темпы развития нефтегазового комплекса свидетельствуют о том, что Западная Сибирь будет оставаться основным районом нефтедобычи в России на перспективу [Распоряжение..., 2003, ICЕХ, 2010]. В настоящее время нефтяные месторождения Западной Сибири вступили в третью и четвёртую стадии разработки. Для сохранения Россией своего экономического потенциала, следует вложить необходимые инвестиции в области поиска и разведки нефти в Западной Сибири. В ближайшем будущем это станет возможным благодаря освоению залежей нефти не только в отложениях платформенного чехла, но и в образованиях фундамента и ловушках неантиклинального типа. По этой причине дальнейшее наращивание геологоразведочных работ в палеозойском комплексе Западной Сибири – объективная необходимость.

Степень разработанности темы. Изучение геологического строения и оценка перспектив нефтегазоносности доюрских комплексов ЗСП привлекали к себе внимание исследователей на протяжении более 50 лет: Н.Н. Ростовцев и др., 1959; В.А. Дедеев и др., 1962; А.А. Трофимук и др., 1972; В.С. Сурков и О.Г. Жеро, 1981; А.А. Степанов и др., 1985; А.Э. Конторович, 1991; В.И. Краснов и др.1993; В.Н. Дубатолов и др., 1993; В.А. Конторович и др., 2001; К.А. Клещев и В.С. Шеин, 2004; Исаев Г.Д., 2010; А.В. Ежова, 2012; Иванов К.С. и др., 2012; В.А. Конторович и др., 2015; В.Л. Шустер и др., 2016 и ряд других ученых.

Обоснованием перспектив нефтегазоносности палеозоя Западной Сибири занимались научные коллективы ЗапСибНИГНИ, Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Научно-исследовательского центра «СИБГЕОНАФТ», Томского политехнического университета «ТПУ», «СНИИГГиМСа», Института геологии и геохимии УрОРАН, «ТомскНИПИнефть», «ВНИГНИ» «ВНИГРИ», «ЗапСибНИИГГ», «СибНАЦ» и целый ряд других организаций.

Изучению геологического строения и оценке перспектив нефтегазоносности палеозойских отложений Северо-Останинского месторождения посвящены работы А.Е. Ковешникова, А.В. Ежовой (1983); Ж.О. Бадмаевой, В.Л. Бененсон, В.С. Вышемирского и др. (1984); Г.И. Тищенко и др. (1985, 1988); Р.В. Белова, Н.И. Карапузова, В.А. Кондрашова, В.П. Мельникова (1990); А.Э. Конторовича и др. (1991, 1995); Е.В. Беловой и С.В. Рыжковой (2000); А.В. Ежовой (2012); А.В. Лобусева, П.Н. Страхова, М.А. Лобусева и др. (2013); А.В. Ежовой и др. (2015) и ряда других учёных.

Объектом исследования являются карбонатные отложения кровельной части доюрского фундамента Северо-Останинской площади, в пределах которой выявлена залежь нефти с газовой «шапкой». Открытая залежь не связана с антиклинальным поисковым объектом и контролируется литологической неоднородностью пород в пределах отдельных тектонических блоков фундамента.

Цель исследования – разработать критерии поиска залежей углеводородов «неструктурного» типа в верхней части палеозойского комплекса Нюрольской впадины на основе:

- петрографического анализа пород;
- спектроскопии комбинационного рассеяния, микрокриотермометрии и люминесцентной микроскопии продуктивных отложений;
- анализа морфологии и значений амплитуды отражающего горизонта Φ_2 ;
- опубликованных результатов анализа магнитной съёмки в пределах Северо-Останинской площади (по материалам Меркулова В.П.).

Научная задача – определить условия формирования резервуара, контролирующего залежь УВ «неструктурного» типа в верхней части доюрского комплекса Северо-Останинского месторождения, как научную основу для разработки поисковых критериев.

Решение поставленной научной задачи включало следующие этапы:

1. Сбор и анализ опубликованной и фондовой литературы по геологическому строению, тектонической эволюции и нефтегазоносности исследуемого района, обоснование преобладающего типа коллектора, контролирующего залежь углеводородов;
2. Выполнение макро- и микроскопического изучения отложений палеозоя, выявление основных факторов, влияющих на формирование фильтрационно-емкостных характеристик карбонатных резервуаров Северо-Останинского месторождения;
3. Картирование блоковой и литологической неоднородности эрозионной поверхности доюрского комплекса Северо-Останинской площади, локализацию зон развития органогенных известняков;
4. Систематизация полученной геолого-геофизической информации по объекту исследования и на её основе обоснование критериев прогноза залежей «неструктурного» типа в кровле палеозойского комплекса Нюрольской впадины.

Научная новизна – впервые представлены результаты исследования газово-жидких включений из доломитов и кальцитовых жил нефтеносных пород палеозоя и выявлены характерные условия формирования

продуктивного коллектора Северо-Останинского месторождения. На основе обобщения всех имеющихся геологических и геофизических материалов предложена новая концепция доломитизации карбонатных отложений палеозоя Северо-Останинского месторождения и показана связь процессов доломитизации с различными этапами геологического развития региона.

Личный вклад – автором проанализированы геолого-геофизические данные по скважинам, вскрывшим карбонатные отложения палеозойского возраста Северо-Останинской площади. Лично выполнены следующие работы: макро- и микроскопическое описание пород; КР-спектроскопия; микрокриотермометрический анализ; проведена интерпретация результатов изотопного анализа, рентгенофлуоресцентного анализа и электронно-микроскопического изучения. Сопоставлены имеющиеся в пределах рассматриваемой территории опубликованные материалы по магнитометрии и сейсморазведке с построением автором геологической модели продуктивного резервуара. По пространственному распределению магнитной аномалии в пределах зоны сейсмогеологического прогноза коллектора на Северо-Останинской площади подтверждён один нефтегазоносный и выделен один нефтеперспективный объекты.

Теоретическое и практическое значение – Теоретическое значение работы заключается в определении генезиса и критериев прогноза зон развития доломитизированных органогенных известняков в кровельной части палеозойского фундамента Нюрольской впадины по комплексу геологических и геофизических данных. Практическое значение состоит в выделении участков возможной локализации скоплений углеводородов в ловушках «неструктурного» типа в кровельной части палеозойского фундамента, которые могут стать новыми поисковыми объектами.

Научные методы исследования и фактический материал – в основу работы был положен материал, предоставленный сотрудниками лаборатории геологии Центра подготовки и переподготовки специалистов нефтегазового дела Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета (ЦППСНД ИШПР ТПУ) и А.В. Ежовой из личной коллекции. Использовались фондовые и опубликованные материалы по поисковым и разведочным скважинам, структурная и атрибутивная карты по отражающему сейсмическому горизонту Φ_2 , составленные специалистами ИНГТ СО РАН, данные литологического описания пород фундамента и результаты интерпретации магнитной съемки в пределах Северо-Останинской площади [Ежова и др., 2015]. Лабораторно-аналитические работы выполнялись на 72 образцах керна скважин 3Э, 5Э,

5Р и 7Р. Весь объем аналитических исследований проведён на базе лабораторий Томского политехнического университета.

Минералого-петрографические исследования карбонатных пород проводились следующими методами: оптическая микроскопия с высокой разрешающей способностью (Olympus® BX53F, 80 шлифов), электронная микроскопия (TESCAN VEGA 3 SBU OXFORD X-Max 50, 60 спектров), КР-спектроскопия (Thermo Fisher Scientific DXR2, 118 спектров), микрокриотермометрия флюидных включений (AXIO SCOPE A1 с термокамерой LINCAM MDSG-600, измерения температур от –180° до 600 °С, 27 включений), рентгенофлуоресцентная микроскопия (HORIBA XGT-7200, 43 спектра).

Изотопный анализ 4-х карбонатных пород выполнен в Томском филиале Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья (ТФ АО СНИИГГиМС) на масс-спектрометре DELTA V Advantaged.

Основные защищаемые положения:

1. Все известные ловушки углеводородов в кровельной части палеозойского комплекса Нюрольской впадины подразделяются на следующие два структурно-генетических типа: ловушки, связанные с эрозионно-тектоническими выступами фундамента, и ловушки «неструктурного» типа, приуроченные к эрозионным ложбинам на предъюрской эрозионной поверхности. Залежь, связанная с ловушкой второго типа, открыта только на Северо-Останинском месторождении.

2. Основным фактором, определившим формирование коллектора в ловушке «неструктурного» типа в кровле палеозойского комплекса Северо-Останинского месторождения, является вторичная доломитизация органогенных известняков, обусловленная совместным воздействием на породы гидротермальных и метеорных вод. Основным источником поступления магния, участвующего в процессах доломитизации, являлись метеорные воды, дренирующие коры выветривания основных эффузивов.

3. Определение генезиса резервуара, контролирующего залежь «неструктурного» типа в верхней части палеозойского комплекса Северо-Останинского месторождения, позволило сформулировать следующие поисковые критерии таких объектов: литолого-стратиграфический, палеогеоморфологический, магнитометрический. Наиболее перспективными являются участки, маркированные магнитными аномалиями в пределах эрозионных ложбин, в зонах обнажения органогенных карбонатов на эрозионной поверхности палеозойского комплекса.

Степень достоверности результатов работы

Достоверность комплекса проведённых исследований, связанных с выяснением механизма формирования вторичной доломитизации известняков за счёт низкотемпературного метасоматоза, обоснована интерпретацией результатов геолого-геофизической информации опубликованных материалов и подтверждается аналитическими исследованиями по термодатотермометрии в 15 дуполированных пластинах карбонатных пород Северо-Останинской площади.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

По направленности решаемых задач область диссертационного исследования соответствует паспорту специальности 25.00.12 – «геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений», а именно пункту «методология прогнозирования, оценки ресурсов и подсчет запасов нефти и газа» и «современные методы поисков и разведки месторождений».

Публикации и апробация работы.

Основные результаты и выводы диссертации опубликованы в 3-х научных работах в журнале «Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов», включенном в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации.

Результаты исследований и основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 4 конференциях: XXI, XXIII Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2017, 2019 г.г.), II Международная научно-практическая конференция «Geonature 2018» (г. Тюмень, 2018), 81st EAGE Conference and Exhibition 2019 (London, United Kingdom, 2019).

Структура работы – диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав и заключения. Общий объём работы 164 страницы, включая 33 рисунка, 7 таблиц. Список литературы включает 142 источника.

Во введении обсуждается актуальность работы, изученность объекта исследований, цели и задачи, научная новизна, научная и практическая значимость диссертации. Выполнен литературный обзор проблемы прогнозирования коллекторов рассматриваемого района.

В Главе 1 приведены сведения о геолого-геофизической и структурно-тектонической изученности отложений палеозойского фундамента Северо-Останинской площади, что вместе с результатами собственных исследований автора позволяет существенно дополнить представления о тектонических особенностях палеозойского этапа развития

месторождения. **Глава 2** посвящена характеристике фактического материала, используемого в работе и методических исследований, включающих приемы минералого-петрографического и изотопного анализов ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$), использованных автором при исследовании палеозойских отложений Северо-Останинской площади. **В Главе 3** приводятся результаты анализа литологического состава пород фундамента, изучения газовой-жидкой включений и изотопных характеристик доломитов, разработана схема последовательности основных процессов преобразования карбонатных пород Северо-Останинской площади и предложено авторское представление об условиях формирования карбонатных коллекторов. **Глава 4** посвящена результатам комплексной интерпретации геолого-геофизических материалов, включающей анализ блоковой неоднородности фундамента по значениям амплитуды отражающего горизонта Φ_2 и объектную интерпретацию нефтеспективной аномалии, выделяемой в пределах Северо-Останинской площади по данным магнитометрии. **В заключении** изложены основные выводы и результаты проведенных автором комплексных исследований.

Благодарности

Работа выполнена в отделении нефтегазового дела Инженерной школы природных ресурсов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ) под руководством д.г.-м.н., профессора, заведующего лабораторией геологии Центра подготовки и переподготовки специалистов нефтегазового дела Инженерной школы природных ресурсов ФГАОУ ВО НИ ТПУ В.Б. Белозерова. Автор выражает ему глубокую признательность за всестороннюю поддержку и конструктивные дискуссии в процессе работы над диссертацией.

Особую благодарность и признательность автор выражает доценту отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов ТПУ (ИШПР ТПУ), к.г.-м.н., Л.А. Краснощековой за методическое обоснование проведенных диссертантом экспериментов исследования вещественного состава карбонатных пород.

Автор искренне благодарен доценту, к.г.-м.н, вед.эксперту ЦППСНД ТПУ **В.П. Меркулову** за любезно предоставленные геофизические материалы по району исследования, а также выражает глубокую признательность всем коллегам, которые способствовали выполнению представленной работы:

- сотрудникам ЦППСНД ТПУ Ph.D. В.С. Рукавишникову, Ю.А. Ужеговой, В.В. Соловьеву, А.А. Волковой, д.г.-м.н. О.С. Черновой;

- сотрудникам отделения геологии ИШПР ТПУ, доценту, к.г.-м.н. **А.В. Ежовой**, доцентам, к.г.-м.н.: Н.М. Недоливко, О.В. Савиновой, М.А. Рудмину, А.С. Рубану, Т.Ю. Черкасовой, М.И. Шаминовой, Л.Г. Ананьевой; инженерам С.М. Сваровскому, Ю.Я. Ненахову, М.И. Липичук.

- сотрудникам лаборатории микропалеонтологии ГГФ ТГУ, к.г.-м.н. С.Н. Макаренко.

Автор признателен за возможность проведения изотопно-геохимических анализов сотрудникам ТФ АО СНИИГГиМС к.х.н. Н.Л. Падалко, П.Ф. Яворову.

Автор благодарит всех исследователей, фондовые и опубликованные материалы которых использовались при написании диссертации.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

1. Все известные ловушки углеводородов в кровельной части палеозойского комплекса Нюрольской впадины подразделяются на следующие два структурно-генетических типа: ловушки, связанные с эрозионно-тектоническими выступами фундамента, и ловушки «неструктурного» типа, приуроченные к эрозионным ложбинам на предъюрской эрозионной поверхности. Залежь, связанная с ловушкой второго типа, открыта только на Северо-Останинском месторождении.

По результатам поисково-разведочных работ в доюрском комплексе специалисты выделяют четыре типа возможных залежей углеводородов (УВ):

- в коре выветривания;
- в глубоких горизонтах фундамента;
- самостоятельные залежи в кровле фундамента;
- единая залежь в кровле фундамента и осадочном чехле.

Продуктивные поисковые объекты в доюрских отложениях в Нюрольском нефтегазоносном районе представлены зоной контакта отложений палеозоя и мезозоя, выделяемой в нефтегазоносный горизонт зоны контакта – НГГЗК и объектами глубинного палеозоя [Конторович, 2012]. В составе НГГЗК различают отложения коры выветривания (пласт М) и образования кровельной части палеозойского фундамента (пласт М₁), в составе глубинного палеозоя – продуктивный пласт М₂.

На 17 открытых месторождениях Нюрольской впадины в отложениях коры выветривания по серпентинитам, глинисто-кремнистым, известковым породам и бокситам выявлено 5 залежей углеводородов, а в пласте М₁ кровельной части фундамента 13 залежей УВ приурочены к

органогенным известнякам и три к туфам, кремнённым и доломитизированным известнякам.

На рисунке 1 приведено сопоставление литолого-стратиграфического расчленения палеозойских отложений Северо-Останинской площади по результатам проведённого обобщения работ [Савинкин и др., 1996; Ежова, 2012], в соответствии с которым в составе рассматриваемых разрезов скважин можно выделить три толщи.

1. Верхняя толща представлена карбонатно-кремнистыми, карбонатно-эффузивными, глинисто-кремнистыми и кремнистыми отложениями каменноугольной системы (карбон).

2. Среднюю толщу слагают карбонатно-органогенные, карбонатно-эффузивные, карбонатные и карбонатно-глинистые образования среднего и верхнего девона.

3. Нижнюю толщу формируют карбонатно-эффузивные и карбонатно-глинистые породы нижнего девона.

В нефтегазоносном отношении промышленная прдуктивность разреза связана со средней толщей, где, по исследованиям ВНИГНИ [Савинкин и др., 1996], в скважинах 8Р, 6Р, 14Р, 5Р, 3Р, 11Р выделена карбонатная банка (биогерм), представленная сообществом колониальных (строматопоры, мшанки, водоросли, криноидеи) и бентосных (брахиоподы, гастроподы, фораминиферы) организмов. В верхней части этой органогенной постройки по ряду скважин, в которых биогерм выходит на эрозионную поверхность фундамента (скв. 5Р, 7Р, 3Р, 11Р), выделены доломиты, являющиеся основным нефтегазоносным объектом на месторождении. Их формирование обусловлено постседиментационной доломитизацией известняков по тектоническим трещинам, неоднократно проявляющейся в период доплатформенного и платформенного этапов тектонического развития рассматриваемой территории.

Формирование карбонатной банки было связано с наличием серии тектонических нарушений северо-западного простирания, сформировавших ступенчатый характер погружения морского дна палеозойского осадочного бассейна.

К скважинам переходной зоны биогерма и морского бассейна можно отнести скважины 10Р, 17Р, 16Р, 2Р, где отмечается переслаивание органогенных и хемогенных карбонатных пород и эффузивов. Западнее биогерма и восточнее переходных зон (скв. 15Р, 14Р, 9Р, 12Р, 13Р, 1Р) выделяются, соответственно, области изолированного и открытого морского бассейна.

Наличие тентакулитовой пачки в скважине 2Р и преимущественно глинистый состав известняков в скважине 9Р может свидетельствовать о существовании открытого морского бассейна в восточной части

рассматриваемой территории.

Присутствие «чистых» известняков в скважине 17Р позволяет отнести западную часть района к области закрытого бассейна седиментации. Аналогичные выводы в распределении фациальных зон среднего-верхнего девона сделаны в работе ВНИГНИ [Савинкин и др., 1996].

Из построенной литолого-стратиграфической схемы следует, что в скважинах, где органогенная постройка выведена на эрозионную поверхность фундамента, выявлено площадное развитие доломита (скв. 5Р, 7Р, 3Р, 11Р) (Рисунок 1А, см. вкл.). При этом доломитизации подвержена лишь верхняя её часть. В органогенных известняках, перекрытых отложениями палеозоя, процесс доломитизации не наблюдается (скв. 2Р, 4Р, 6Р, 10Р, 8Р, 16Р). В этой связи выполненное исследование посвящено изучению процессов формирования доломитов в кровле палеозойского фундамента (скв. 5Р, 7Р и 3Р), являющегося основным нефтегазовым объектом на месторождении. Исключением является скважина 11Р, расположенная за пределами зоны нефтенасыщения (Рисунок 1Б, см. вкл.).

2. Основным фактором, определившим формирование коллектора в ловушке «неструктурного» типа в кровле палеозойского комплекса Северо-Останинского месторождения, является вторичная доломитизация органогенных известняков, обусловленная совместным воздействием на породы гидротермальных и метеорных вод. Основным источником поступления магния, участвующего в процессах доломитизации, являлись метеорные воды, дренирующие коры выветривания основных эффузивов.

Детальное изучение шлифов пород скв. 3Э (глубина 2880,0-2904,0 м.), 5Э (глубина 2937,62-2923,25 м.), 5Р (глубина 2923,25-2930,65 м.) и 7Р (глубина 2795,3-2861,0 м.), представленных карбонатными отложениями, позволило выделить среди них лидирующие разновидности. К таким разновидностям отнесены пелитоморфные известняки; известняки органогенно-обломочные, оолитовые; известняки органогенно-оолитовые доломитизированные и кальцитизированные, доломиты замещения по органогенно-обломочным известнякам. Доломит в породах выделяется нескольких типов, в зависимости от времени образования и участков локализации в породах.

Первичные флюидные включения обнаружены в доломите типа Д4, формирование которого, по результатам исследований автора, соответствует последней фазе доломитизации на месторождении.

Лазерная рамановская спектроскопия использовалась для определения состава флюидных включений. Подходом к их изучению является выбор

фонового спектра свободных от включений участков самой минеральной матрицы (Рисунок 2, см. вкл.), затем в пределах флюидного включения жидкой фазовой составляющей (без пузырька) и внутри газовой фазы (пузырька).

При изучении ГЖВ определялись температуры: гомогенизации, эвтектики и плавления «льда». Первичные газово-жидкие включения в девонских доломитах типа Д4 в породах Северо-Останинского месторождения имеют температуру гомогенизации в диапазоне 92,2-146 °С (среднее значение 115 °С) с основным пиком в пределах 110-120 °С (Рисунок 3А, см. вкл.). Первичные газово-жидкие включения в жильном кальците из известняков Северо-Останинского месторождения имеют температуру гомогенизации от 98 до 315 °С. На гистограммах фиксируется 2 основных группы температур, имеющих пики со средними значениями около 150 °С и 300 °С (Рисунок 3А, см. вкл.), что позволяет установить генерации кальцита, выполняющие жилы.

На рисунке 3Б показан график зависимости солёности от температуры гомогенизации для доломита и кальцита. Указанная диаграмма демонстрирует, что доломитизация может быть связана с притоком смешанной воды (метеорной и морской), учитывая, что среднее значение солёности растворов для изученных карбонатов составляет 4,5% экв. NaCl. Наличие жидкостей с низкой минерализацией <5% NaCl (масс. % экв. NaCl) свидетельствует о более активном участии метеорной воды в процессе минерализации [Bodnar, 1999].

Полученные значения изотопного состава кислорода свидетельствуют о его формировании при участии метеорной воды, что отразилось в более низком значении $\delta^{18}\text{O}$, как для воды, так и для доломитов (Рисунок 4, см. вкл.).

Учитывая современные взгляды на формирование доломита и связывая их с выветриванием основных вулканических пород, приводящим к значительной мобилизации ионов Mg^{2+} и Fe^{2+} , способствующих доломитизации карбонатных пород [Zhu et al., 2013; He et al., 2017] – объяснение доломитизации с участием метеорной воды представляется наиболее вероятным.

На основании проведенных описаний керна и микроскопических исследований (оптических, СЭМ и битумологических) предложена схема последовательности основных процессов преобразования карбонатных пород в кровельной части фундамента Северо-Останинской площади.

Были идентифицированы 16 диагенетических фаз, которые затем были классифицированы по времени их проявления на раннюю и позднюю стадии преобразования породы (Рисунок 5, см. вкл.).

Наиболее раннее проявление изменений пород связано с процессами микритизации, которые в исследуемой области включали изменение биокластических частиц, происходящее сразу после их осаждения. Доломит 1 (Д1), слагающий основную матрицу породы, по-видимому, формировался на ранней стадии, т.е. в сходных условиях. Затем, под действием нарастающего литостатического давления при накоплении осадков происходили начальные вторичные изменения в карбонатах, среди которых можно выделить: кристаллизацию микрита, перекристаллизацию кальцита, доломита и механическое уплотнение. Выполнение трещин карбонатным минеральным веществом способствовало формированию кальцита и доломита 2.1 (Д2.1). На средней стадии и с постепенным погружением бассейна образовались стилолитовые швы, вдоль которых в шлифах фиксируется развитие доломита 2.2 (Д2.2). Стилолитизация представляет собой один из наиболее важных диагенетических процессов в карбонатных породах Северо-Останинской площади, поскольку стилолиты могли служить каналами для миграции УВ. Затем в основной матрице карбонатного состава возникает, в результате метасоматических процессов, доломит 3 (Д3) с более или менее правильными ромбоэдрическими кристаллами (вторичный кристаллический доломит), между которыми могут сохраняться пустоты в основной массе пород. Следующее проявление изменений пород палеозоя Северо-Останинской площади включало образование гематита, который пропитывает зерна доломита и слагающую матрицу породы, формирует неправильные сгустковые выделения и пятна.

Изотопные характеристики, температуры гомогенизации и протекание процессов растворения (полости, поры) указывает на то, что доломитизация органогенных карбонатов происходила под влиянием метеорной воды, обогащенной магнием.

Последующий процесс включает развитие трещин, в которых, по люминесцентному изучению, отмечались битумоиды маслянистого состава, т.е. фиксируется миграция УВ снизу-вверх. На заключительном этапе наблюдалось формирование обширной системы трещин, выполненных, главным образом, кальцитом, и ориентированных под разными углами, но, преимущественно, субвертикально относительно оси керна или под углом ~ 45-65°. Температура гомогенизации в кальците этих залеченных трещин (в среднем 290°C) предполагает участие гидротермальных флюидов в процессе минерализации трещинного пространства.

В последнее время, теория гидротермальной доломитизации набирает популярность из-за убедительной интерпретации о происхождении доломитов «глубокого захоронения». По литературным источникам палеозойская залежь нефти Северо-Останинского месторождения

приурочена к зонам гидротермальной проработки известняков. Существующие трещины, представляют собой фильтрационную систему, по которым вследствие циркуляции растворов проявляется гидротермальное преобразование карбонатных пород палеозойского возраста. Однако, гидротермальная модель не может объяснить причину доломитизация только кровельной части органогенных известняков, так как её гидрологическая схема предусматривает вертикальный профиль преобразований карбонатов. Кроме того, автор не наблюдал седловидные искривления граней кристаллов доломита, которые считаются важным показателем гидротермальной доломитизации [Merino et al., 2006; Machel, 2014; He et al., 2017].

Согласно проведенным исследованиям по генезису формирования продуктивного палеозойского коллектора Северо-Останинского месторождения, доломиты, распространенные в кровле фундамента площади скв. 3Э, 5Э, и 7Р, образовались за счет метасоматоза органогенных известковых породы при воздействии вод, обогащенных магнием. Микротермометрические данные показывают, что среднее значение солёности флюидных включений доломита составляет 4,5% экв-NaCl. Наличие флюидов с низкой минерализацией (менее <5 мас. % экв-NaCl) и низкие значения $\delta^{18}\text{O}$, приводящие к его обеднению в доломитизирующем флюиде по отношению к девонской морской воде, свидетельствует о более активном участии метеорной воды в формировании трещинной минерализации.

На изучаемой территории из восьми скважин, вскрывших отложения карбона (скв. 1Р, 2Р, 6Р, 8Р, 10Р, 12Р, 13Р, 16Р), эффузивы выявлены в пяти (скв. 2Р, 16Р, 6Р, 12Р, 13Р). Толщина отдельных пропластков изменяется от 10 (скв. 16Р, пачка 3) до 50 (скв. 6Р, пачка 6) метров. Химические анализы вулканических пород Северо-Останинского месторождения, по данным исследователей ВНИГНИ [Савинкин и др., 1996], выявили содержание в них MgO в пределах от 13 (скв. 6Р) до 23 % (скв. 2Р). При этом они не исключают мобилизации ионов Mg^{2+} и их участие в доломитизации органогенных известняков

Разрушение вулканических пород основного состава на стадии формирования коры выветривания способствовало насыщению стоковых вод ионами магния и железа. Условия доломитизации, которые не требуют высокой солёности доломитизирующего раствора, совместимы с происхождением Mg из кор выветривания эффузивов. Поскольку эта модель зависит от эффективного движения стоковых вод, ***пространственное распределение доломитов будет контролироваться палеогеоморфологическим фактором – палеорельефом фундамента.*** Просачивание обогащенных магнием вод в породу по сформированной

системе трещиноватости предопределило доломитизацию лишь кровельной части органогенных известняков, выведенных на эрозионную поверхность в пределах гипсометрических понижений, контролирующих систему стоковых вод. Этот процесс неоднократно проявлялся на доплатформенных и платформенных этапах тектонического развития рассматриваемой территории. В результате первичная трещиноватость была залечена вторичным минералообразованием. За счёт последующего выщелачивания в этих палеотрещинах образовались и частично сохранились пустоты.

3. Определение генезиса резервуара, контролирующего залежь «неструктурного» типа в верхней части палеозойского комплекса Северо-Останинского месторождения, позволило сформулировать следующие поисковые критерии таких объектов: литолого-стратиграфический, палеогеоморфологический, магнитометрический. Наиболее перспективными являются участки, маркированные магнитными аномалиями в пределах эрозионных ложбин в зонах обнажения органогенных карбонатов на эрозионной поверхности палеозойского комплекса.

Современный рельеф эрозионно-тектонической поверхности фундамента Северо-Останинской площади был сформирован как вертикальными и горизонтальными движениями геосинклинального, рифтогенного и платформенного этапов тектонического развития территории, так и избирательной денудацией пород фундамента.

В результате эрозионно-тектонических преобразований блоковая структура фундамента проявилась в литологической неоднородности пород его кровельной части.

В соответствии с данными по скважинам (Рисунок 1, см. вкл.), кровельная часть фундамента Северо-Останинской площади представлена известняками (ск.17Р), органогенными известняками (скв. 3Р, 7Р, 5Р, 11Р, 14Р), переслаиванием известняков и глинистых карбонатов и эффузивов (скв. 2Р, 9Р, 12Р,15Р) и глинисто-кремнистых пород с прослоями эффузивов (скв. 1Р, 4Р, 6Р, 8Р, 13Р, 16Р).

Учитывая, что глинисто-кремнистые и карбонатно-кремнистые породы более устойчивы к процессам физического выветривания, чем карбонатные, выход карбонатных пород на дневную поверхность должен отразиться на современной структурной карте поверхности фундамента склоновыми и депрессионными зонами (отрицательные мелкие формы палеорельефа).

С целью уточнения блоковой неоднородности фундамента по данным сейсморазведки автором был проведён амплитудный анализ карты

отражающего горизонта Φ_2 Северо-Останинской площади [Канакова, 2019] (Рисунок 6А, см. вкл.). Предпосылкой для такого анализа является сопоставление значений акустической жёсткости пород различного литологического состава, выполненных по результатам анализа керна в эксплуатационной скважине 3Э.

Анализ значений акустической жёсткости (АЖ) разновидностей карбонатных (АЖ- жёсткость $16,9-18 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^3$) и глинисто-кремнистых (АЖ- жёсткость $14,2 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^3$) пород по керновым данным в эксплуатационной скважине 3Э свидетельствует о возможном литологическом районировании территории по данным сейсморазведки.

Учитывая, что для блоков глинисто-кремнистых пород значения амплитуды должны быть понижены в сравнении с блоками доломито-известковистого состава, было уточнено пространственное распределение блоков глинисто-кремнистых и карбонатных пород (Рисунок 6Б, см. вкл.).

Ориентировка тектонических нарушений, ограничивающих блоки, учитывала северо-западную направленность складчатых систем миегосинклинального этапа развития и северо-восточную ориентировку нарушений эпохи рифтогенеза.

Комплексная интерпретации данных сейсморазведки и результатов бурения скважин на Северо-Останинской площади позволили провести прогноз пространственной неоднородности вещественного состава кровли фундамента с выделением блоков преимущественно карбонатного и глинисто-кремнистого состава.

На примере анализа литологических особенностей продуктивного коллектора рассматриваемых месторождений углеводородов юго-восточной части ЗСП было показано, что доломитизация, как основа формирования фильтрующей среды карбонатов, приурочена только к органогенным известнякам. Однако, по данным сейсморазведки, пространственное разделение зон развития карбонатов, органогенных известняков и доломитов не представляется возможным.

В тоже время выявлено, что процесс доломитизации связан с процессом «просачивания» метеорных вод, обогащённых ионами магния в кровельную часть органогенной постройки. Учитывая этот факт можно использовать структурную карту по кровле палеозойского фундамента с целью прогноза палеодренажных зон (Рисунок 7Б, см. вкл.).

Как следует из представленной интерпретации распределения стоковых вод, особенность морфологии эрозионной поверхности фундамента была благоприятна для доломитизации органогенной постройки. Исключение составляет скважина 14Р, где выведенные на эрозионную поверхность органогенные известняки не претерпели процесс доломитизации (см. Рисунок 1, см. вкл.). Отсутствие доломитизации

можно объяснить расположением скважины на восточном склоне локального поднятия, предопределившего изменение направления стоковых вод в пределы более погруженных участков.

Особый интерес в оценке нефтегазоносности отложений фундамента Северо-Останинской площади представляют работы по интерпретации данных наземной магнитной съёмки. Изучение особенностей магнитного поля в пределах нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири показало их пространственную связь с выявленными залежами углеводородов [Пискарев и Чернышев, 1997].

Высокоточная магнитная съёмка (масштаб 1:50000) в пределах Северо-Останинского района проводилась в 1987 и 1989 гг. (Рисунок 7А, см. вкл.). По полученным данным в пределах рассматриваемой территории была выделена нефтеперспективная зона [Меркулов, 2002].

Распределение магнитной аномалии (Рисунок 7А, см. вкл.) сравнялось с сейсмогеологическими прогнозами литологической неоднородности кровельной части пород палеозоя Северо-Останинской площади (Рисунок 7Б, см. вкл.), что позволило автору выполнить пообъектную интерпретацию выделяемой магнитной аномалии. Проведенный анализ показал полное соответствие магнитной аномалии с зоной доломитизации органогенных известняков в скважинах 3Р, 5Р, 7Р, где можно выделить северный нефтеперспективный объект, соответствующий открытой залежи нефти.

Определённый интерес представляет южный купол Северо-Останинской площади, в пределах которого пробурена скважина 6Р, где также отмечается гравимагнитная аномалия и выделяется южный нефтеперспективный объект. Верхняя часть палеозойского фундамента представлена здесь глинисто-кремнистой толщей, в кровле которой выделяется кора выветривания.

В скважине 6 при испытании коры выветривания в интервал 2716-2724 м. на $H_{\text{дин}}$ -530м дебит нефти и воды составил: $Q_n = 0,63 \text{ м}^3/\text{сут}$, $Q_v = 1,58 \text{ м}^3/\text{сут}$. С учётом положения магнитной аномалии в восточной части рассматриваемого поднятия можно прогнозировать залежь нефти в коре выветривания. Совместный приток нефти и воды из коры выветривания не исключает возможность притока нефти в структурном понижении.

Примером тому может служить залежь нефти в коре выветривания на Селимхановской площади, где в гипсометрической повышенной части залежи (скважина 2) в интервале абсолютных отметок - 2353,3 -2362,3 м на $H_{\text{дин}}$ -907м. получили $Q_v = 0,416 \text{ м}^3/\text{сут}$ с пленкой нефти, а в структурно пониженной части (скважина 5) при опробовании интервала абсолютных отметок -2427,6-2434,6 м. дебит нефти составил $69 \text{ м}^3/\text{сут}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что:

1. На месторождениях углеводородов Нюрольской впадины, выявленных в кровельной части палеозойского фундамента, формирование продуктивного коллектора связано с зоной доломитизации органогенных известняков.

2. Для правильной идентификации и выделения основных нефтеперспективных пород кровельной части палеозойского фундамента (органогенные известняки и доломиты), необходимым условием, наряду с описанием керна, является петрографическое изучение пород в шлифах, позволяющих уточнить первичную природу пород, процессы их преобразования и проследить все этапы вторичных изменений в коллекторах.

3. Источником магния для доломитизации девонских органогенных прострок Северо-Останинской площади являлась кора выветривания основных эффузивов, в которых содержание MgO составляет 13-23 %.

4. Доломитизирующие растворы, из которых образовывались вторичные доломиты типа Д4 Северо-Останинского месторождения, формировались при участии метеорных и гидротермальных вод, излившихся на поверхность, что подтверждается низкой соленостью ГЖВ (в среднем 4,5 мас. % экв-NaCl) и их относительно низкой (92,2–146 °С) температурой доломитизации.

5. Просачивание обогащенных магнием стоковых вод по трещинам в кровельную часть выведенных на эрозионную поверхность фундамента органогенных известняков предопределило их доломитизацию. Зона доломитизации органогенных карбонатных пород Северо-Останинской площади соответствует положению дренажной системы стоковых вод и контролируется структурной картой по отражающему горизонту Φ_2 .

6. Пространственное развитие карбонатных и глинисто-кремнистых отложений в кровельной части палеозойского фундамента возможно прогнозировать по характеру амплитудной неоднородности отражающего горизонта Φ_2 .

7. Совместный анализ данных высокоточной магниторазведки, результатов сейсмогеологической интерпретации скважинных и сейсмических данных позволяют разделить контур магнитной аномалии Северо-Останинской площади на два объекта с подтвержденной (северная часть аномалии) и прогнозной (южная часть аномалии) нефтегазоносностью.

8. По результатам проведенных исследований, охватывающих изучение природы формирования продуктивного пласта M_1 в пределах Северо-Останинской площади, латеральный прогноз зоны его развития по

данным сейсморазведки и последующее выделение нефтеперспективных участков на основе анализа высокоточной магнитной съёмки, разработан методический подход поиска нефтеперспективных объектов в карбонатных отложениях палеозоя Нюрольской структурно-фациальной зоны, не связанных с эрозионно-тектоническими останцами фундамента.

В дальнейшем такие исследования планируется провести по вторичным доломитам других месторождений углеводородов фундамента Томской области, что позволит изменить представления на условия формирования продуктивных коллекторов рассматриваемого типа.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **А.С. Гарсия Бальса.** Условия образования вторичных доломитов в палеозойских карбонатных коллекторах Северо-Останинского месторождения (Западная Сибирь) по данным микрокриотермометрии / Л.А. Краснощекова, А.С. Гарсия Бальса, В.Б. Белозеров // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. – Т. 331. – № 8. – С. 208–219.

2. **А.С. Гарсия Бальса.** Состав флюидных включений по КР-спектрам в палеозойских карбонатных породах Северо-Останинского месторождения, Западная Сибирь / Л.А. Краснощекова, А.С. Гарсия Бальса, В.Б. Белозеров // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. – Т. 330. – № 3. – С. 187–203.

3. **А.С. Гарсия Бальса.** Перспективы поиска залежей нефти в отложениях девона юго-восточной части Западно-Сибирской плиты / В.Б. Белозеров, А.С. Гарсия Бальса // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. – Т. 329. – № 6. – С. 128–139.

Материалы конференций:

1. Uzhegova, I., **Garcia, A.**, Konoshonkin, D., & Krasnoshchekova, L. (2019). Fluid filtration analysis of complex fractured system based on geomechanical parameters and diagenetic alterations // In 81st EAGE Conference and Exhibition 2019 (81st EAGE Conference and Exhibition 2019). EAGE Publishing BV., 3-6 June 2019. – Т. 2019. – С. 1-5. – Режим доступа: DOI 10.3997/2214-4609.2019010342.

2. Аксёнова Ю.Э. **Гарсия Бальса А.С.** Вторичные изменения карбонатных коллекторов Северо-Останинского месторождения

углеводородов (Томская область) // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIII Международного научного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова, Томск, 8-12 Апреля 2019.: в 2 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2019. – Т. 1. – С. 182-184.

3. **Гарсия Бальса А.С.** Анализ и сопоставление литологической неоднородности пород палеозойского фундамента с результатами опробования скважин // Geonature 2018: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции при поддержке международных организаций EAGE, SEG, AAPG 18 - 21 апреля 2018 г. / отв. редактор И. И. Нестеров. – Тюмень: ТИУ, 2018. – С. 16-23.

4. **Гарсия Бальса А.** Литологический и стратиграфический прогноз пород фундамента Северо-Останинской площади по данным каротажа // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина, Томск, 3-7 Апреля 2017. – Томск: ТПУ, 2017 – Т. 1 – С. 224-225.

5. **Гарсия Бальса А., Ильина Г. Ф.** Характеристика палеозойских отложений на примере Северо-Останинского месторождения // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина, Томск, 3-7 Апреля 2017. - Томск: ТПУ, 2017 - Т. 1 - С. 226-227.

Технический редактор Т.С. Курганова

Подписано в печать 12.05.2022

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

Печ.л. 0,9. Тираж 112. Зак. № 208

ИНГГ СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3

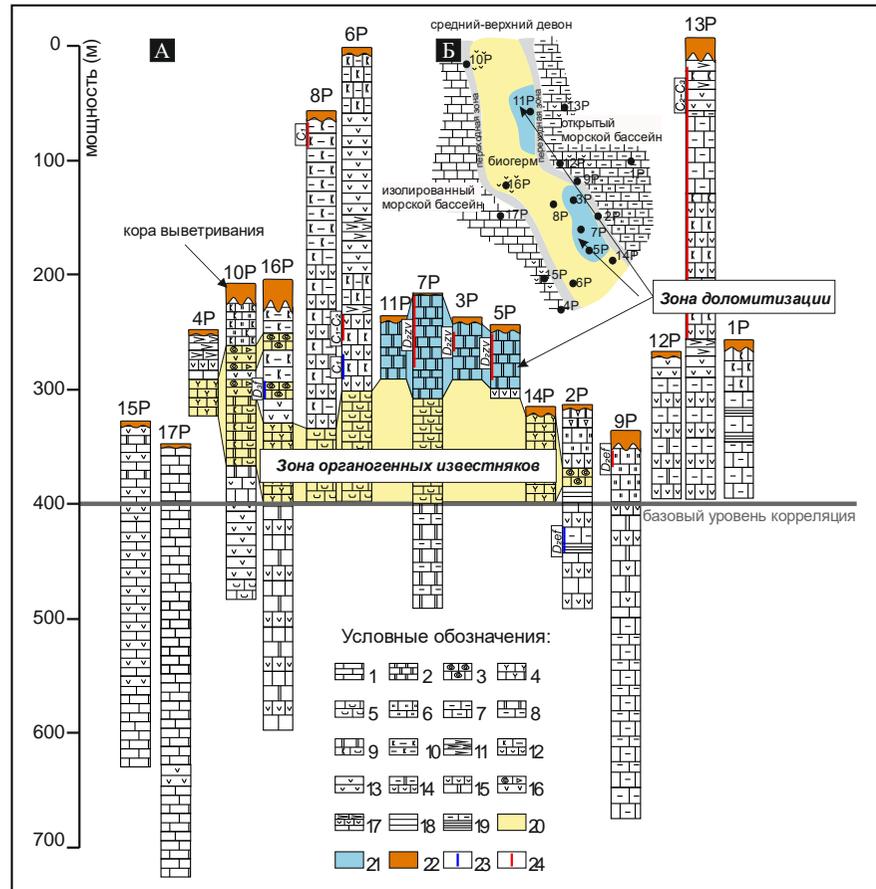


Рисунок 1 – Литологическое сопоставление разрезов пород фундамента по скважинам на основе выделения литологических чакет: А) палеогеографическая схема среднего–верхнего девона, Б) Северо-Останинской площади. Условные обозначения: 1 – известняки, 2 – доломиты, 3 – органогенные известняки, 4 – известняки с остатками водорослей, 5 – известняки с остатками фауны, 6 – известняки доломитизированные, 7 – глинистые известняки, 8 – переслаивание доломитов и глинистых известняков, 9 – переслаивание известняков окремненных и доломитов с остатками фауны, 10 – глинисто-кремнистые породы, 11 – спонголиты, 12 – глинисто-кремнистые известняки и эффузивы, 13 – эффузивные породы, 14 – переслаивание известняков, доломитов и туфов, 15 – доломиты с прослоями эффузивов, 16 – органогенные известняки, обломочные с прослоями эффузивов, 17 – известняки с прослоями эффузивов и спонголитов, 18 – глинистые породы, 19 – переслаивание чёрных аргиллитов и чёрных глинистых известняков, 20 – зона органогенных известняков (водоросли, криноидеи, брахиоподы, остракоды, пелециподы), 21 – зона доломитизации биогермной постройки, 22 – кора выветривания, 23 – возраст породы по материалам А.В.Ежовой, 24 – возраст породы по материалам ВНИГНИ.

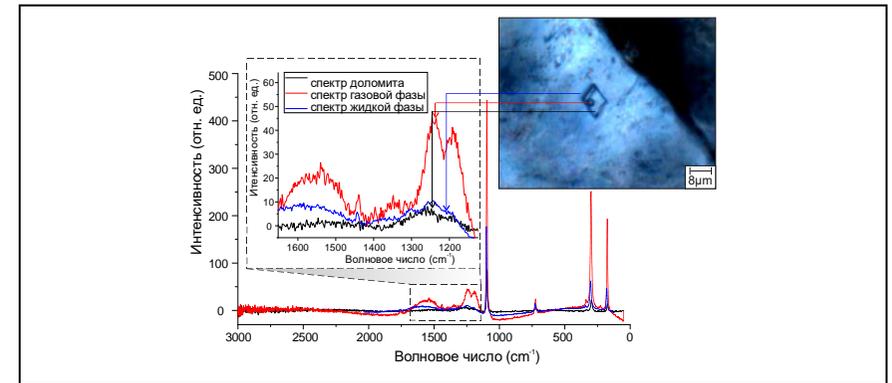


Рисунок 2 – Типичный спектр комбинационного рассеяния ГЖВ в доломитах Северо-Останинского месторождения, показывающий слабую структурную организацию углеродистого материала [Краснощекова и др., 2019].

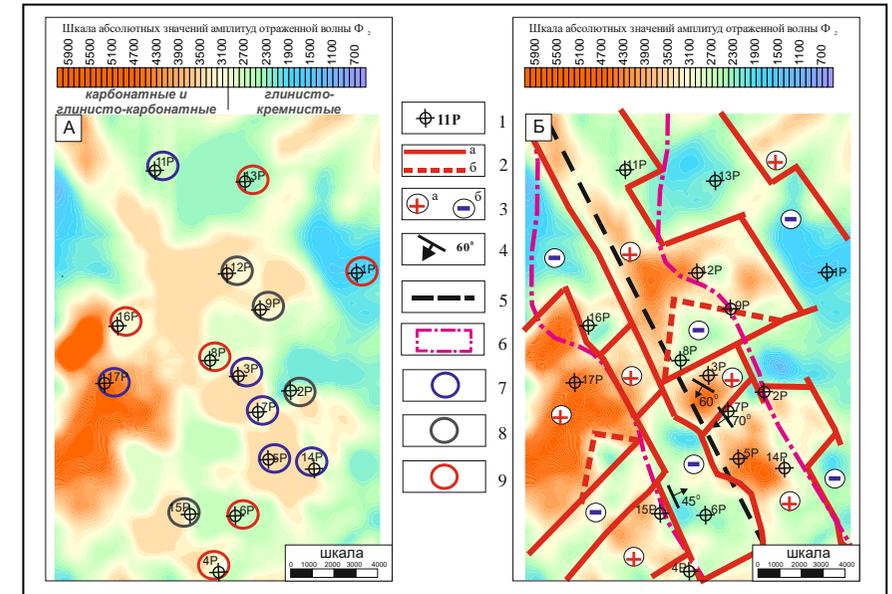


Рисунок 6 – Карта амплитуд отражающего горизонта Ф2 [Канакова, Канаков, 2019] с анализом вещественного состава пород кровли фундамента (А) и интерпретация его блоковой неоднородности в пределах Северо-Останинской площади (Б). Условные обозначения: 1 - скважина, номер; 2 - тектонические нарушения изгиба (а) и горизонтального сжатия (б); 3 - тектонические блоки поднятия (а) и погружения (б); 4 – азимут и угол падения слоистости; 5 - ось простирания складки; 6 - зона развития биогерма; 7 - известняки; 8 - переслаивание известняков, глинистых карбонатов и эффузивов; 9 - глинисто-кремнистые отложения.

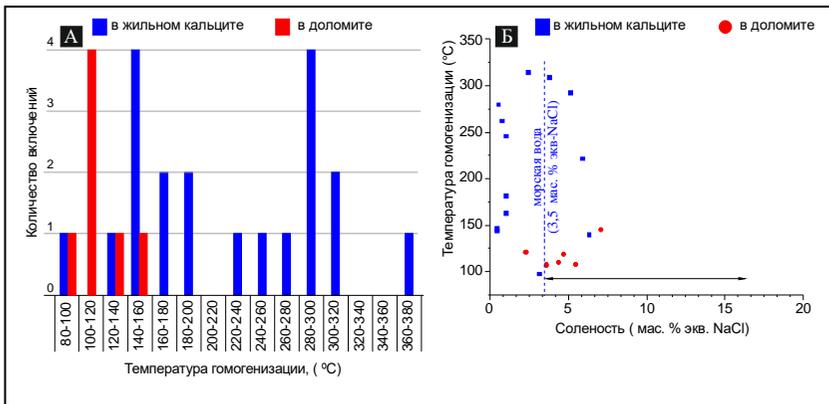


Рисунок 3 – А) Гистограмма зависимости распределения температур гомогенизации от частоты встречаемости для жильного кальцита и доломита, Б) – Диаграмма соленость–температура гомогенизации ГЖВ по [Vodnar, 1999].

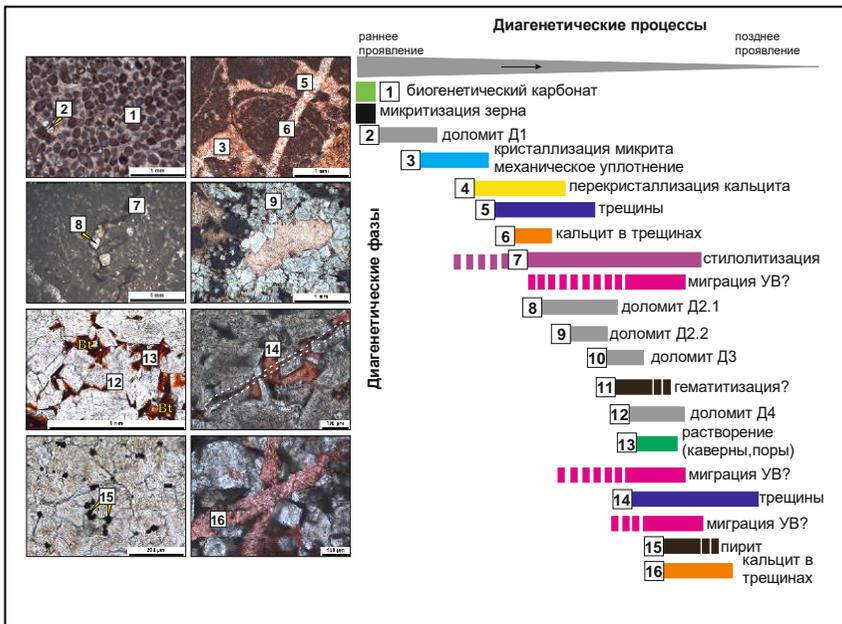


Рисунок 5 – Последовательность постседиментационных преобразований пород палеозоя Северо-Останинского месторождения

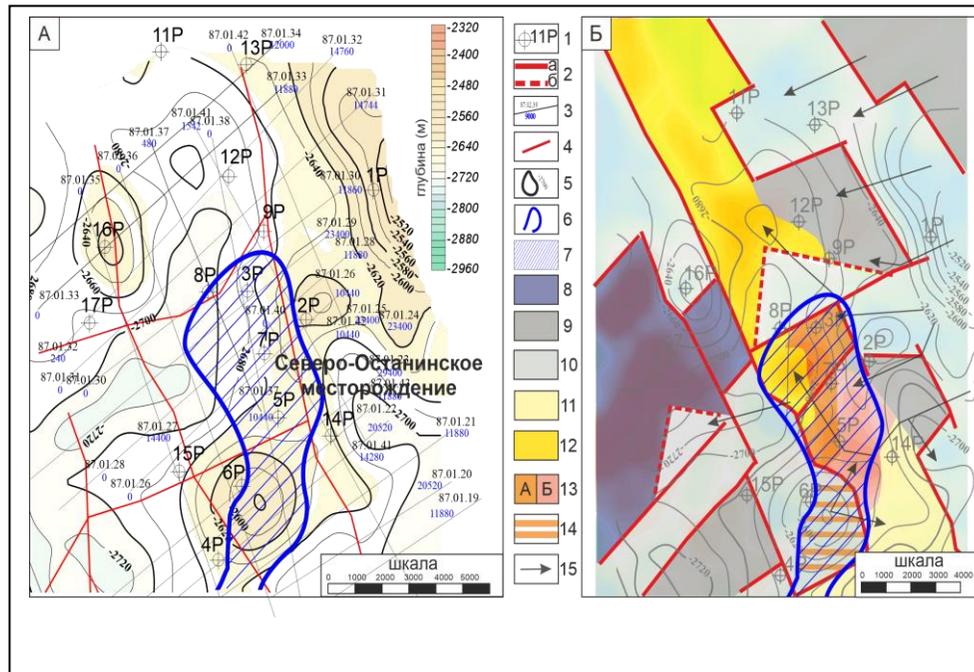


Рисунок 7 – Положение магнитной аномалии в пределах Северо-Останинской площади (А) по [Меркулов, 2002] и зональность её интерпретации по нефтегазоносным объектам в рамках блоковой неоднородности фундамента (Б).
 Условные обозначения: 1 – скважина, её номер; 2 – тектонические нарушения изгиба (а) и горизонтального сжатия (б); 3 – профиль магнитной съёмки; 4 – осевые зоны градиентов аномального магнитного поля; 5 – изогипсы отражающего горизонта Ф2 (кровля фундамента); 6-7 – прогнозная зона нефтеносности по данным магнитной съёмки; 8 – известняки лагуны; 9 – переслаивание известняков, глинистых карбонатов и эффузивов; 10 – глинисто-кремнистые отложения; 11 – органогенные карбонаты; 12 – доломитизированные органогенные карбонаты; 13 – выявленная залежь нефти (А), нефти и газа (Б) в кровельной части фундамента; 14 – прогнозируемая залежь нефти в коре выветривания; 15 – направление стоковых вод.

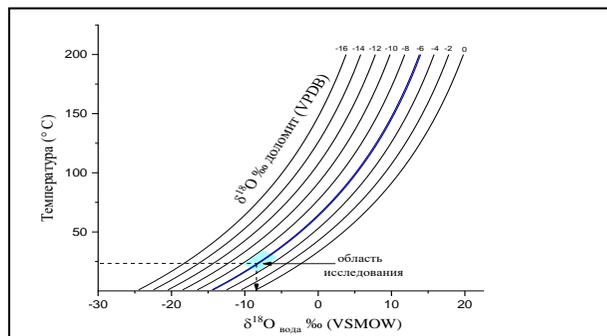


Рисунок 4 – График зависимости температуры и средних значений $\delta^{18}\text{O}$ доломита для вод различного изотопного состава. Синяя линия получена из уравнения фракционирования [Land, 1983].