Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Российский государственный университет
нефти и газа имени И. М. Губкина»
(РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина)

На правах рукописи

Сивальнева Ольга Владимировна

РЕКОНСТРУКЦИЯ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ НИЖНЕДЕВОНСКИХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ХОРЕЙВЕРСКОЙ ВПАДИНЫ

Специальность: 25.00.06-Литология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук
А.В. Постников

г. Москва, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение…… 3
1. Обзор истории изучения девонских отложений Тимано-Печорской НГП…..……..……... 7
2. Геологическое строение и нефтегазоносность нижнедевонских отложений
Хорейверской впадины……...……...……..…… 9
3. Методика исследований. …….……..……... 12
3.1. Типизация, детальная литологическая и петрофизическая характеристика пород..... 12
3.2. Определение морфометрических параметров структуры пустотного
пространства и анализ ФЕС пород-коллекторов……..……...……..... 15
3.3. Циклостратиграфический анализ и корреляция разрезов…….……..……... 16
3.4. Седиментологический анализ и установление литолого-фациальной
зональности……..……...……..... 17
3.5. Выявление закономерностей распределения, прогноз зон распространения
и свойств пород-коллекторов в разрезе и по площади……...……..……..... 17
4. Литологическая и петрофизическая характеристика пород нижнедевонских отложений..... 19
4.1. Литологическая характеристика пород……... 19
4.2. Результаты РФА……...……..… 33
4.3. Результаты исследований пород в РЭМ……...……...……... 37
4.4. Петрофизическая характеристика пород.…….……..… 46
4.4.1. Определение минералогии и пористости пород……...……... 46
4.4.2. Определение каверновой пористости методом компьютерной томографии..... 49
5. Характеристика структуры пустотного пространства и ФЕС пород-коллекторов..... 52
5.1. Характеристика структуры порового пространства доломитов
по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам……..……...… 52
5.2. Характеристика структуры порового пространства доломитов
по биогермным водорослевым известнякам…….… 57
5.3. Характеристика фильтрационно-емкостных свойств…… 62
5.3.1. Построение зависимостей пористости-проницаемости……..... 62
5.3.2. Характеристика трещинной емкости и остаточной водонасыщенности..... 65
6. Седиментационная цикличность нижнедевонских отложений……..…..... 69
7. Литолого-фациальная зональность и распределение пород-коллекторов
в нижднедевонских отложениях……..…….……..... 77
Заключение……..……... 85
Список литературы……..……..… 88

Введение

Нижнедевонские отложения представляют собой часть среднеордовикско-нижнедевонского карбонатного комплекса Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Залежи в этих отложениях открыты и разрабатываются на таких месторождениях как Колвинское, им. Р. Требса и А. Титова, Перевозное, Тобойское, Мядсейское, Нядейюское, приуроченных к Хорейверской впадине и Варандей-Адьзвинской структурной зоне.

В настоящее время с нижнедевонскими отложениями связаны значительные перспективы пополнения ресурсной базы углеводородов Тимано-Печорской НГП. В связи с этим актуальным является решение вопросов прогноза пространственного распределения пород-коллекторов в этих отложениях.

Природные резервуары в среднеордовикско-нижнедевонском карбонатном комплексе приурочены преимущественно к органогенным постройкам различного типа и характеризуются высокой степенью литологической неоднородности. Характерной особенностью нижнедевонских отложений на территории Хорейверской впадины является интенсивное развитие вторичных процессов, направленность которых главным образом определяется первичными текстурно-структурными особенностями пород и, соответственно, условиями осадконакопления. Поэтому основой прогноза изменения свойств и пространственного распределения пород-коллекторов в нижнедевонских природных резервуарах являются результаты литолого-фациального анализа, основанного на широком комплексе литолого-геофизических исследований.

В связи с этим целью исследований является литолого-фациальная характеристика, выявление закономерностей пространственного распределения пород-коллекторов в нижнедевонских отложениях северо-восточной части Хорейверской впадины и механизмов формирования их пустотного пространства.

В рамках поставленной цели решались следующие задачи

- типизация, детальная литологическая и петрофизическая характеристика пород;

- определение морфометрических параметров структуры пустотного пространства и анализ ФЕС пород-коллекторов;

- циклостратиграфический анализ и корреляция разрезов;

- седиментологический анализ и установление литолого-фациальной зональности;

- выявление закономерностей распределения, изменения свойств пород-коллекторов, а также прогноз их пространственного распространения.

Научная новизна.

1. Наилучшие коллекторы представлены доломитами по строматопорово-водорослевым известнякам, первичные текстурно-структурные параметры которых контролируют развитие постдиагенетических преобразований и определяют формирование порово-каверновой составляющей коллекторов смешанного типа.

2. Разрез нижнедевонских отложений имеет отчетливо выраженный циклический характер. В строении циклитов прослеживается регрессивная направленность, что выражено в переходе от глинистых к чистым доломитизированным биогермным породам вверх по разрезу.

3. Интервалы пород-коллекторов приурочены к верхним частям циклитов, сложенных доломитами по биогермными известнякам.

4. Породы-коллекторы с наилучшими фильтрационно-емкостными характеристиками приурочены к вершинам водорослево-строматопоровых биогермных построек, развивавшихся на повышенных участках мелководного шельфа.

Выявленные на основе литолого-фациального анализа закономерности распространения пород-коллекторов для нижнедевонских отложений Хорейверской НГО необходимо использовать при выборе новых направлений поиска, разведки и освоения нефтегазовых месторождений.

Результаты литолого-фациального анализа использованы в коррекции моделей разработки нескольких месторождений. Характеристика изменчивости ФЕС положена в основу литолого-петрофизического моделирования нижнедевонских пород-коллекторов и может быть использована при оптимизации процессов разработки.

Результаты исследований использовались в работах ООО «Арктик-ГЕРС», ОАО АНК «Башнефть», НК «Альянс».

Защищаемые положения.

1. Нижнедевонские отложения сложены преимущественно интенсивно доломитизированными известняками биогенного происхождения, в формировании которых главную роль сыграли цианобактериальные сообщества и строматопороидеи. Выделено 5 основных литотипов:

- доломиты по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам;
- доломиты по биогермным водорослевым известнякам;
- доломиты по ламинитам;
- доломиты тонкозернистые и глинистые;
- известняки узловато-слоистые.

2. Значимым фильтрационно-емкостным потенциалом обладают доломиты по водорослевым и водорослево-строматопоровым известнякам.

3. Интенсивность вторичных преобразований и качество пород-коллекторов контролируется первичными текстурно-структурными параметрами доломитизированных биогермных известняков. Основную роль в емкостном пространстве доломитов по водорослево-строматопоровым известнякам играют пустоты выщелачивания, образовавшиеся по первичным каркасным полостям. В пустотном пространстве доломитов по водорослевым известнякам преобладают межкристаллические поры.

4. Вертикальная неоднородность распределения пород-коллекторов определяется цикличностью процессов осадконакопления. Наилучшие по качеству коллекторы приурочены к верхним частям седиментационных циклитов асимметричного строения и представлены доломитизированными биогермными известняками.

5. Области распространения пород-коллекторов с лучшими ФЕС ограничены зонами развития биогермных построек, сформировавшихся на повышенных участках прибрежной области мелководного шельфа.

Результаты исследований доложены на 7-м Всероссийском литологическом совещании, 10-м Уральском литологическом совещании (Екатеринбург 2014). По теме диссертационной работы опубликованы 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК.

Работа основана на результатах изучения кернового материала 15 скважин (~ 2000 м). Проведение литолого-фациальных реконструкций проводилось на основании результатов литологической характеристики пород, как по образцам, так и по стандартным петрографическим шлифам (~ 2700). Результаты петрофизических исследований и интерпретации данных ГИС вошли в характеристику ФЕС свойств пород нижнедевонских отложений.

Циклостратиграфический анализ разрезов проводился на основании корреляции диаграмм ГИС 107 скважин. Для литолого-фациальных реконструкций использован набор карт, построенных с привлечением результатов 3D и 2D сейсморазведочных работ.

Диссертационная работа выполнена в аспирантуре Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина на кафедре «Литологии».

Автор выражает благодарность за оказанную помощь при работе над диссертацией, консультации, квалифицированные советы и поддержку научному руководителю д.г.-м.н. проф. Постникову А.В., профессорам кафедры О.В. Постниковой, В.Г. Кузнецову, доценту Ю.В. Ляпунову, сотрудникам К.Ю. Оленовой, Л.С. Сипидиной, Н.А. Осинцевой, А.Д. Мусихину, В.В. Пошибаеву, Д.И. Кудрявцеву. За предоставленный фактический материал автор выражает благодарность также сотрудникам ООО «АрктикГерс» В.Г. Топоркову и С.Ю Рудаковской.

1. Обзор истории изучения девонских отложений Тимано-Печорской НГП.

Тимано-Печорская НГП характеризуется высокой степенью изученности в отношении геологического строения и нефтегазового потенциала. Первые поисково-разведочные скважины с целью открытия нефтегазовых залежей были пробурены в 1926 г. в юго-восточных Притиманских районах: Верхнеижемском и Омра-Сойвенском. С 1929 г. началось планомерное освоение нефтегазовых ресурсов. В течение 30 лет, начиная с 1930 г., работы по поиску и разведке залежей УВ были в основном сосредоточены в западной части провинции и связаны с поддоманиковым терригенным комплексом. В 60-х годах происходило освоение северных и северо-восточных регионов. В результате работ этого периода подтвердилась продуктивность всего осадочного чехла провинции, и наметились направления поиска залежей в карбонатных коллекторах верхнего девона.

По современному состоянию на территории провинции открыто и разрабатывается более 200 месторождений нефти и газа. Оценка начальных суммарных ресурсов углеводородов по данным ВНИГРИ на 2012 г. составила 13912,9 млн. т. – геологических и 6164,3 млн. т. – извлекаемых. Результаты оценки показывают, что перспективы провинции остаются весьма значительными и существуют новые направления для постановки поисково-разведочных работ.

В настоящее время наиболее изученным является верхнедевонско-турнейский нефтегазоносный комплекс, что указывает на необходимость выявления и подробного изучения резервуаров в других стратиграфических диапазонах. Одним из перспективных направлений является обнаружение продуктивных горизонтов в ордовикско-нижнедевонских отложениях.

Особенностям строения и состава девонских отложений Тимано-Печорской провинции посвящены работы многих исследователей, таких как А.И. Антошкина, К. И. Багринцева, Л. Г. Белоновская, М. Х. Булач, М.Д. Белонин, В.И. Богацкий, Б.П. Богданов, Л. П. Гмид, Е.Б. Грунис, В.А. Дедеев, В. И. Еременко, В.А. Жемчугова, В.Н. Макаревич, Н.А. Малышев, В.В. Меннер, Н.И. Никонов, Л.В. Пармузина, О.М. Прищепа, Н.В. Танинская, Н.К. Фортунатова и др.

Работы, посвященные литологической характеристике ордовикско-нижнедевонских отложений, проводились А. И. Антошкиной, Л. Т. Беляковым, М. Х, Булач, Л. П. Гмид, В. П. Зарх, Т. И. Кушнаревой, Т. В. Майдль, В. Вл. Меннером, Н. Б. Рассказовой, А. В. Сопоматиным, А. А. Султанаевым, Н. В. Танинской, 3. П. Юрьевой, Л. И. Филипповой.

Палеонтологические исследования проводились Ю. Г. Деулиным, С. В. Мельниковым, Т. М. Безносовой, А. И. Першиной, Ю. А. Юдиной, В. С. Цыганко, П. В. Нехорошёвой, В. Н. Талимаа.

Разработкой стратиграфических схем для ордовикско-нижнедевонских отложений Тимано-Печорского региона занимались А. И. Першина, Л. И. Филиппова, А. Ф. Абушик, А. И.

Антошкина, Т. М. Безносова, Л. Т. Белякова, С. В. Мельников. В. Вл. Меннер, Н. Б. Рассказова, В. Н. Талимаа, Л. Л. Шамсутдинова, В. С. Цыганко, Ю. А. Юдина, 3. П. Юрьева и др.

Работы по нефгегазогеологическому районированию, выделению перспективных зон и характеристике условий формирования зон нефтегазонакопления проводились в разное время М. Д. Белониным, В. И. Богацким, Б. П. Богдановым, Г В. Важениним, Б. Я. Вассерманом, В. А. Дедеевым, О. А Солнцевым, А А. Султанаевым и др.

Исследователями установлено, что большинство ловушек в ордовикско-нижнедевонском комплексе представлены неантиклинальным типом – это преимущественно комбинированные ловушки. Значительную роль среди них играют органогенные постройки, часто рифовые комплексы.

В результате многолетних исследований была дана комплексная характеристика ордовикско-нижнедевонских отложений на региональном уровне. В то же время для отдельных нефтегазоносных горизонтов в этих отложениях пока не существует детальных моделей, необходимых для проведения поисково-разведочных работ на нефть и газ, а также выбора оптимальных путей разработки открытых месторождений. В связи с этим весьма актуальным является уточнение и детализация строения отложений разных стратиграфических уровней в пределах ордовикско-нижнедевонского комплекса.

2. Геологическое строение и нефтегазоносность нижнедевонских отложений Хорейверской впадины.

Хорейверская впадина является структурой первого порядка Хорейверско-Печороморской синеклизы, входящей в состав Тимано-Печорской плиты.

Впадина имеет размеры 280х120 км и приурочена к стабильному Большеземельскому мегаблоку фундамента (Прищепа, 2001). На западе впадина ограничена Колвинским мегавалом и валом Сорокина, на востоке и юго-востоке – поднятием Чернышова.

Области исследования нижнедевонских отложений расположены в пределах двух подчиненных тектонических элементов: Колвависовской и Садаягинская ступеней.

Колвависовская ступень имеет размеры 110х90 км, занимает центральную часть впадины и представляет собой наклоненную полого на восток моноклиналь.

Садаягинская ступень имеет размеры 200х120 км, занимает основную часть впадины в северо-западной ее части. Это полого воздымающаяся в юго-восточном направлении структура, выраженная по среднекаменноугольным и более молодым образованиям, осложненная многочисленными локальными поднятиями.

Ступени разделяются Центрально-Хорейверским уступом северо-восточного простирания. Вдоль него прослежена прерывистая цепь верхнедевонских рифов.

Девонские отложения на территории Хорейверской впадины представлены не в полном объеме. На большей части впадины средний отдел отсутствует, что связано с ранне-среднедевонской (предтиманской) региональной эрозией. Мощность отложений изменяется от 100-400 м. В составе нижнедевонского комплекса выделены отложения лохковского, пражского и нижней части эмского ярусов. Объектом исследования являются породы овинпармского горизонта, выделенного в лохковском ярусе.

Нижнедевонские отложения Хорейверской впадины входят в состав среднеордовикско-нижнедевонского нефтегазоносного комплекса (НГК) Тимано-Печорской НГП и представлены глинисто-карбонатными породами.

На территории Тимано-Печорской плиты отметки глубин залегания кровли среднеордовикско-нижнедевонского комплекса изменяются от 900 м (центральные районы Ижма-Печорской впадины) до 5000-10000 м (впадины Предуральского прогиба и Печоро-Колвинского авлакогена).

Среднеордовикско-нижнедевонский НГК рассматривается как массивно-пластовый гидродинамически единый резервуар сложного строения. В составе резервуара преобладают карбонатные полифациальные отложения.

Изменчивость состава комплекса прослеживается с запада на восток и проявляется в смене песчано-глинисто-карбонатных отложений на галогенно-терригенно-карбонатные и преимущественно карбонатные отложения (западный склон Урала).

По фациальной характеристике отложения отнесены к мелководно-шельфовой зоне, в которой прослеживается последовательная смена фаций от прибрежно-морских, закрытых и открытых шельфовых к рифогенным.

Отложения прибрежно-морских фаций сложены чередованием известняков, доломитов, песчано-алевритовых пород. Резервуары в таких отложениях разрабатываются в северных районах Варандей-Адзьвинской зоны на месторождениях Тобойское, Медынское и др.

Фации закрытого шельфа формировались в областях, отделенных от глубоководных шельфовых районах барьерными рифами. Нефтяные залежи в таких отложениях открыты на Северо-Баганскогом, Западно-Веякском, Западно-Хатаяхском месторождениях.

Породы-коллекторы биогермных и лагунных фаций ордовика-нижнего девона составляют резервуары рифогенного типа. Резервуары связанные с барьерными рифогенными постройками распространены на западном склоне Урала. На территории Печорской плиты преобладают резервуары линзовидного и пластового строения.

Залежи нефти резервуаров пластового строения встречаются в широком стратиграфическом диапазоне: верхний ордовик, нижний и верхний силур, нижний девон. Экраном в таких резервуарах служат регионально выдержанные верхнедевонские отложения. Резервуары относятся к литологически ограниченным и характеризуются зональным и локальным распространением.

НГК характеризуется неоднородностью по фильтрационно-ёмкостным свойствам пород, а также соотношению коллекторов в разрезе. Преобладают средне и низкоемкие коллекторы в карбонатных породах, по типу – каверново-трещинно-поровые, диапазон изменения пористости от 5 до 20% (в среднем пористость 7-12%, проницаемость 500-900 мД). В ограниченном распространении присутствуют породы-коллекторы в терригенных породах со значениями пористости – 6-9%, проницаемости – 0,5-9,5 мД

Региональной покрышкой являются среднедевонско-нижнефранские отложения, в зонах их отсутствия такую роль играет глинистая тимано-саргаевская толща. Зональными покрышками являются сульфатно-карбонатные отложения верхнего ордовика глинистые породы нижнего девона.

Нефтегазоматеринские породы вскрыты в отложениях силура и нижнего девона. К нижнедевонским НГМ горизонтам относятся глинисто-карбонатные пачки овинпарсмкого и сотчемкыртинского горизонтов. Их мощность оценивается в диапазоне 100-400 м.

Органическое вещество представлено гумусо-сапропелевом типом и характеризуется вариацией содержания углерода от 0,5 до 0,7%.

В среднеордовикско-нижнедевонском комплексе преобладают структурные, структурно-стратиграфические и литологически ограниченные ловушки. Нижнедевонские отложения характеризуются наличием пластовых скоплений.

В комплексе открыто и разрабатывается более 40 месторождений. Наиболее крупные из них в восточной и северо-восточной частях Хорейверской впадины - им. Р. Требса и им. А. Титова, в юго-западной части – Верхневозейское.

Нефти комплекса весьма неоднородны по физико-химическим свойствам. и представлены всеми выделяемыми классами. Преобладают лёгкие нефти, среди которых доминируют низкосернистые разности, парафинистые и высокопарафинистые. Попутные газы нефтяных залежей характеризуются повышенной жирностью и преобладанием в составе этана и пропана.

3. Методика исследований.

Работа основана на обобщении и анализе результатов комплекса геолого-геофизических исследований. Этапы работы подразделяются в соответствии с поставленными задачами, для каждой из которых определен наиболее информативный набор методов изучения.

3.1. Типизация, детальная литологическая и петрофизическая характеристика пород.

В рамках создания основы для литолого-фациальной интерпретации проводится детальное изучение пород отложений, которое включает в себя комплекс исследований кернового материала.

3.1.1.1. Литологическая характеристика и типизация пород.

Характеристика текстурных особенностей пород, выделение генетически сходных интервалов отложений и определение их взаимоотношений проводится на основании изучения керна, распиленного вдоль оси, анализа фотоизображений пород, полученных при естественном и ультрафиолетовом освещении.

Первичная обработка кернового материала производится в лабораторных условиях и включает в себя очистку, реконструкцию, маркировку, а также гамма-спектрометрию с целью проведения увязки интервалов отбора с результатами геофизических исследований скважин.

На следующем этапе составляется характеристика трещиноватости разреза, основанная на выделении и описании зон различной интенсивности трещин и дробления. Во время описания также оценивается степень раскрытости трещин, процессов выщелачивания и минерализации. Для корректного определения ориентировки поверхности трещин необходимо проводить исследование трещиноватости на нераспиленном (полноразмерном) керне.

В это же время составляется характеристика кавернозности пород (если таковая присутствует). Определяются размеры, соотношение и распределение каверн, их взаимоотношение с трещинами и взаимосвязь с текстурными особенностями пород.

Литологическая типизация пород проводится на основании анализа текстурных и структурно-вещественных характеристик пород.

Оценка структурных и вещественных параметров проводится методами оптической, растровой электронной микроскопии (РЭМ) и рентгено-фазового анализа (РФА).

В оптическом микроскопе изучаются прозрачные петрографические шлифы, изготовленные из образцов пород, выбранных как наиболее представительные для характеристики выделенного по текстурным особенностям генетического типа отложений.

Характеристика пород по шлифам представляет собой описание: 1) структуры, 2) минерального состава, 3) дополнительных включений, 4) пористости, 5) вторичных преобразований.

При описании шлифов дается заключение о предполагаемом минеральном составе, которое должно быть подтверждено дополнительными исследованиями в РЭМ и дифрактометре.

На основании полученной текстурно-структурной характеристики дается полное название породы, отражающее ее генетические особенности, то есть определяется ее литологический тип.

3.1.1.2. Рентгено-фазовый анализ (РФА).

Указанный метод применяется для исследования структуры минералов и анализа фазового состава пород. Некоторые минералы – многие слоистые силикаты, слабо раскристаллизованные гидроокислы, микрокристаллические агрегаты минералов – диагностировать методами оптической микроскопии затруднительно. При этом достаточно надежно такие вещества диагностируются с помощью рентгеновской дифрактометрии.

Основу метода составляет получение отражений от кристаллической решетки вещества. Далее производится вычисление (уточнение) параметров кристаллической решетки – межплоскостных расстояний и углов между атомными плоскостями исследуемого кристаллического вещества. Сравнение полученных результатов с типичными дифрактограммами международной базы данных, позволяет определить структуру кристаллических веществ. При этом возможно применение метода Ритвельда, то есть нахождении степени соответствия между измеренной и теоретической дифрактограммой, вычисленной по модели предполагаемой структуры.

В результате исследований образцов методом рентгеновской дифрактометрии производится определение и уточнение вещественного состава пород.

3.1.1.3. Методы электронной микроскопии.

Помимо рентгеновской дифрактометрии уточнение вещественного состава пород производится и с помощью исследований в растровом электронном микроскопе (РЭМ).

Для получения количественной информации о химическом составе исследуемого вещества используется один из методов микрозондирования, а именно метод рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) и энергодисперсионного анализа (ЭДС). РСМА и ЭДС позволяют выполнять элементный анализ отдельных фаз и характеризовать химический состав исследуемого материала. Определение различий в химическом составе производится на основе анализов спектров, полученных при облучении вещества электронным пучком рентгеновского излучения.

Помимо этого изучение образцов пород в РЭМ позволяет дать более детальную характеристику морфологии пустотного пространства и структуры пород.

Высокая разрешающая способность электронного микроскопа дает возможность охарактеризовать микропустоты и поровые каналы на весьма детальном уровне (в пределах 0,2 мкм).

Вместе с тем исследования в РЭМ позволяют охарактеризовать характер и стадийность вторичного минералообразования путем диагностики кристаллографических форм и элементного состава новообразованных минералов.

С помощью сканирующей электронной микроскопии также возможно определение присутствия глинистого материала, его приблизительное количество, расположение в порах или в виде пленки на поверхности зерен или кристаллов.

3.1.1.4. Литолого-петрофизические исследования.

Для создания комплексной модели пород-коллекторов необходимо составить характеристику их фильтрационно-емкостных свойств.

Основные параметры, которые характеризуют коллекторские свойства пород, это пористость и проницаемость. Данные параметры получают при помощи стандартных петрофизических исследований:

- определение пористости методом насыщения жидкостью;
- определение газопроницаемости на цилиндрическом и кубическом образцах.

Породы-коллекторы овинпармского горизонта обладают рядом особенностей в отношении пустотного пространства. Одной из них является широкое развитие каверн. При этом доля крупных каверн в общем объеме пустотного пространства весьма значительна и стандартные методы определения пористости не позволяют дать корректную характеристику. Поэтому для наиболее адекватной оценки вклада каверновой составляющей использован метод рентгеновской компьютерной томографии, который позволяет получить трехмерную модель исследуемого образца.

Высокоразрешающая рентгеновская томография позволяет без разрушения образца горной породы и без воздействия на него газами и жидкостями получать объемную картину распределения в ней пустот и контрастных минеральных фаз. Этот метод просвечивающей рентгеноскопии основывается на математической обработке интенсивностей рентгеновского излучения, после прохождения его через образец под разными углами и в разных плоскостях.

Образец изучается в три этапа. В первом этапе происходит облучение образца рентгеновскими лучами, что дает возможность наблюдать наиболее контрастные структуры и делать предположения о дальнейшей перспективности изучения. Второй этап - создание виртуальных срезов. В этом случае получается изображение, сходное с пришлифовкой, что особенно важно при изучении образцов горных пород из маломощных и неоднородных зон,

однако имеющих нефтенасыщение. Третий этап – построение трехмерной (3D) реконструкции, или модели, выполняется на основе последовательных виртуальных срезов. Модель может быть построена как для всего объекта, так и для его части, при необходимости изображение можно сделать в различной степени прозрачным и наблюдать строение объекта под различными углами. В дальнейшем, при использовании программного обеспечения, представляется возможным изучать параметры различных по физическим свойствам объектов внутри образца (например, пустоты или составляющие породы с различной пропускной способностью гамма-квантов). После построения модели пустотного пространства трещиноватого образца можно сделать выводы о пропускной способности систем трещин и при учете неоднородностей перенести эти выводы на больший объем породы.

Поскольку формирование пустотного пространства напрямую зависит от условий формирования пород и последующих диагенетических преобразований, то все петрофизические исследования дифференцируются в соответствии с литологической типизацией пород.

В частности для настоящей работы в овинпармском горизонте было выделено два основных типа коллекторов – трещинно-поровый и трещинно-каверновый. Для каждого типа использовались различные комплексы методов.

А именно – для первого типа (трещинно-порового) характеристика ФЕС составлена преимущественно на основании результатов стандартных методов, тогда как для второго типа (трещинно-кавернового) как основной метод исследования использован метод компьютерной томографии.

3.2. Определение морфометрических параметров структуры пустотного пространства и анализ ФЕС пород-коллекторов.

ФЕС пород-коллекторов определяются не только объемом пустотного пространства, но и конфигурацией пустот, степенью их связи в объеме. Для определения таких параметров используется один из распространенных методов – изучение пород в шлифах, приготовленных с использованием окрашенной смолы, так называемый IMAGE-анализ. Метод основан на анализе фотоизображений пород в шлифах, полученных с помощью компьютера. По результатам математической обработки полученных изображений подсчитываются количество, площадь пустот, распределение пустот по размерам. А также определяются возможные производные параметры: средняя хорда, общий периметр пор, абсолютная удельная поверхность пустот, двумерный фактор формы.

Образцы пород, обрабатываемые таким образом, представляют собой торцевые части цилиндров, выпиленных для петрофизических исследований. Выпиленные образцы подвергаются экстракции углеводородов по стандартной методике, и пропитываются окрашенной смолой под вакуумом. Из полученных препаратов изготовляются прозрачные

шлифы, которые исследуются в оптическом микроскопе. Полученные цифровые изображения анализируются с помощью программы KS-300. Для каждого изображения проводится анализ типов пустотного пространства, и дается его количественная оценка.

В результате анализа оцениваются:

- открытая пористость породы;
- количество пор различного размера;
- роль пор данного размера в общем объеме порового пространства;
- параметры формы пор.

Графические изображения полученных данных приводятся в виде гистограмм:

- количества пор различной площади;
- удельных значений площади пор;
- количества пор различного размера;
- удельных значений размеров пор;
- соотношения минимального и максимального размеров пор (ширины и длины);
- значений формфактора пор.

Для каждого образца строились диаграммы соотношения площади и периметра пор.

Гистограммы количества пор различной площади и различного максимального размера (длины) позволяют оценить количественные соотношения пор различного размера в образце. Находится количество пор, размер которых удовлетворяет условию принадлежности к определенному интервалу значений, и делится на общее количество пор в образце.

Гистограмма удельных значений площади пор показывает, какую часть пустотного пространства образца занимают поры данной площади. Находится сумма площадей пор удовлетворяющих условию принадлежности к определенному интервалу значений, и делится на сумму площадей всех пор образца.

Результаты такого анализа обобщаются с результатами петрофизических исследований и дополнительными исследованиями в РЭМ. Таким образом, создается статическая модель пустотного пространства пород-коллекторов, которая в дальнейшем используется в моделировании их ФЕС.

Анализ ФЕС включает в себя построение стандартных петрофизических зависимостей по пористости и проницаемости, которые калибруются и интерпретируются с учетом данных всех вышеперечисленных исследований. На основании полученной интерпретации дается заключение о типе пород-коллекторов и их полезной емкости.

3.3. Циклостратиграфический анализ и корреляция разрезов.

Породы-коллекторы являются составляющей комплекса отложений, которые в свою очередь могут быть подразделены на отдельные единицы, характеризующиеся едиными

условиями осадконакопления. В связи с этим необходимой составляющей процесса выявления закономерностей распространения пород-коллекторов является анализ строения разрезов с точки зрения циклостратиграфии и корреляция выделенных седиментационных единиц – циклитов.

В основе такой работы положены представления о цикличности процессов осадконакопления, определяющейся комплексом факторов: преимущественно интенсивностью и направленностью тектонических движений, изменением объема поступающего в бассейн осадочного материала, вариациями геохимических условий и др.

Выделение основных седиментационных единиц (циклитов) в разрезах происходит на основании обобщения и анализа литологических исследований и данных ГИС.

По совокупности физических свойств, отраженных в записи основных методов ГИС, а также литологических характеристик в разрезах выделяются интервалы пород, соответствующие одному циклу осадконакопления. Поскольку иерархия циклов в диапазоне геологического времени различна, то масштаб такого обобщения определяется возможностью проследить изменчивость выделенных интервалов на исследуемой площади, то есть провести корреляцию разрезов.

В работе за элементарный циклит овинпармского горизонта принят комплекс пород, соответствующий циклу формирования биогермных карбонатных отложений в шельфовых относительно мелководных условиях. Полный цикл рассматривается как постепенный переход от глинистых пород к относительно чистым биогермным породам. Такой состав циклита хорошо диагностируется на диаграммах ГК с явно выраженным уменьшением уровня радиоактивности выше по разрезу.

3.4. Седиментологический анализ и установление литолого-фациальной зональности.

В результате седиментологического анализа осуществляется реконструкция условий осадконакопления. Седиментологическая интерпретация производится в границах циклита на основании полученной литологической характеристики, в которой отображены изменения физических свойств пород, обусловленные особенностями их генезиса.

Результатом интерпретации является выделение комплексов пород, соответствующих определенным фациям. На основании корреляции производится прогноз распространения фаций на исследуемой территории, и выделяются литолого-фациальные зоны в пределах бассейна осадконакопления.

3.5. Выявление закономерностей распределения, прогноз зон распространения и свойств пород-коллекторов в разрезе и по площади

Выделенные литолого-фациальные зоны характеризуются разными типами пород-коллекторов. Поэтому карты изменчивости коллекторских свойств отложений составляются на основе полученных схем литолого-фациальной зональности с привлечением интерпретации геофизических данных – карт изменчивости толщин отложений и коэффициента пористости пород.

Толщины отложений являются достаточно важным источником информации для карбонатных разрезов с преобладанием биогенного осадконакопления, а изменчивость пористости в то же время определяется влиянием региональных и локальных перерывов в осадконакоплении.

Поэтому наложение вышеперечисленных схем и карт с одновременной их коррекцией позволяет спрогнозировать зоны распространения и качество пород-коллекторов в изучаемых отложениях.

4. Литологическая и петрофизическая характеристика пород нижнедевонских отложений.

4.1. Литологическая характеристика пород.

В изученных разрезах овинпармского горизонта преобладают вторичные доломиты, сформировавшиеся в результате замещения биогермных и обломочных известняков.

Выделено 5 основных литотипов:

- доломиты по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам;
- доломиты по биогермным водорослевым известнякам;
- доломиты по ламинитам;
- доломиты тонкозернистые и глинистые;
- известняки узловато-слоистые.

Помимо перечисленных пород в разрезах встречаются прослои и пачки малой толщины (до 2 м), сложенные аргиллитами.

Литотип 1. Доломиты по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам (Рисунок 4.1-Рисунок 4.4)

Цвет: серый и серовато-коричневый

Текстура: неоднородная, биогермная

Структура: тонко-мелкозернистая и грубозернистая.

Породы сложены кристаллическим доломитом, размер кристаллов которого изменяется от 0,01-0,10 мм (участки замещения кальцитового вещества в межкаркасном пространстве) до 0,15-0,5 мм (участки замещения остатков строматопор и немногочисленного органогенного детрита – раковин остракод, гастропод, обломков криноидей).

Структура пород неоднородная, связана с неравномерной зернистостью вторичных кристаллов доломита, замещающих первоначально разные по структуре участки пород. Отмечаются элементы водорослевого каркаса.

Вторичные процессы. Характерно интенсивное проявление процессов трещинообразования и выщелачивания. Трещины иногда частично или полностью минерализованы, шириной 0,01-0,25 мм. Стилолитизация – в виде немногочисленных волнистых швов с глинистым заполнением.

Пустотное пространство. Породы низко, среднепористые (до 10%), трещинно-кавернозные, редко плотные. Поры (0,05-0,8 мм) межкристаллические, каверны (0,15-25 мм) – приурочены к трещинам. Распределение пустотного пространства крайне неравномерное.

Примечание. Нефтенасыщение от слабого до среднего – неравномерное пятнистое, по трещинам и кавернам.

Рисунок 4.1 – Трещинно-кавернозный доломит по биогермному водорослево-строматопоровому известняку. Глубина отбора 3678,85 м

Рисунок 4.2 – Каверны выщелачивания в водорослево-строматопоровом каркасе. Глубина отбора 3678,85 м. Без анализатора

Рисунок 4.3 – Желваковая биогермная текстура доломита по водоролево-строматопоровому баундстоуну. Глубина отбора 3774,25 м

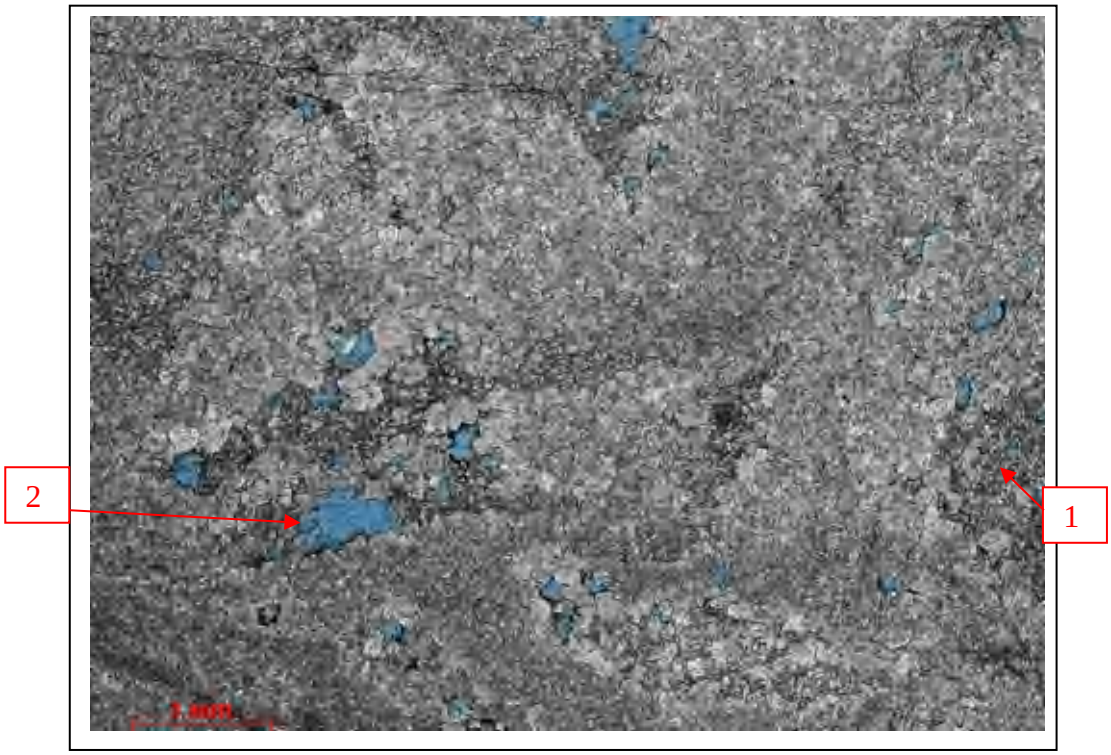


Рисунок 4.4 – Реликтовая биогермная микротекстура в доломите. Унаследованные поры в реликтах строматопорового желвака (1). Каверны выщелачивания (2). Глубина отбора 3774,25 м. Без анализатора

Рисунок 4.5 – Брекчиевидная текстура доломита по биогермному водорослево-строматопоровому известняку. Глубина отбора 3679,85 м

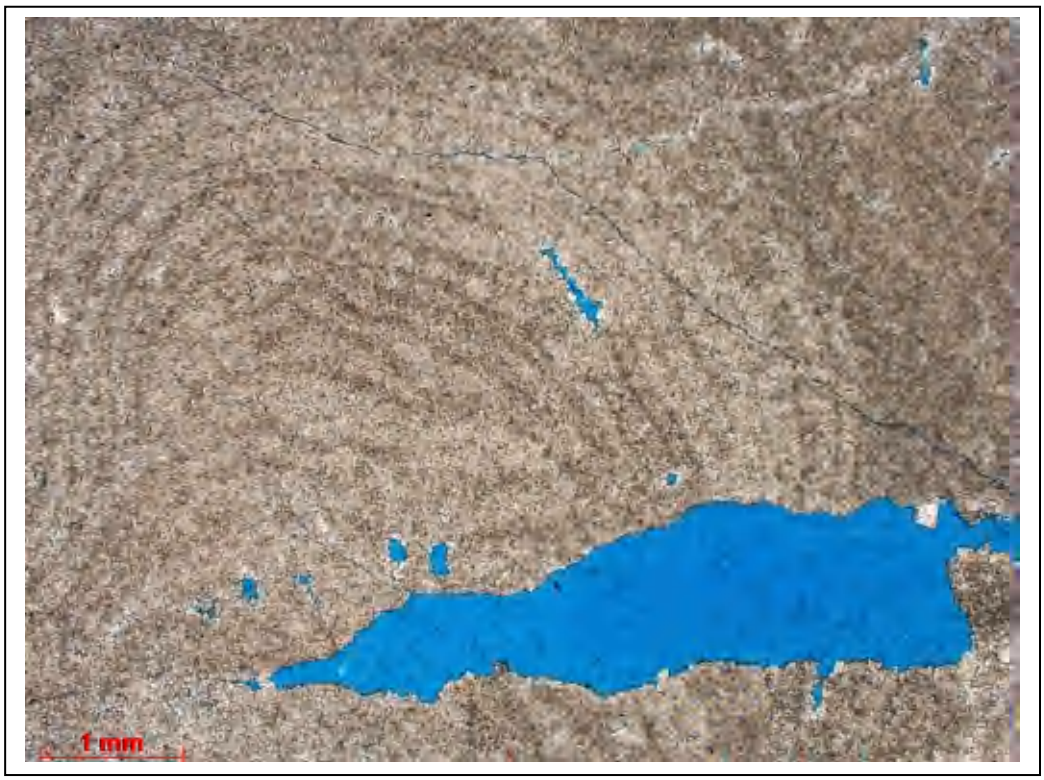


Рисунок 4.6– Реликтовая структура строматопоровой колонии в доломите. Единичные поры. Крупная каверна. Глубина отбора 3679,85 м. Без анализатора

Литотип 2. Доломиты по биогермным водорослевым известнякам (Рисунок 4.7-Рисунок 4.10)

Цвет: серый, светло-серый и серовато-коричневый.

Текстура: неоднородная, узорчатая.

Структура: от тонко-мелкозернистой до грубозернистой.

Породы сложены кристаллическим доломитом от тонко до мелкозернистого (0,01-0,25 мм), реже – средне- и грубозернистого (0,25-1,50 мм) в участках заполнения межкаркасных пустот и каверн. Встречаются немногочисленные перекристаллизованные органогенные остатки (до 3мм), глинистая и алевритовая примесь (до 5%), представленная единичными обломками кварца алевритовой размерности.

Вторичные процессы. Перекристаллизация редких органогенных остатков и окремнение в виде заполнения единичных каверн тонкозернистым кремнистым веществом. Присутствуют многочисленные стилолитовые швы с глинистым заполнением. Развита трещиноватость – минерализованные и раскрытые трещины, шириной 0,01-0,35 мм.

Пустотное пространство. Породы плотные и низкопористые (до 5-7%) с межкристаллическим типом пор.

Примечание. Редко в породах отмечается нефтенасыщение от слабого до среднего.

Литотип 3. Доломиты по ламинитам (Рисунок 4.11-Рисунок 4.14)

Цвет: серый, светло-серый, коричневато-серый.

Текстура: тонкослоистая – ламинитовая.

Микротекстура: слоистая (чередование микро и тонкозернистых прослоев).

Структура: неоднородная, микро-тонкозернистая до мелкозернистой.

Породы сложены кристаллами доломитов размером 0,01-0,20 мм, плотно прилегающими друг к другу. Отмечаются единичные перекристаллизованные органогенные остатки (0,201,5 мм).

В породах присутствует терригенная примесь алевритовой размерности (1-3% до 15%), представлена обломками кварца и полевых шпатов полуокатанной формы (0,01-0,08 мм). Глинистая примесь составляет 5- 7%.

Вторичные процессы. Отмечается пиритизация (до 3%) в виде тонкодисперсных включений и скоплений, размером 0,02-0,35 мм. Присутствуют немногочисленные волнистые стилолитовые швы.

Пустотное пространство. Породы преимущественно плотные. Отмечаются единичные межкристаллические поры.

Примечание. Нефтенасыщение не отмечается.

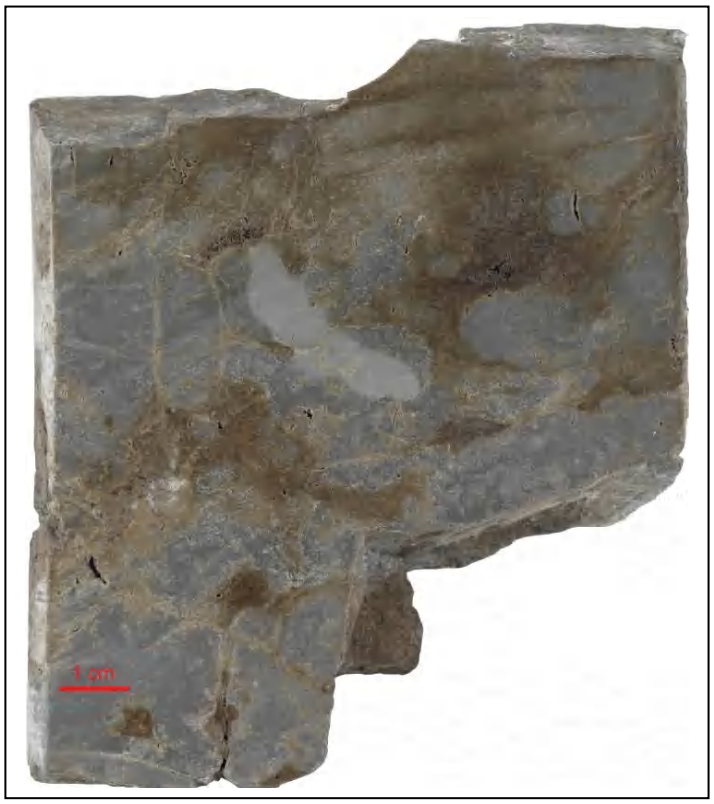


Рисунок 4.7 – Неоднородная текстура, неравномерное нефтенасыщение в доломите по биогермному водорослевому известняку. Глубина отбора 3883,40 м

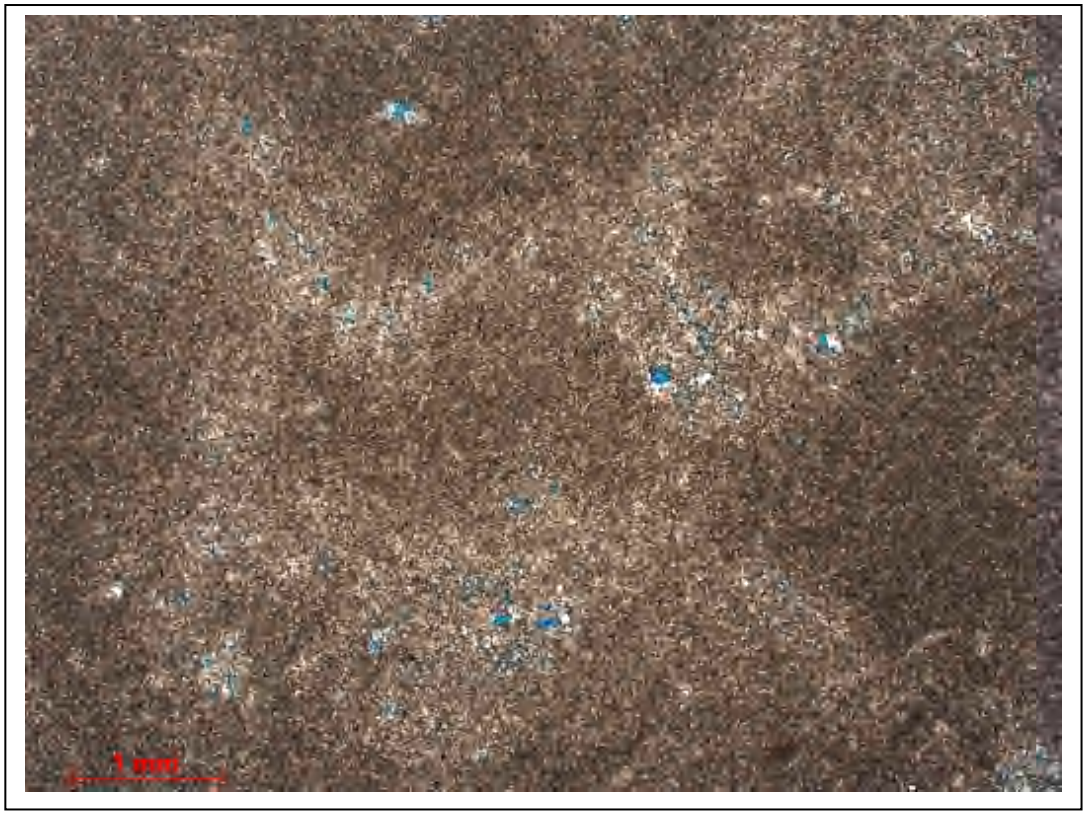


Рисунок 4.8 – Немногочисленные межкристаллические поры в доломите по биогермному известняку. Глубина отбора 3883,40 м. Без анализатора

Рисунок 4.9 – Узорчатая текстура доломита по биогермному водорослевому известняку. Глубина отбора 3966,73 м.

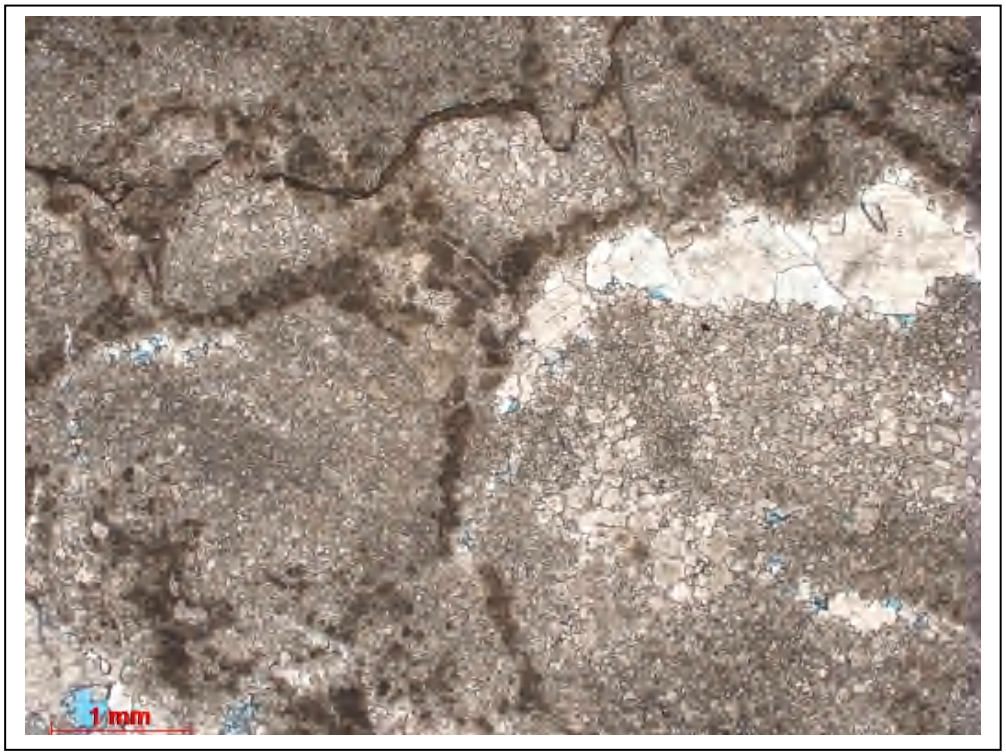


Рисунок 4.10 – Реликтовая водорослевая структура, стилолитовый шов в доломите по биогермному известняку. Глубина отбора 3966,73 м. Без анализатора

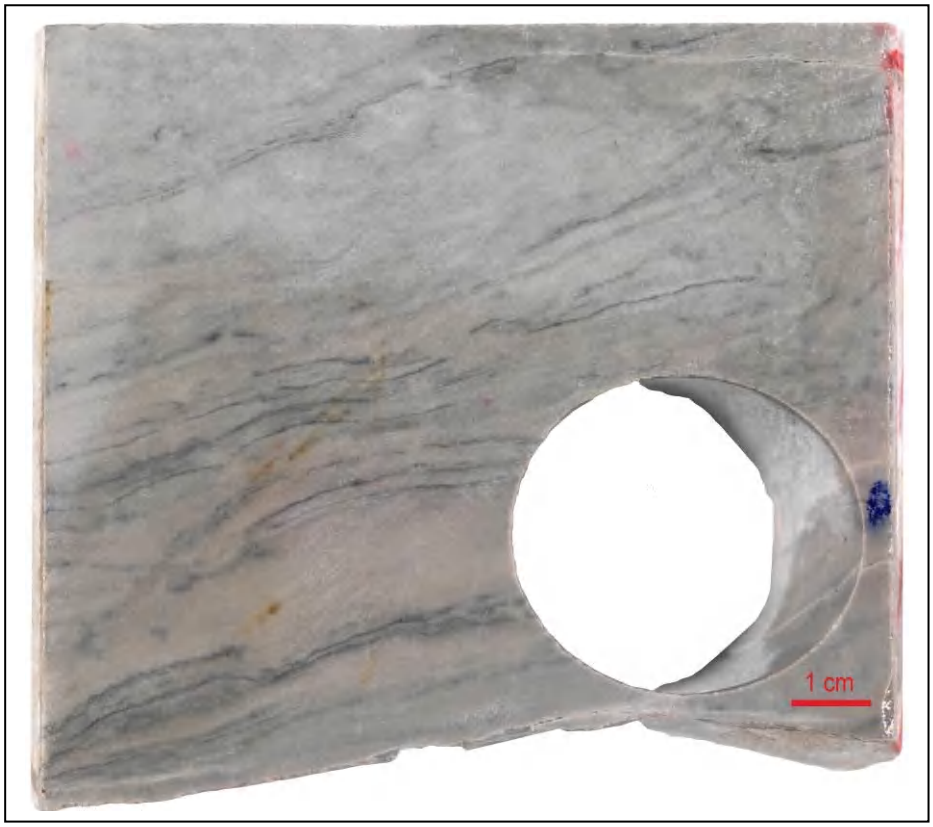


Рисунок 4.11 – Доломит по ламиниту. Глубина отбора 3991,7 м

Рисунок 4.12 – Реликтовая водорослевая неоднородность во вторичном доломите по ламиниту. Глубина отбора 3991,7 м. Без анализатора

Рисунок 4.13 – Ламинитовая текстура доломита. Скв. 301. Глубина отбора 3688,3 м

Рисунок 4.14 – Частично сохранившаяся комковатая водорослевая структура в доломите по ламиниту. Скв . 301. Глубина отбора 3688,30 м. Без анализатора

Литотип 4. Доломиты тонкозернистые и глинистые (Рисунок 4.15-Рисунок 4.18)

Цвет пород: преимущественно серый.

Текстура: неоднородная, неясно слоистая, пятнистая.

Структура: мелко-тонкозернистая равномернозернистая, реже крупно-среднезернистая (более поздняя стадия) неравномернозернистая, реликтовая органогенно-детритовая.

Породы сложены кристаллическим доломитом с примесью глинистого вещества (до 15%), равномерно распределенного в породе. Кристаллы плотно прилегают друг к другу. Редко видны реликты органогенных остатков (до 15%) и фосфатные остатки в виде прожилков (до 0,35 мм) и зерен неправильной формы.

В основной массе присутствует терригенная примесь (до 3-4%) алевритовой размерности, которая представлена кварцем полуокатанной формы, послойно распределенной в породе. Выделяются отдельные прослои, линзы с количеством кварцевых зерен до 5-7%. Отмечаются прожилки ОВ, подчеркивающие микрослоистую текстуру породы.

Среди вторичных процессов следует отметить

- перекристаллизацию, сопровождающуюся укрупнением доломитовых кристаллов (до 0,15 мм),

- кальцитизацию, проявившуюся в минерализации трещин и внутренних полостей органогенных остатков и тонкую трещиноватость (до 1%),

- пиритизацию: повсеместно в доломитовой массе рассеяны мелкодисперсные стяжения сульфидов железа и единичные линзы и стяжения пирита.

Пустотное пространство. Породы плотные.

Примечание. Нефтенасыщение не отмечается.

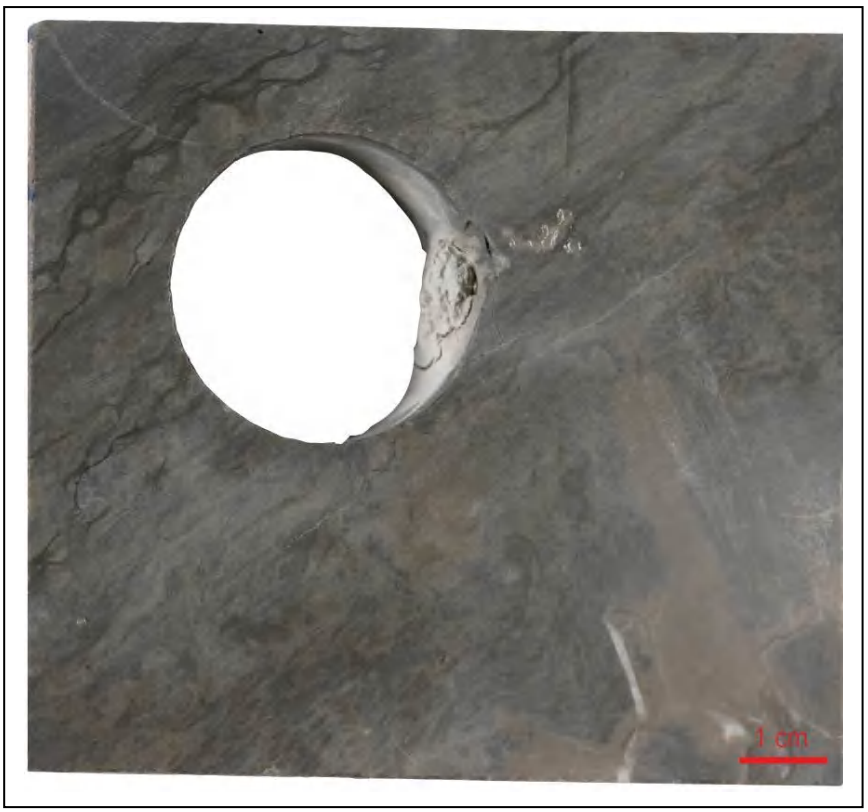


Рисунок 4.15 – Неоднородная текстура в доломите тонкозернистом. Глубина отбора 3911,88 м

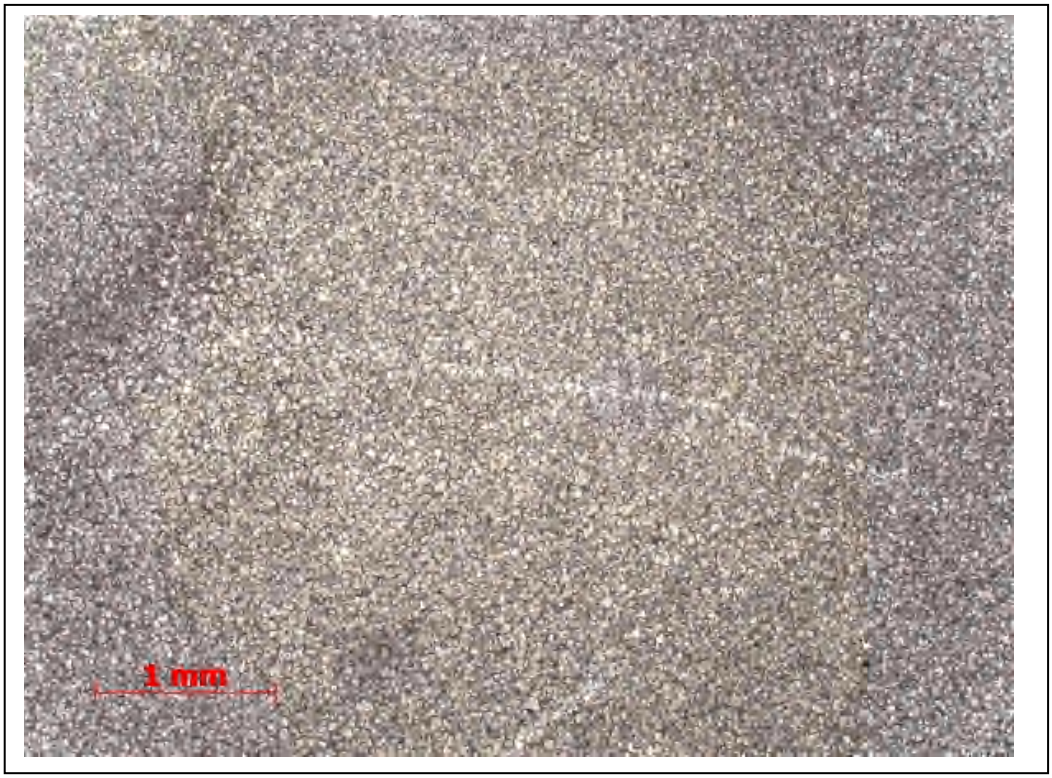


Рисунок 4.16 – Тонкозернистая доломитовая масса с глинистой примесью. Глубина отбора 3911,88 м. Без анализатора

Рисунок 4.17 – Неоднородная текстура тонкозернистого доломита. Залеченные трещины. Скв. 401. Глубина отбора 3715,4 м

Рисунок 4.18 – Включения пирита в тонкозернистой доломитовой массе.Скв . 401. Глубина отбора 3715,4 м. Без анализатора

Литотип 5. Известняки и доломиты узловато-слоистые (Рисунок 4.19-Рисунок 4.20)

Цвет пород: серый, коричневато-темно-серый

Текстура: узловато-слоистая, узловатая, пятнистая, слоистая текстурой и узловатой, стилолитовой микротекстурой.

Структура: светлоокрашенных частей породы – микрозернистая, сгустковая, органогенно-детритовая, шламовая; темноокрашенных частей – мелко-тонкокристаллическая (доминирует), органогенно-детритовая.

Породы представляют собой чередование участков, сложенных микрозернистым кальцитом и интенсивно доломитизированных участков с реликтами микрозернистого известняка. Присутствует глинистая примесь 5-15%.

В породах также присутствует органогенный детрит в количестве 25-45%.

Органогенный детрит представлен пелециподами, остракодами, брахиоподами, гастроподами, иглокожими, зелеными водорослями.

Практически повсеместно присутствует терригенная примесь в виде кварцевых зерен алевритовой размерности (0,01-0,03 мм) – до 2%.

Вторичные процессы.

Доломитизация – изометричные и ромбовидные кристаллы доломита (0,03-0,05 мм) слагают отдельные участки в породах и часто рассеяны в известковой массе.

Количество доломита изменяется от 10-15% до 45%.

Кальцитизация – тонко-мелкозернистые кристаллы кальцита инкрустируют полости и замещают органогенные формы.

Пиритизация - в виде рассеянных частиц, глобулей (0,01-0,05 мм), иногда образующих скопления неправильной формы размером 0,10-2 мм, иногда сульфиды железа подчеркивают контуры органогенных остатков.

Количество достигает 2-5%.

Трещиноватость – трещины, шириной 0,02-0,3 мм, раскрытые и кальцитизированные.

Стилолитизация – практически повсеместно в породах волнистые и зубчатые стилолиты с глинистым заполнением.

Пустотное пространство: породы преимущественно плотные, встречаются единичные межкристаллические пустоты в участках доломитизации.

Примечание: отмечается слабое нефтенасыщение в единичных случаях.

Рисунок 4.19 – Узловато-слоистая текстура известняка. Глубина отбора 3950,2 м

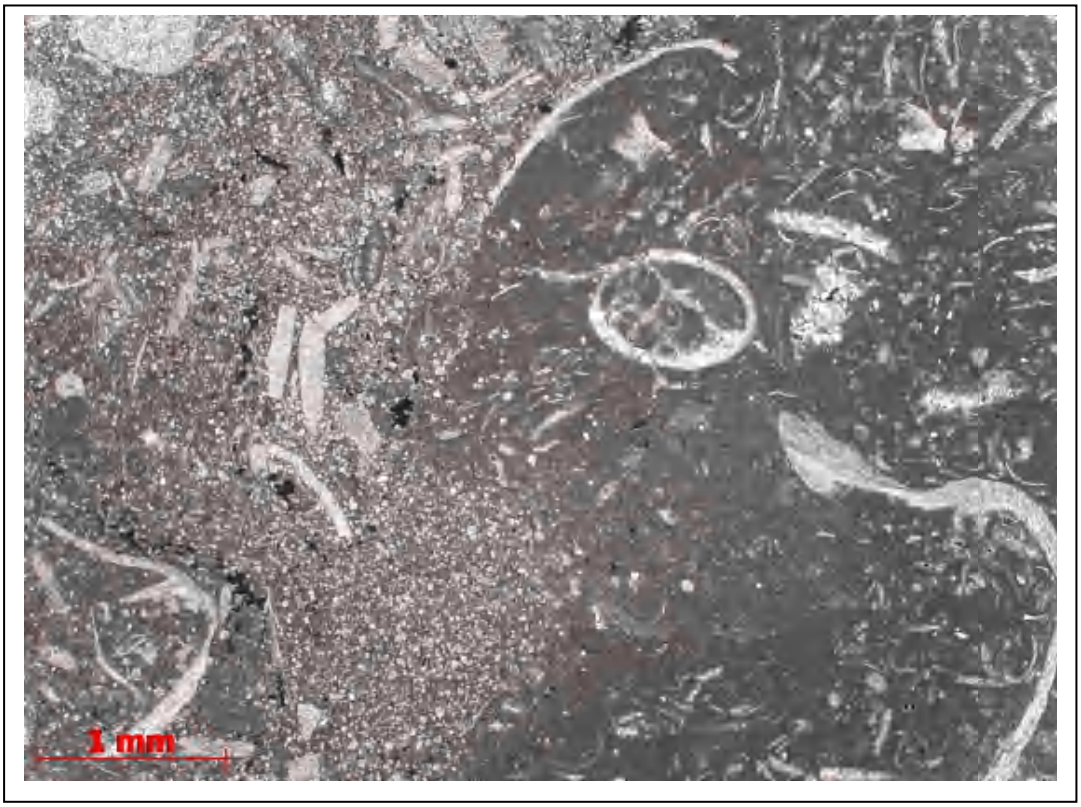


Рисунок 4.20 – Контакт сгусткового узла и доломитизированной массы. Многочисленный органогенный детрит. Глубина отбора 3950,15 м. Без анализатора

4.2. Результаты РФА.

Для подтверждения минералогического состава был проведен РФА трех образцов пород овинпармского горизонта двух площадей – Колвинское и месторождение им. Р. Требса. Два образца представляют собой доломиты, один из образцов представлен анкеритом с небольшой примесью магнезиального кальцита (Рисунок 4.21-Рисунок 4.26). Вероятно, температура в процессе катагенетического преобразования отложений на этой площади достигала порядка 60^0, что привело к возможности обогащения кристаллов доломита ионами железа.

Таблица 4.1 – Результаты РФА образца с гл. 3966,90 м (Колвинская площадь)

Название фазы	Формула	Показатель качества измерений	Номер карточки в каталоге	Количество, %
Доломит (Dolomite)	Ca Mg (CO3)2	0,330	01-083-1530	100

Таблица 4.2 – Результаты РФА образца с гл. 3986,23 м (Пощадь им. Р Требса)

Название фазы	Формула	Показатель качества измерений	Номер карточки в каталоге	Количество, %
Доломит (Dolomite)	Ca Mg (CO3)2	0,479	01-083-1530	100

Таблица 4.3 – Результаты РФА образца с гл. 3994,70 м (Пощадь им. Р Требса)

Название фазы	Формула	Показатель качества измерений	Номер карточки в каталоге	Количество, %
Кальцит (Calcite, magnesium)	(Mg0.06 Ca0.94) (CO3)	1,035	01-089-1305	4,5
Анкерит (Ankerite)	Ca (Fe +2 , Mg) (CO3)2	0,655	00-041-0586	95,5

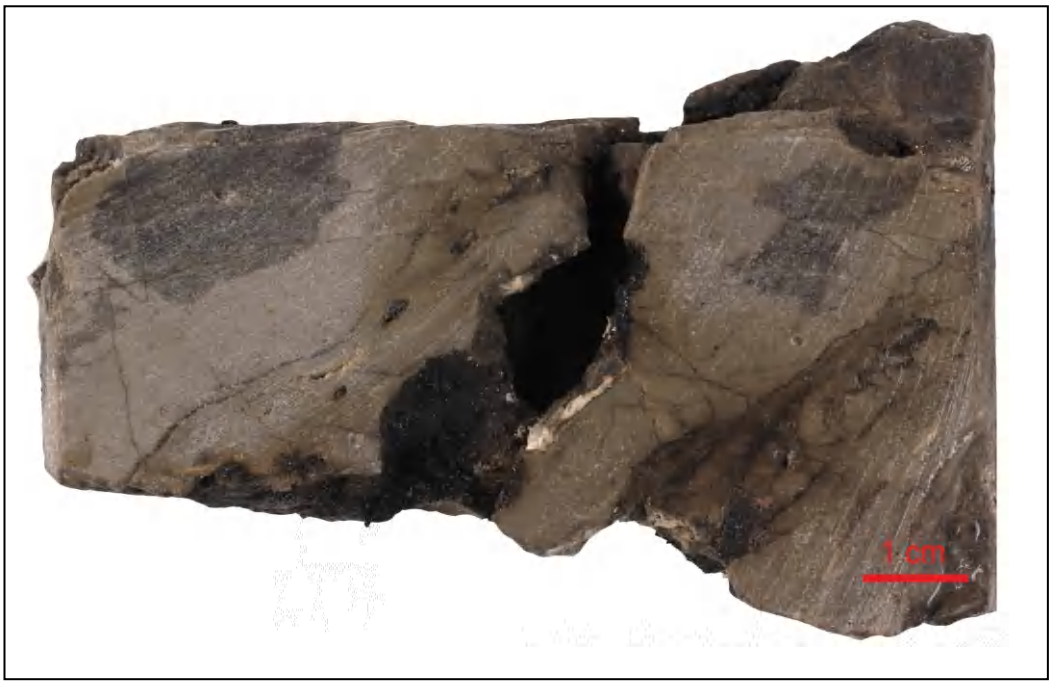


Рисунок 4.21 – Кавернозный нефтенасыщенный доломит. Площадь Колвинская. Глубина отбора 3966,90 м. Фото образца

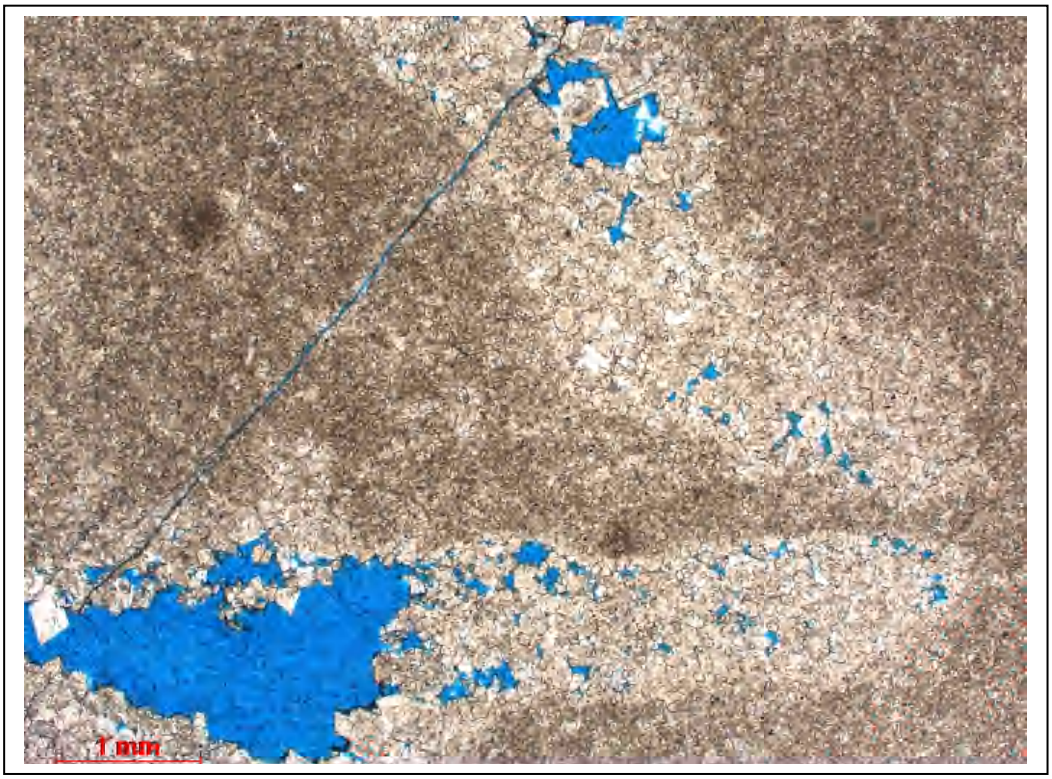


Рисунок 4.22 – Доломит по биогермному водрослево-строматопорвому известняку. Площадь Колвинская. Глубина отбора 3966,90 м. Без анализатора

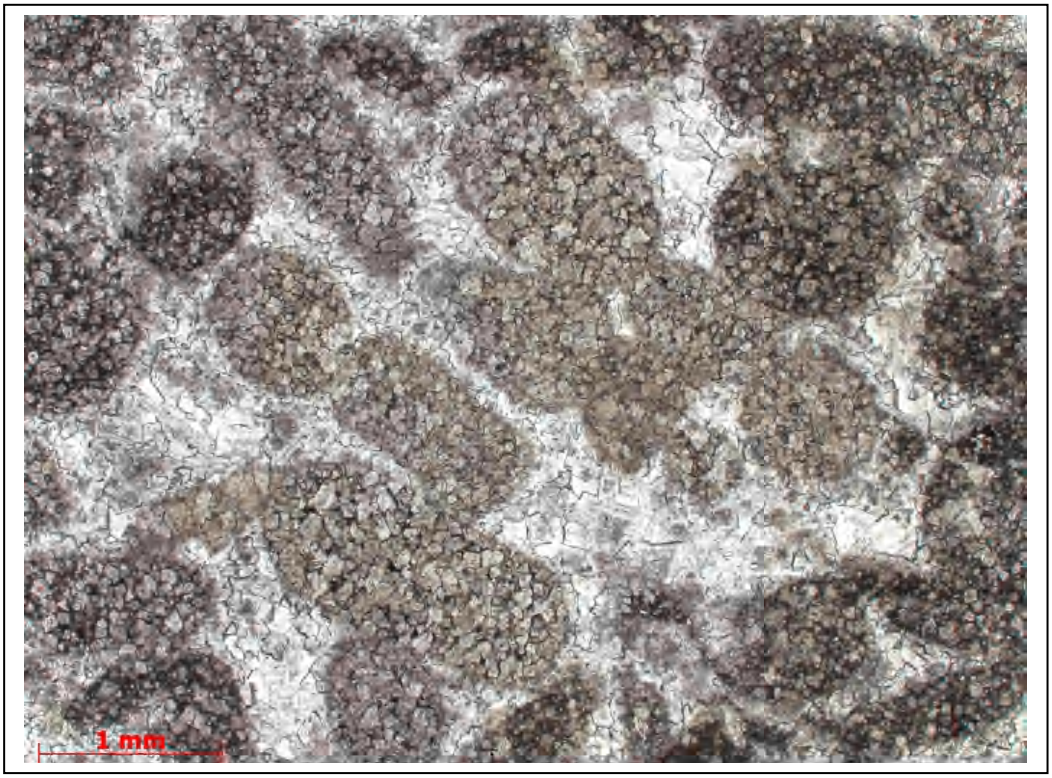


Рисунок 4.23 – Замещение разными по размеру кристаллами доломита органогенных обломков (мелкие кристаллы) и цементирующей массы. Пощадь им. Р Требса. Глубина отбора 3986,23 м. Без анализатора

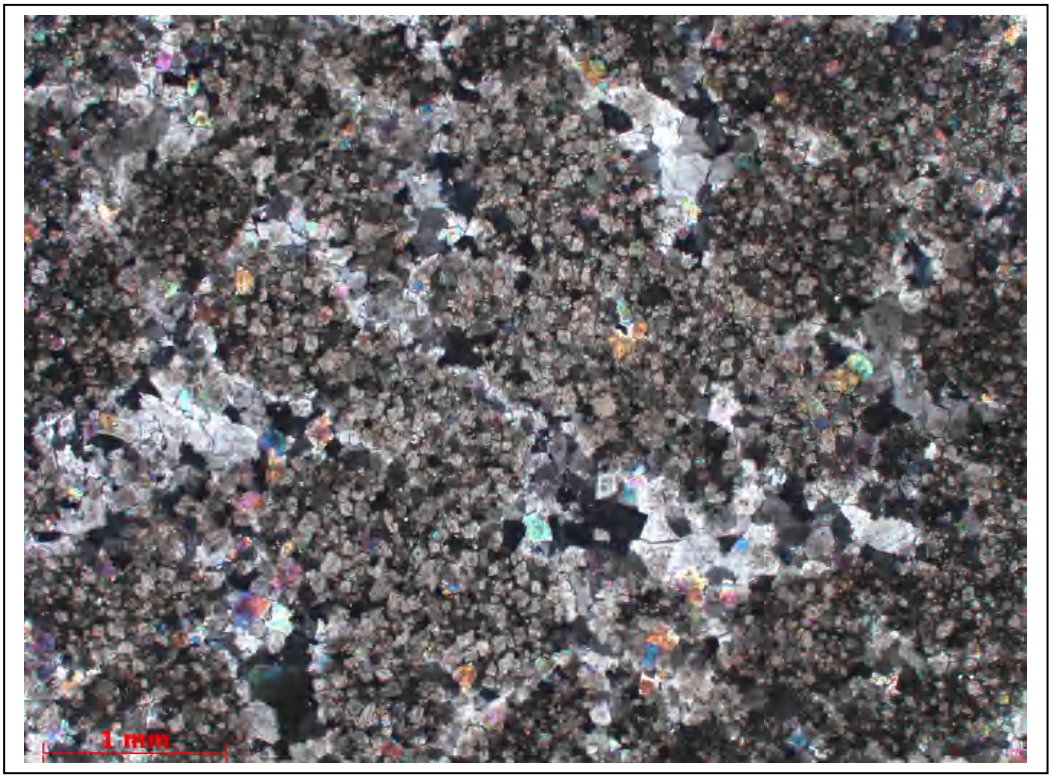


Рисунок 4.24 – Тонко-мелкозернистый доломит. Пощадь им. Р Требса. Глубина отбора 3986,23 м. С анализатором

Рисунок 4.25 – Крупные зерна анкерита зонального строения. Пощадь им. Р Требса. Глубина отбора 3994,70 м. Без анализатора

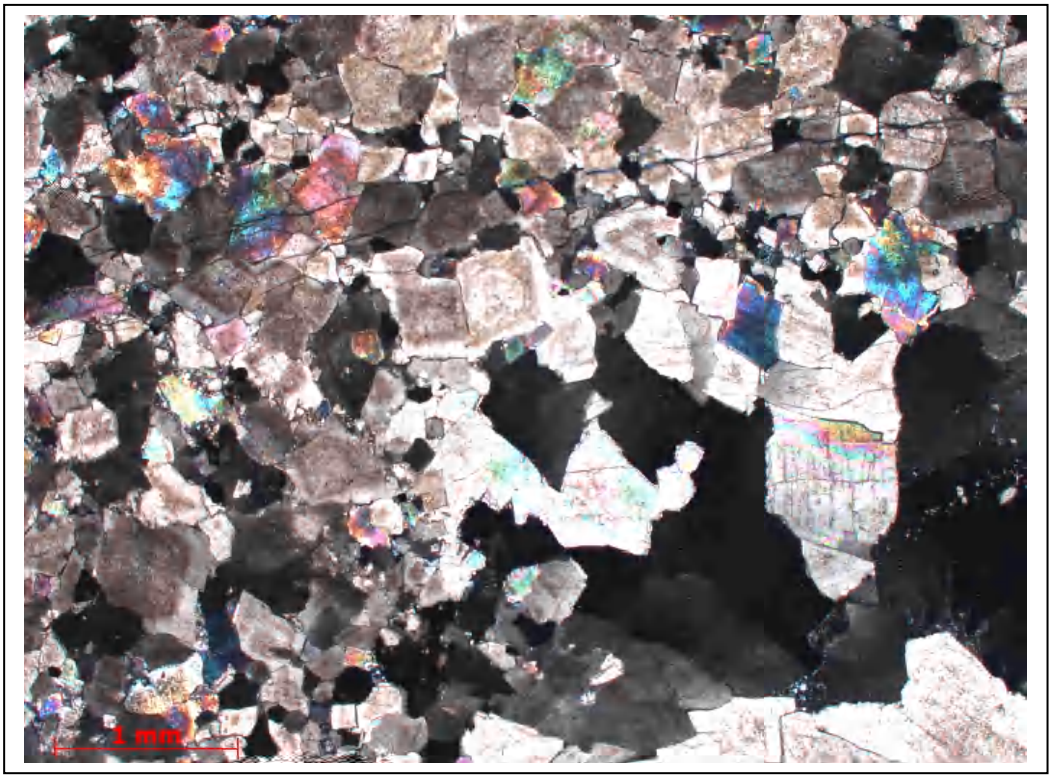


Рисунок 4.26 – Неравномерное облачное погасание кристаллов анкерита. Пощадь им. Р Требса. Глубина отбора 3994,70 м. С анализатором

4.3. Результаты исследований пород в РЭМ.

Всего изучено 14 образцов, представленных трещинно-поровым типом коллекторов в породах площади им. Р. Требса. (Рисунок 4.27-Рисунок 4.28).

По результатам исследований выявлено, что в породах преобладает межкристаллическая пористость. В подчиненном количестве встречаются пустоты выщелачивания. Помимо изолированных единичных пор выявлены системы сообщающихся пустот. Размер пор от 1 до 300 мкм. Конфигурация пор изометричная и щелевидная.

По результатам ЭДС анализа элементный состав минералов соответствует доломиту с незначительным содержанием железа. Для кристаллов доломита характерны идиоморфные очертания и относительно крупные размеры – 50-300 мкм. На поверхности кристаллов отмечается минерализация микрокристаллическим кальцитом.

Рисунок 4.27 – Доломит пористый с мелкими кавернами. Глубина отбора 4043,40 м

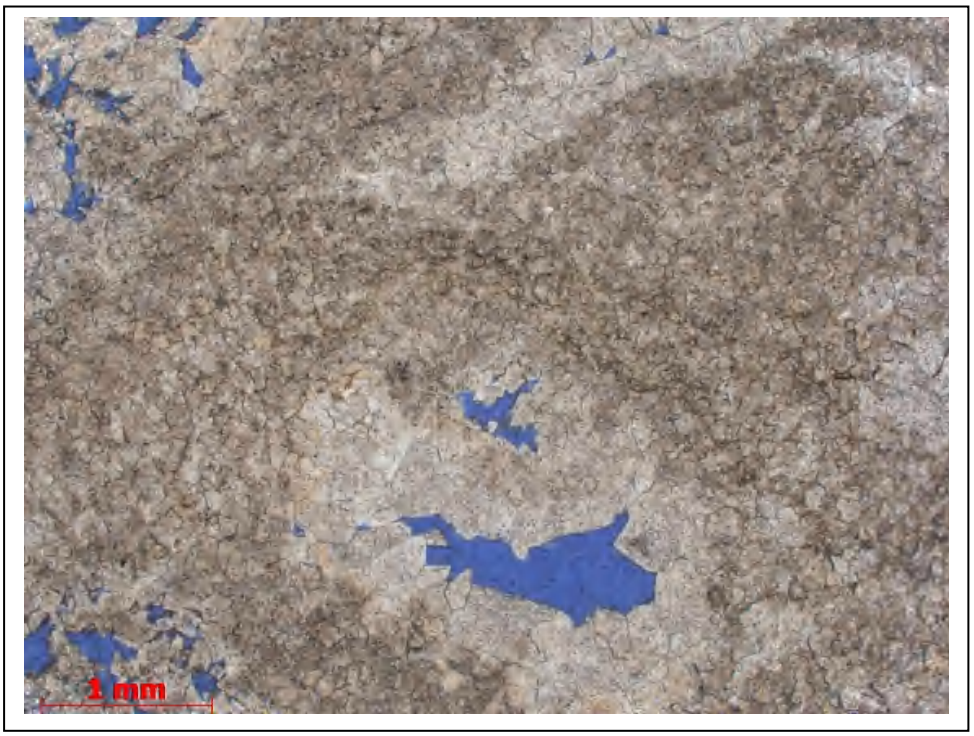


Рисунок 4.28 – Каверны и межкристаллические пустоты в кристаллической массе. Без анализатора. Глубина отбора 4043,40 м.

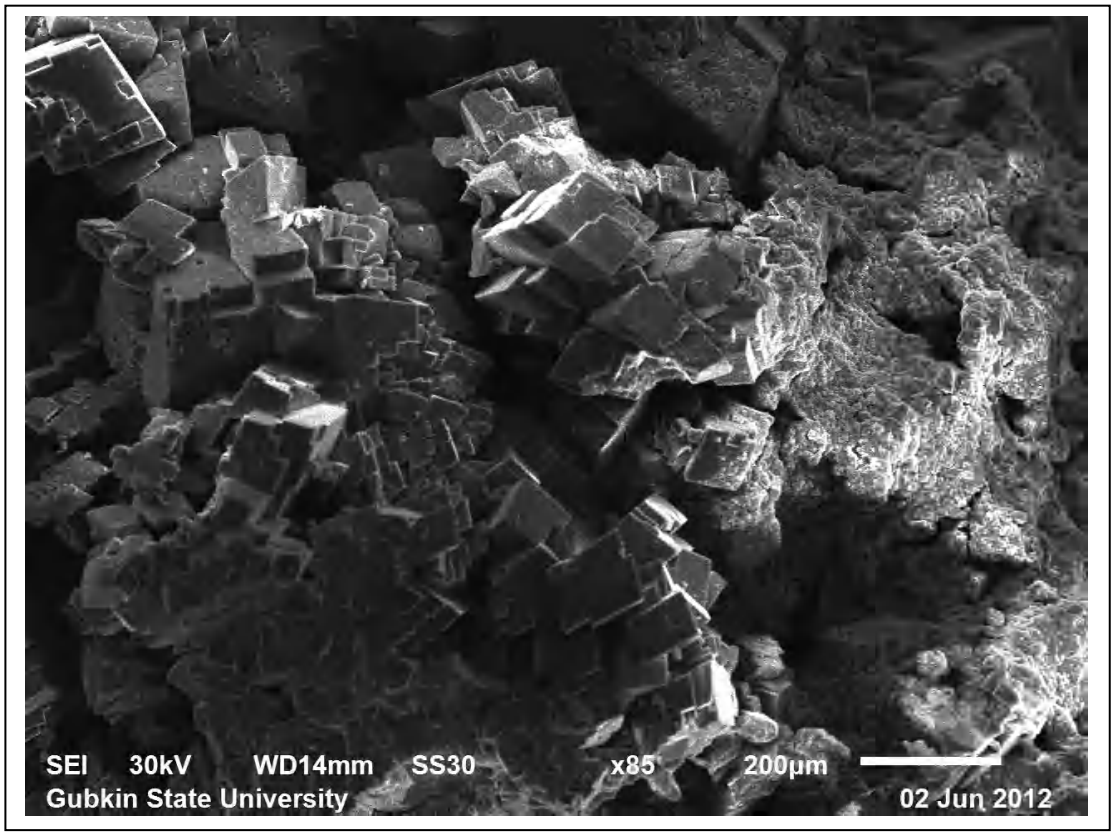


Рисунок 4.29 – Межкристаллическая пористость в доломите.
Глубина отбора 4043,40 м

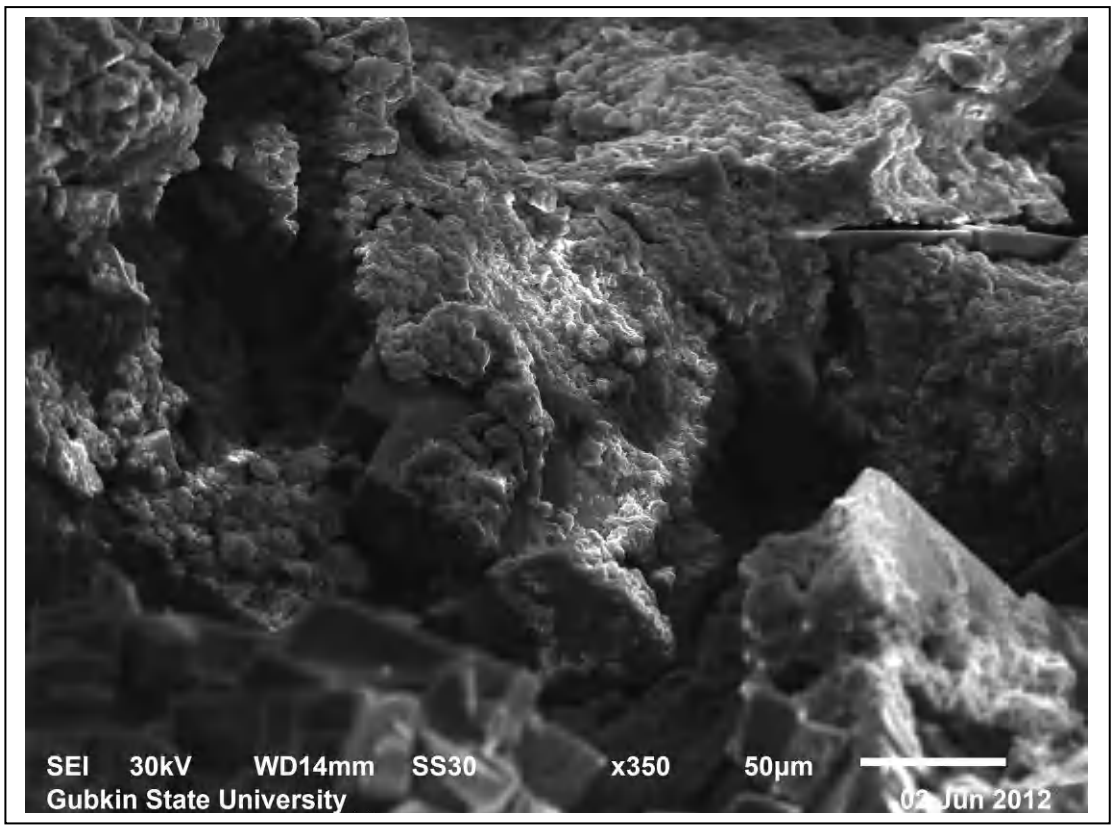


Рисунок 4.30 – Аутигенные кристаллы кальцита на поверхности кристаллов доломита.
Глубина отбора 4043,40 м

Рисунок 4.31– Доломит пористый. Глубина отбора 4043,90 м

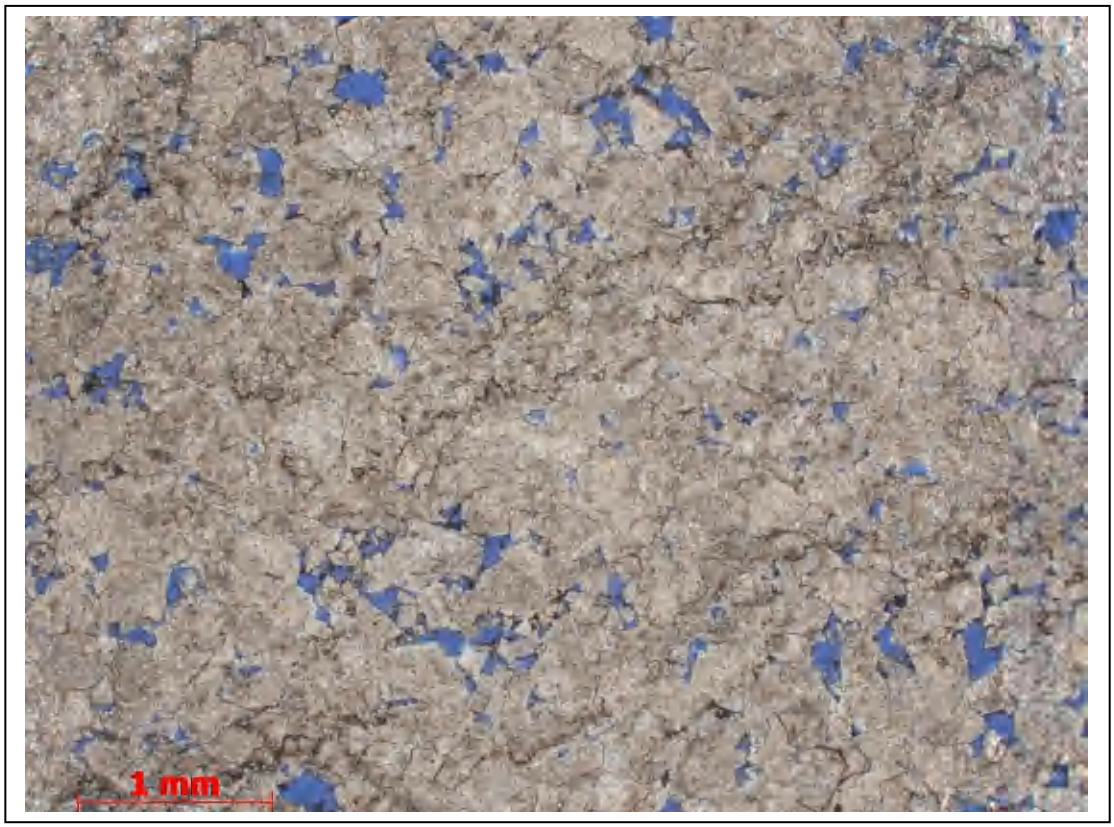


Рисунок 4.32 – Межкристаллическая пустотность в пористом доломите. Без анализатора. Глубина отбора 4043,90 м

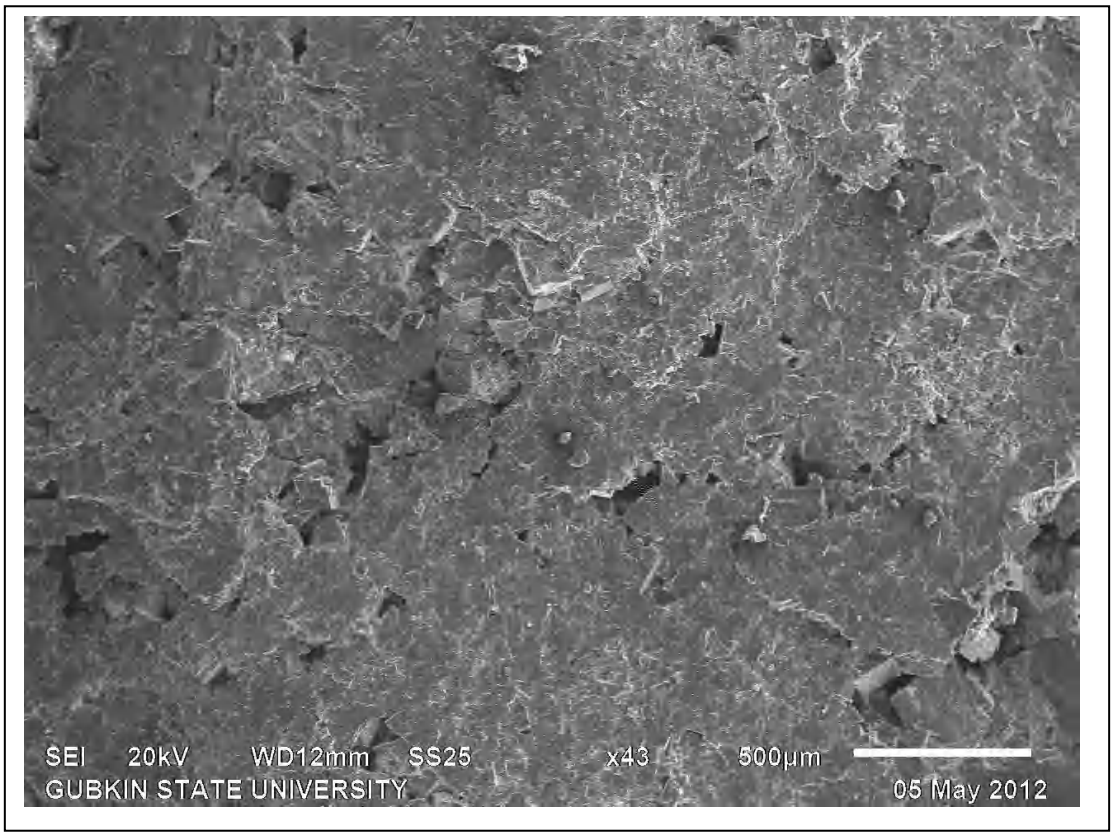


Рисунок 4.33 – Межкристаллическая пористость в доломите. Глубина отбора 4043,90 м

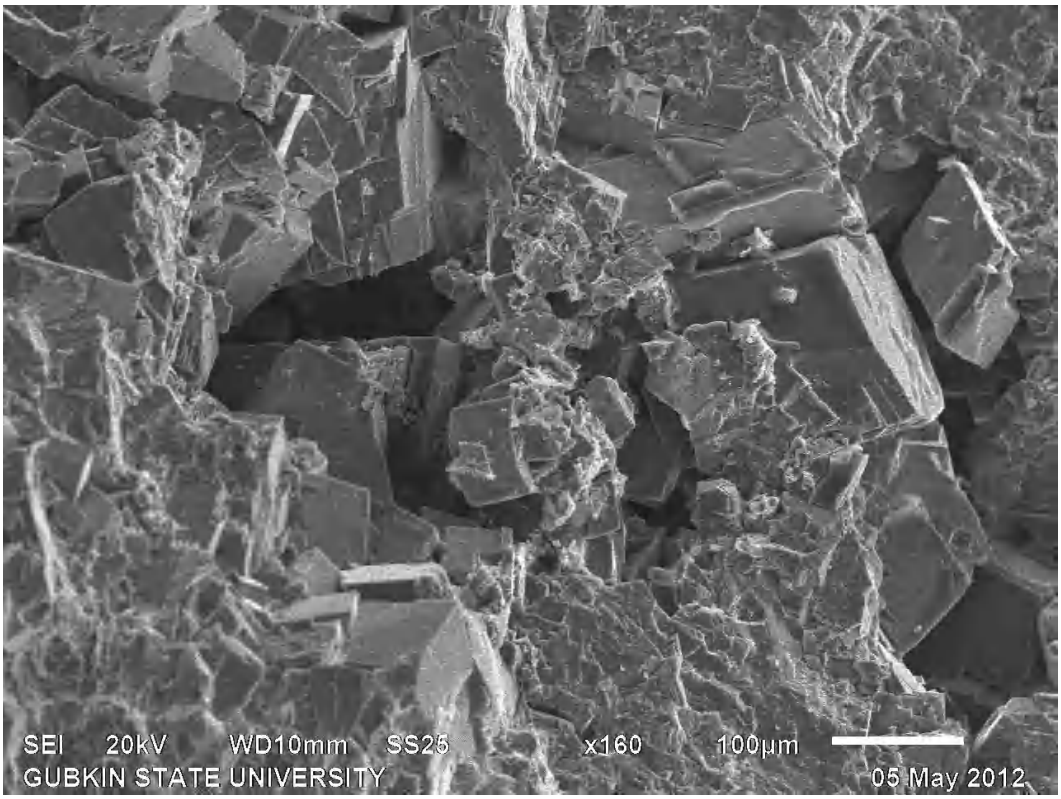


Рисунок 4.34 – Отдельные межкристаллические поры в доломите.
Глубина отбора 4043,90 м

Рисунок 4.35 – Доломит пористый. Глубина отбора 4042,15 м

Рисунок 4.36 – Межкристаллические поры и пустоты выщелачивания в доломите. Без анализатора. Глубина отбора 4042,15 м.

Рисунок 4.37 – Точка анализа 1 на поверхности породы. Глубина отбора 4042,15 м

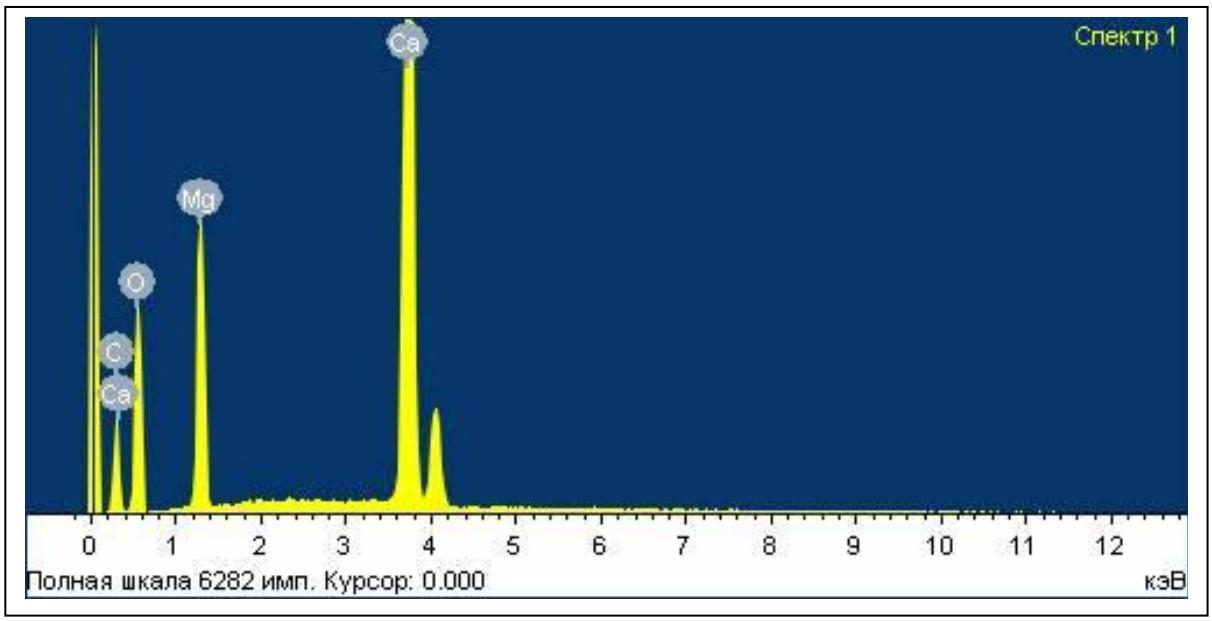


Рисунок 4.38 – Спектр в точке анализа 1. Доломит. Глубина отбора 4042,15 м.

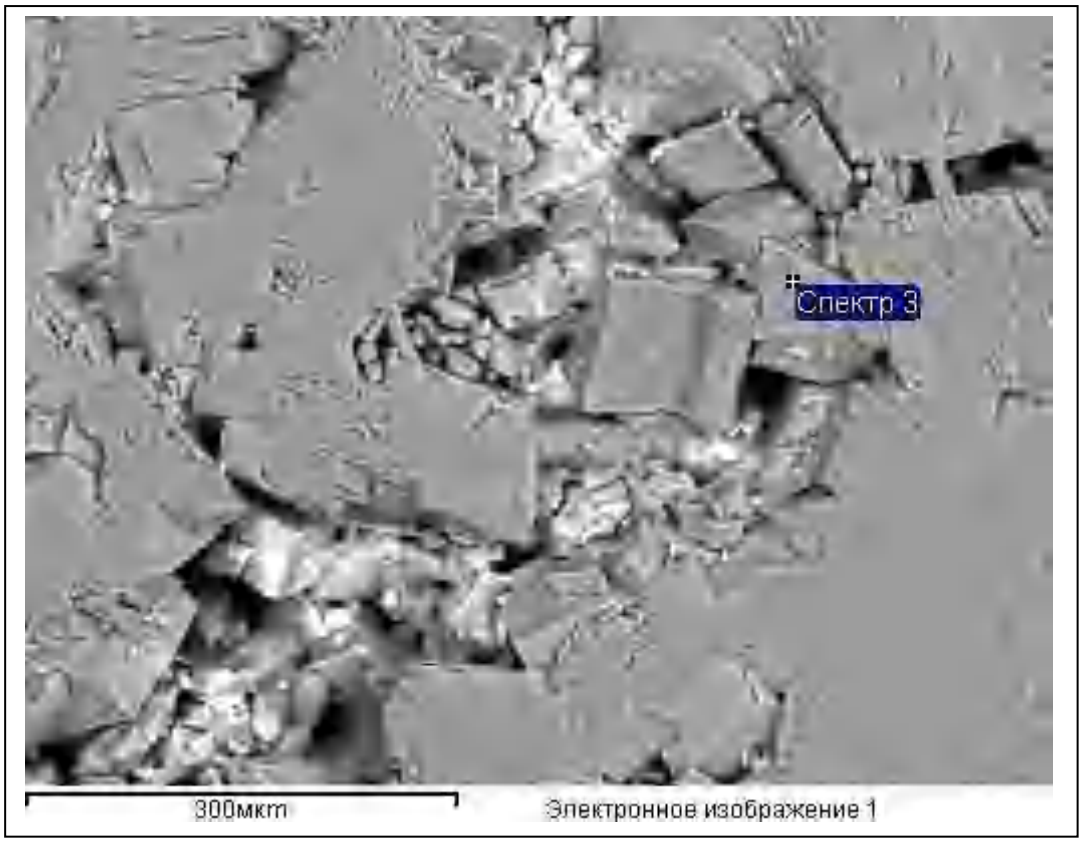


Рисунок 4.39 – Точка анализа 3 на поверхности породы. Глубина отбора 4042,15 м

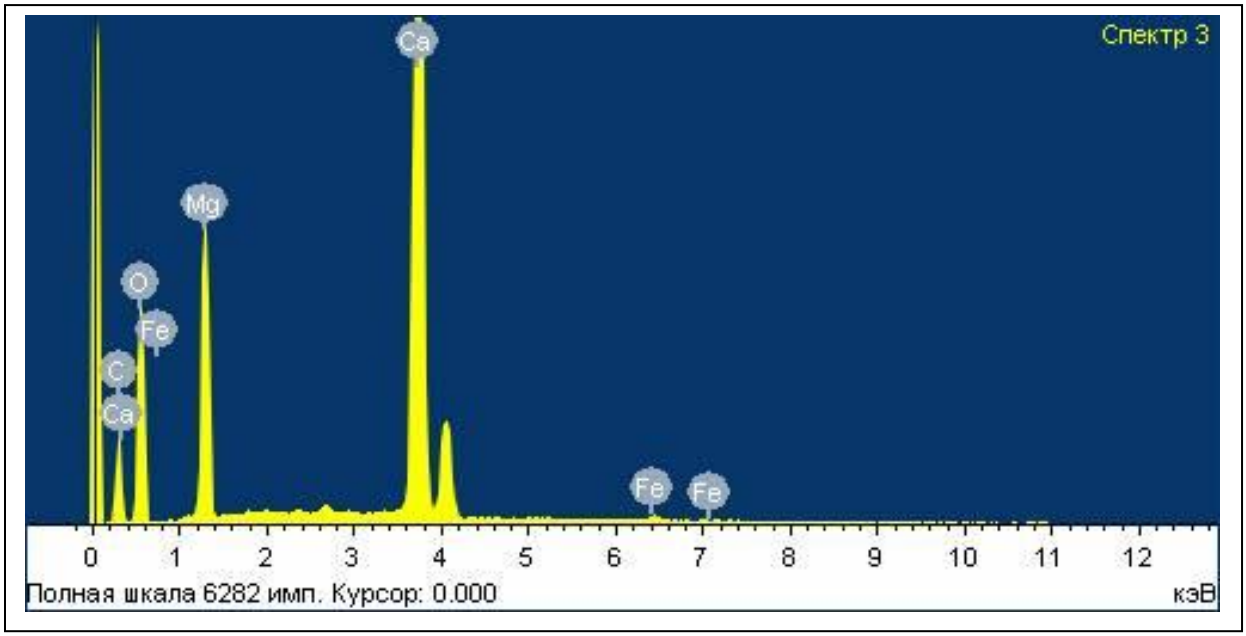


Рисунок 4.40 – Спектр в точке анализа 3. Доломит. Глубина отбора 4042,15 м

Таким образом, в результате проведенных литологических исследований выявлено, что на изученной территории овинпармские отложения представляют собой преимущественно вторичные доломиты. В единичных случаях в составе пород установлено преобладание анкерита – минерала группы доломита, имеющего в своем составе значительное количество железа. Это указывает на активизацию процессов преобразования пород в пластовых условиях.

Доломиты, в составе которых отсутствует значимое количество глинистой примеси, характеризуются наличием межкристаллической пористости, пустот выщелачивания и открытых трещин. Наиболее интенсивно проявлены процессы трещинообразования и развития каверн в доломитах по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам. В этих же породах отмечается и максимальная степень нефтенасыщения.

В строении разрезов наблюдаются последовательные переходы от доломитов тонкозернистых и глинистых к доломитам по биогермным известнякам (Рисунок 4.41). Доломиты по ламинитам присутствуют в виде отдельных прослоев и пачек небольшой толщины (до 2 м) или отсутствуют совсем. Известняки с узловато-слоистой текстурой слагают значительную по толщине (до 30 м) пачку в средних частях разрезов. Встречаются прослои и пачки малой толщины (до 2 м), сложенные аргиллитами, которые также приурочены преимущественно к средним частям разрезов.

Среди выделенных типов пород в общем объеме разрезов преобладают доломиты, заместившие первично биогермные известняки. Вторичная доломитизация часто полностью преобразует первичные структурно-текстурные особенности пород, что затрудняет фациальную интерпретацию. Тем не менее, преобладание биогермных пород в составе разрезов позволяет предположить, что формирование отложений происходило в мелководной шельфовой зоне морского бассейна с незначительными колебаниями относительного уровня моря. При этом существенное изменение условий осадконакопления происходило лишь однажды и, по-видимому, связано с общим для всего бассейна значительным подъемом уровня моря. Этому периоду соответствует время накопления пачки узловато-слоистых известняков, слагающей средние части разрезов.

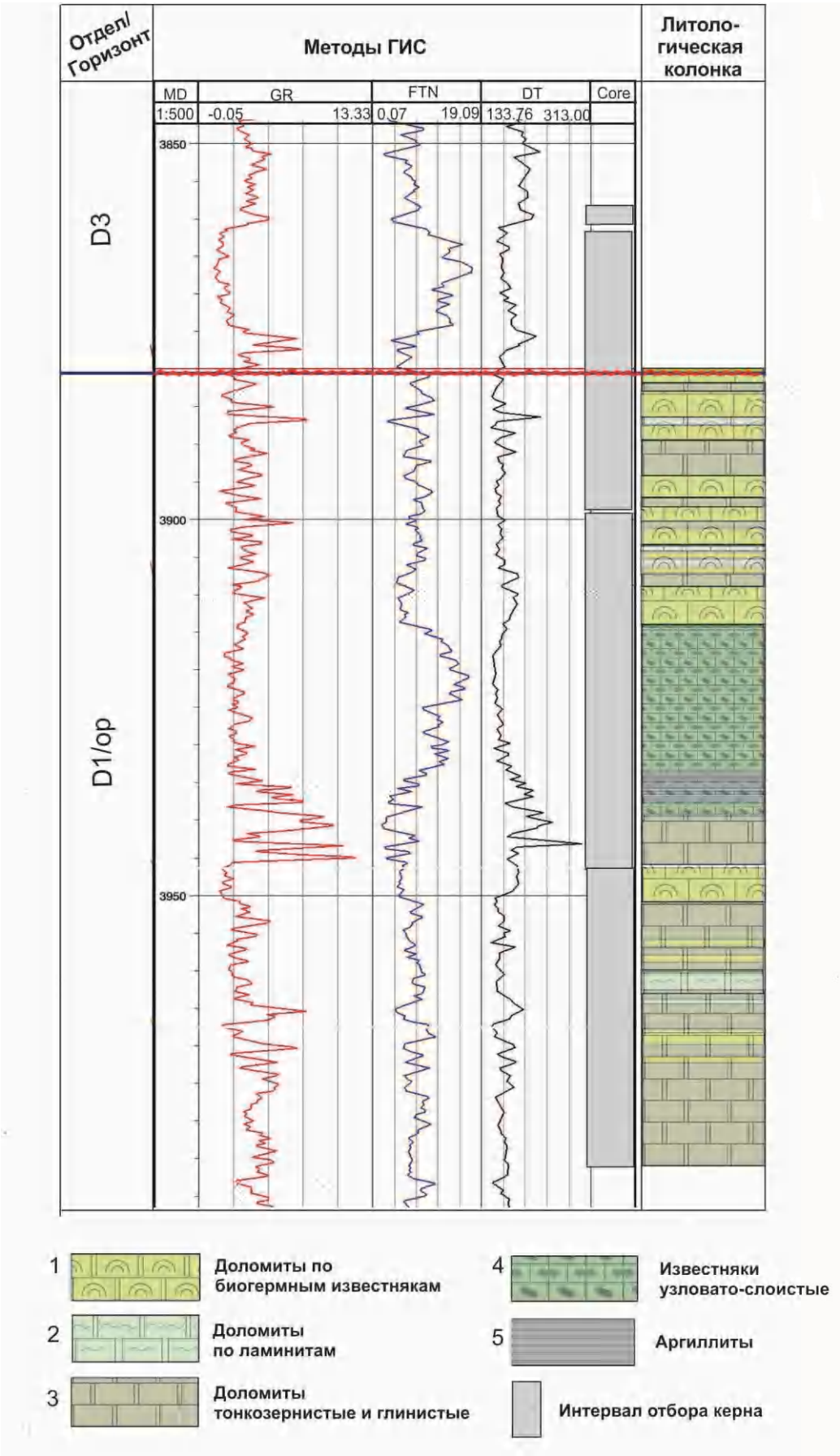


Рисунок 4.41 – Строение разреза овинпармских отложений

4.4. Петрофизическая характеристика пород.

4.4.1. Определение минералогии и пористости пород.

Результаты петрофизических исследований сгруппированы на основании циклостратиграфического расчленения разреза с принятой индексацией. Всего в разрезах овинпармских отложений выделено 4 основных циклита – D1Op I, D1Op II, D1Op III, D1Op IV. Второй циклит по строению разделен на два подциклита D1Op II-1 и D1Op II-2, продуктивные интервалы присутствуют в D1Op II-2.

На основании литологической характеристики пород в разрезах можно выделить сходные по строению нижнюю и верхнюю части, сложенные доломитами и включающие циклиты D1Op I, D1Op II и D1Op IV соответственно. Средней части разреза соответствует циклит D1Op III. В этой части присутствует пачка узловато-слоистых известняков.

Результаты рентгенофазового анализа показывают, что доломит является основным породообразующим минералом, его содержание варьирует от 89,6% до 96,6%. В то же время в породах, определенных как «неколлектор», присутствует незначительное количество терригенной обломочной и глинистой примеси (от 1 до 3%).

Вместе с тем, по обобщенным результатам анализов для нижней, верхней и средней частей разрезов отмечаются некоторые различия в соотношении основных породообразующих минералов (доломит, кальцит), обломочной и глинистой примесей (Рисунок 4.42-Рисунок 4.44).

Отмечается, что в образцах из нижних частей разрезов количество кальцита несколько меньше, чем в верхних частях. Например, в породах-коллекторах содержание кальцита изменяется от 0,298 до 2,17% (в нижней и верхней частях соответственно).

В минералогии пород средних частей разрезов отмечается существенное возрастание доли кальцита, терригенной и глинистой составляющей. Это обусловлено присутствием пачки узловато-слоистых известняков и увеличением толщин прослоев, сложенных глинистыми доломитами.

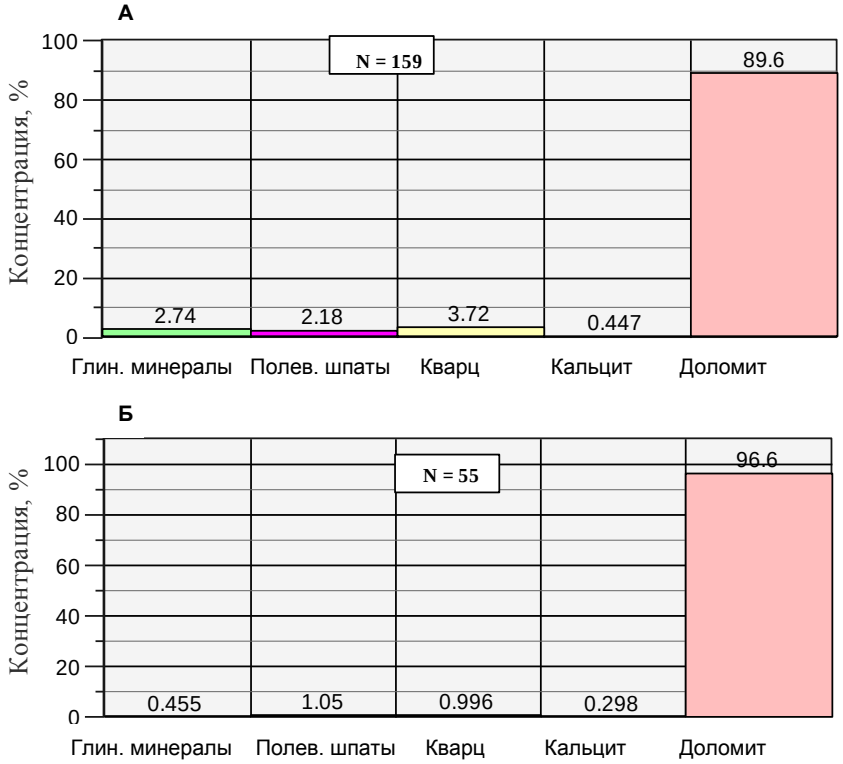


Рисунок 4.42 – Концентрация породообразующих минералов по данным рентгено-фазового анализа (XRD): А – в объеме D1Op II, Б – в объеме D1Op II для пород-коллекторов

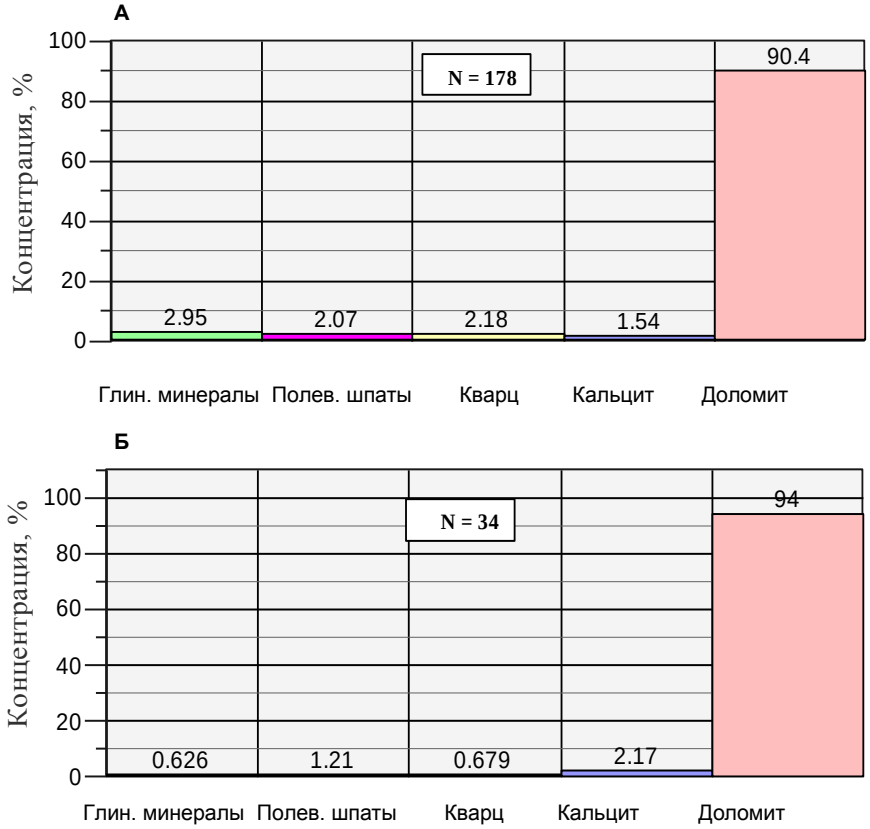


Рисунок 4.43 – Концентрация породообразующих минералов по данным рентгено-фазового анализа (XRD): А – в объеме D1Op IV, Б – в объеме D1Op IV для пород-коллекторов

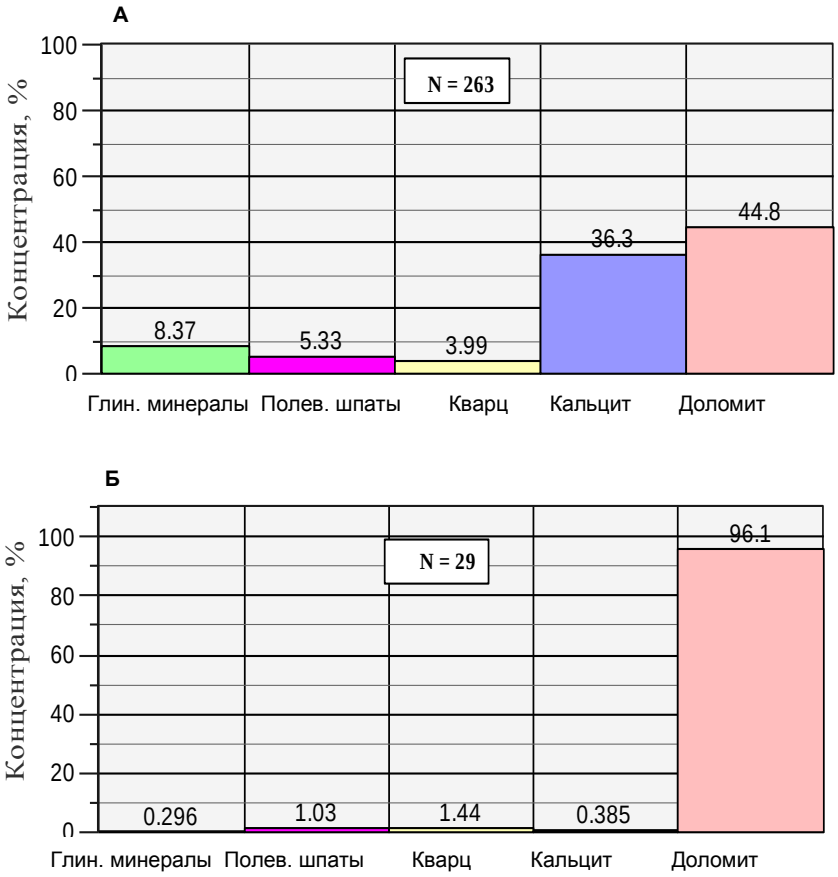


Рисунок 4.44 – Концентрация породообразующих минералов по данным рентгено-фазового анализа (XRD): А – в объеме D1Op III, Б – в объеме D1Op III для пород-коллекторов

В изученных разрезах овинпармского горизонта породы-коллекторы представлены двумя типами: доломитами по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам и водорослевым известнякам. При этом, по результатам литологической характеристики, выделенные типы характеризуются разной структурой, что в свою очередь определяет различия в распределении и структуре пустотного пространства.

На диаграмме сопоставления пористости (Рисунок 4.45), определенной по насыщению и с учетом внешних каверн – по газу, отчетливо видно, что для части образцов циклита D1Op II-2 отмечается значительная разница в результатах измерений. Значения пористости по газу с учетов внешних каверн превышают в некоторых случаях в два раза значения, полученные при обычных замерах, методом насыщения образцов (например 18% и 9%). Это указывает на преобладание в общем объеме пустотного пространства пород каверновой составляющей. Образцы с такого рода закономерностями представлены доломитами по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам.

В других образцах, представленных в том числе доломитами по биогермным водорослевым известнякам, наблюдается сходимость значений результатов измерений разными

методами, что говорит о преобладании матричной пористости в общем объеме пустотного пространства.

Средние значения пористости по циклитам D1Op II и D1Op III, составили 12,8% и 10,3% соответственно. В циклите D1Op II – средние значения вычислялись для доломитов по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам с учетом каверновой составляющей, в циклите D1Op III – для доломитов по биогермным водорослевым известнякам по стандартным исследованиям.

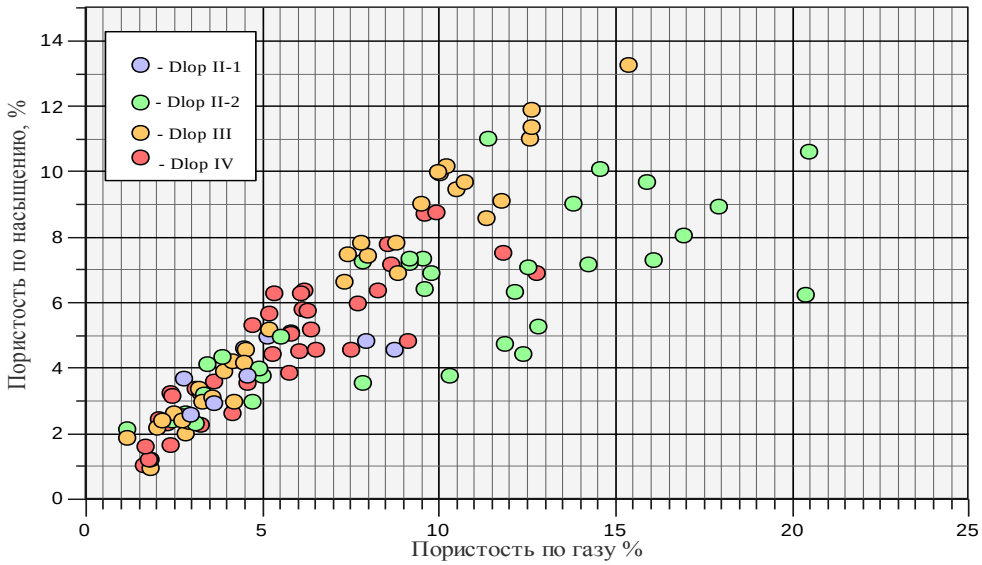


Рисунок 4.45 – Сопоставление открытой пористости и пористости по газу с учетом внешних каверн

Таким образом, по результатам литолого-петрофизических исследований установлено, что значимым для коллекторского потенциала объемом пустотного пространства среди пород овинпармского горизонта обладают доломиты по биогермным водорослевым и водорослево-строматопоровым известнякам. При этом доломиты по биогермным водорослевым известнякам характеризуются преобладанием матричной (межкристаллической) пористости в общем объеме пустотного пространства. Для порового пространства доломитов по водорослево-строматопоровым известнякам характерно интенсивное развитие вторичной пористости – пустот выщелачивания размером более 1 мм, а также раскрытых трещин. Вторичная пористость доломитов нередко превышает межзерновую пористость и служит основным видом емкости для этого типа пород.

4.4.2. Определение каверновой пористости методом компьютерной томографии

Широкое развитие каверн и трещин в породах-коллекторах овинпармского горизонта усложняет методику изучения таких образцов в лабораторных условиях. Керн, поднятый на поверхность, характеризуется плохой сохранностью в связи с дроблением по трещинам и

каверновым полостям, что делает проблематичным отбор образцов правильной геометрической формы. В результате, по отобранным образцам можно охарактеризовать, преимущественно, низкопористую матрицу, а не общий эффективный объем пустотного пространства.

Исследование образцов сложного строения предпочтительнее проводить на полноразмерных образцах диаметром D=80-100 мм и длиной не менее L=80-100 мм.

При исследовании таких пород реальные закономерности распределения каверновой емкости можно адекватно оценить методом компьютерной томографии, получив цифровую трехмерную реконструкцию исследуемого образца (Рисунок 4.46).

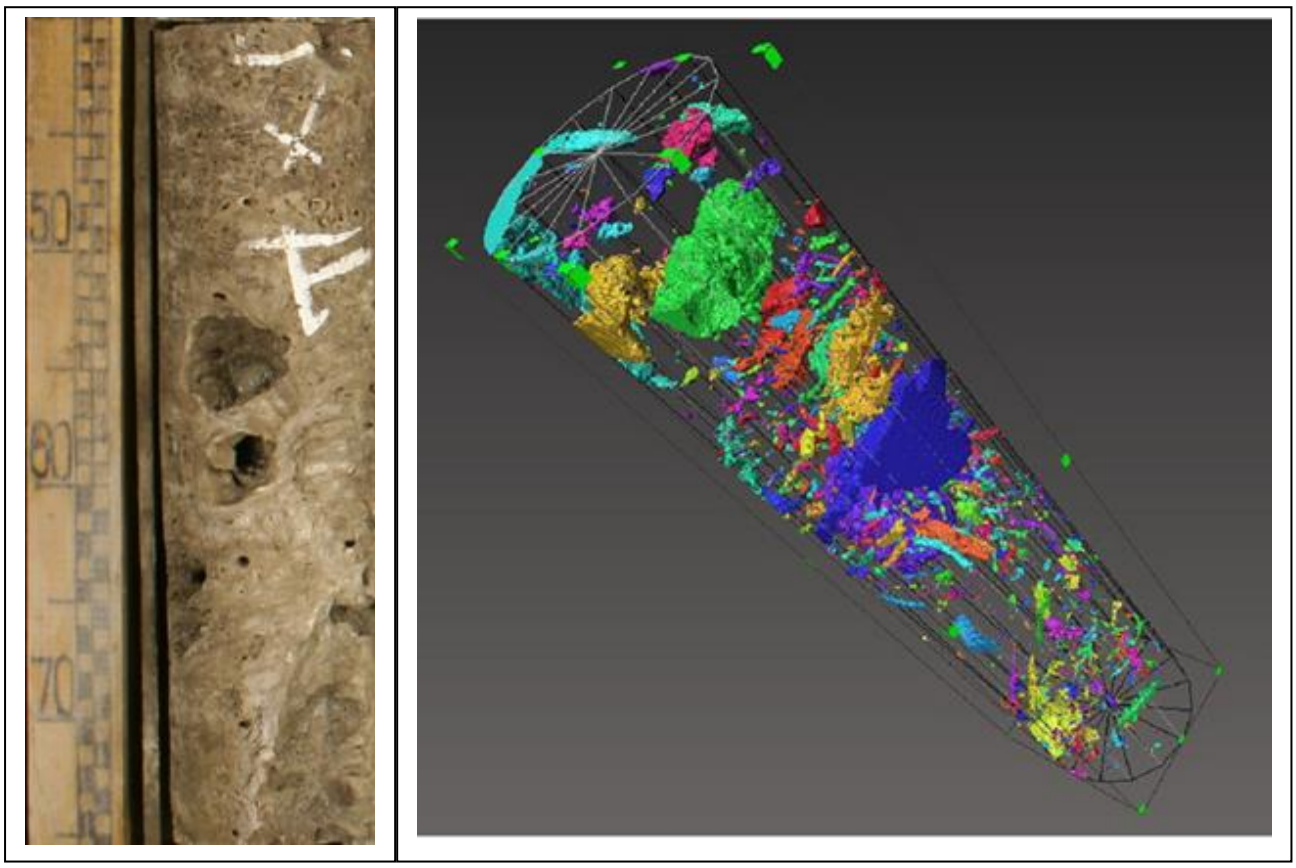


Рисунок 4.46 – Распределение каверн различной конфигурации и размеров в объеме образца: слева – фото полноразмерного образца, справа – трехмерная реконструкция образца по результатам изучения, распределение каверн различной конфигурации

Исследования пород разреза показали, что наибольшее развитие кавернозности наблюдается в породах нижней части разреза и характерно для интервалов, сложенных доломитами по водорослево-строматопоровым известнякам (циклит D1Op II-2).

Среднее значение каверновой пористости в целом для пород циклита D1Op II-2 составляет 4.5%, а для доломитов по водорослево-строматопоровым известнякам составляет 5.43%. Тогда как другие части разрезов, где исследованные образцы представлены

преимущественно доломитами по водорослевым известнякам, характеризуются незначительными значениями каверновой пористости – 0,55-0,669% (Рисунок 4.47).

Установлено, что для пород циклита D1Op II-2 за счет каверн емкость пород увеличивается на 70%, где пористость составляет 11-20%, и на 10% для аналогичного диапазона пористости пород циклита D1Op III.

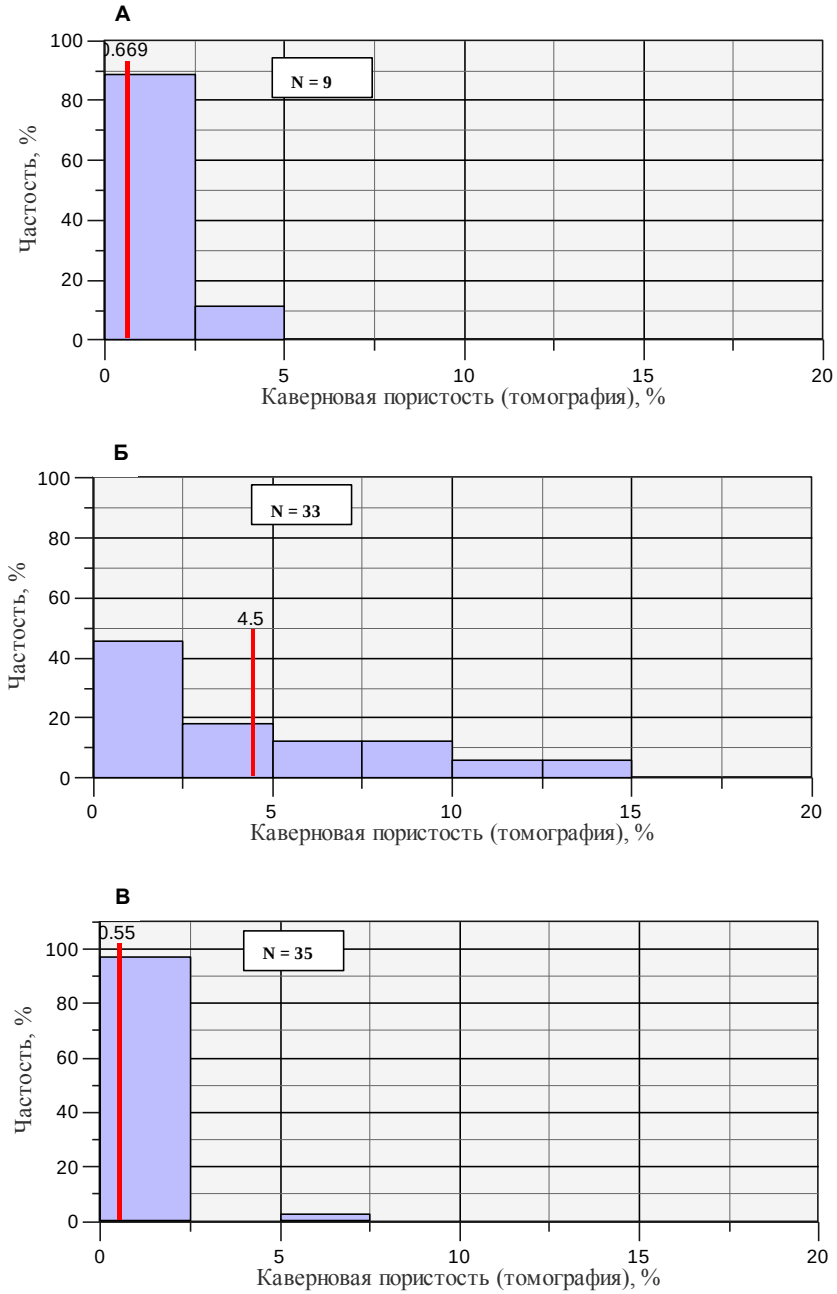


Рисунок 4.47 – Гистограммы распределения каверновой пористости по томографии: образцы А – D1Op II-1, Б – D1Op II-2, В – D1Op III-IV

5. Характеристика структуры пустотного пространства и ФЕС пород-коллекторов.

На основании литолого-петрофизической характеристики пород разреза для определения морфометрических параметров пустотного пространства выбрано 56 образцов, большая часть из которых представлена породами-коллекторами.

По результатам IMAGE-анализа выделено четыре типа пустотного пространства: поровое пространство, участки развития микропористости, каверны и трещины.

Поры представлены межкристаллическими пустотами размером 0,004–0,489 мм. К кавернам отнесены пустоты выщелачивания размером более 0,489 мм.

К микропорам относятся пустоты, размеры которых установить оптическими методами не представляется возможным, определены только участки их развития. Размер таких участков составляет от 0,001 до 0,046 мм.

5.1. Характеристика структуры порового пространства доломитов по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам.

Всего проанализировано 48 образцов из пород разрезов трех скважин (Таблица 5.1-Таблица 5.2).

Диапазоны распределения значений пористости составили для скважины

- №1 – 0,48–11,88%, при среднем значении 4,86% (22 образца);
- №2 – 0,56–21,05%, при среднем значении 10,25% (13 образцов);
- №3 – 1,03–12,42%, при среднем значении 5,40% (13 образцов).

Образцы характеризуются крайне неравномерным распределением пористых участков, обусловленным неоднородностью структуры водорослево-строматопорового каркаса (Рисунок 5.1-Рисунок 5.7).

Доля микропористых участков в общем объеме пустотного пространства составляет 0,24-2,32%, в среднем 0,34-0,87%.

Доля каверн в общем объеме пустотного пространства составляет 0,14-10,56%, в среднем 0,86-4,85%.

Пустотное пространство трещин составляет 0,05-2,93% от общего объема пористости, в среднем 0,43-0,71%.

Для участков распространения межкристаллических пор и микрокаверн в образцах преобладают поры площадью 10^{-5}-10^{-4} мм^2 (36,53-37,75%) и площадью 10^{-4}-10^{-3} мм^2 (39,13-45,14%).

По преобладающим размерам пор можно сказать, что практически в равных соотношениях представлены участки микропористости – до 0,01 мм (31,11-33,56%), и поры размером 0,01-0,025 мм (32,38-34,57%). На втором месте по количеству находятся поры размером 0,025-0,05 мм (18,19-18,61%).

При этом по распределению удельных значений площади пор основной объем в пористости занимают пустоты с размерами из трех диапазонов: 10^{-4}-10^{-3} мм^2 (6,63-32,60%), 10^{-3}-10^{-2} мм^2, (14,74-36,83%) и 10^{-2}-10^{-1} мм^2 (15,42-21,93%).

Таблица 5.1 – Количество выделенных типов пустотного пространства (осредненные по литотипу значения)

Пустотное пространство	**Скв. № 1, %**	**Скв. № 2, %**	**Скв. № 3, %**
Межкристаллические поры и микрокаверны	1.90	3.87	2.22
Участки развития микропористости	0.46	0.87	0.81
Каверны	3.01	4.85	1.93
Трещины	0.71	0.66	0.43
Общая пористость	4.86	10.25	5.40

Таблица 5.2 – Распределение по интервалам параметров для межкристаллических пор и микрокаверн (осредненные по литотипу значения)

Параметр	**Диапазон**	**Скв. № 1**	**Скв. № 2**	**Скв. № 3**
Количество пор различной площади (мм^2), %	0-10^{-5}	8.21	3.91	10.97
	10^{-5}-10^{-4}	40.20	45.14	39.13
	10^{-4}-10^{-3}	36.53	37.28	37.75
	10^{-3}-10^{-2}	11.61	11.32	10.70
	10^{-2}-10^{-1}	1.94	1.69	1.45
	10^{-1}-1	0.00	0.04	0.00
	>1	0.00	0.00	0.00
Удельные значения площади пор (мм^2), %	0-10^{-5}	0.49	0.02	0.97
	10^{-5}-10^{-4}	4.06	1.05	7.67
	10^{-4}-10^{-3}	18.45	6.63	32.60
	10^{-3}-10^{-2}	28.24	14.74	36.83
	10^{-2}-10^{-1}	19.40	15.42	21.93
	10^{-1}-1	0.00	3.04	0.00
	>1	0.00	7.10	0.00
Количество пор различного размера (мм), %	0-0.01	31.90	31.11	33.56
	0.01-0.025	32.38	34.57	33.48
	0.025-0.05	18.19	18.61	18.52
	0.05-0.1	9.87	9.30	9.45
	0.1-0.25	4.84	4.56	4.14
	0.25-0.5	1.25	1.17	0.85
	0.5-1	0.06	0.03	0.00
	>1	0.00	0.02	0.00

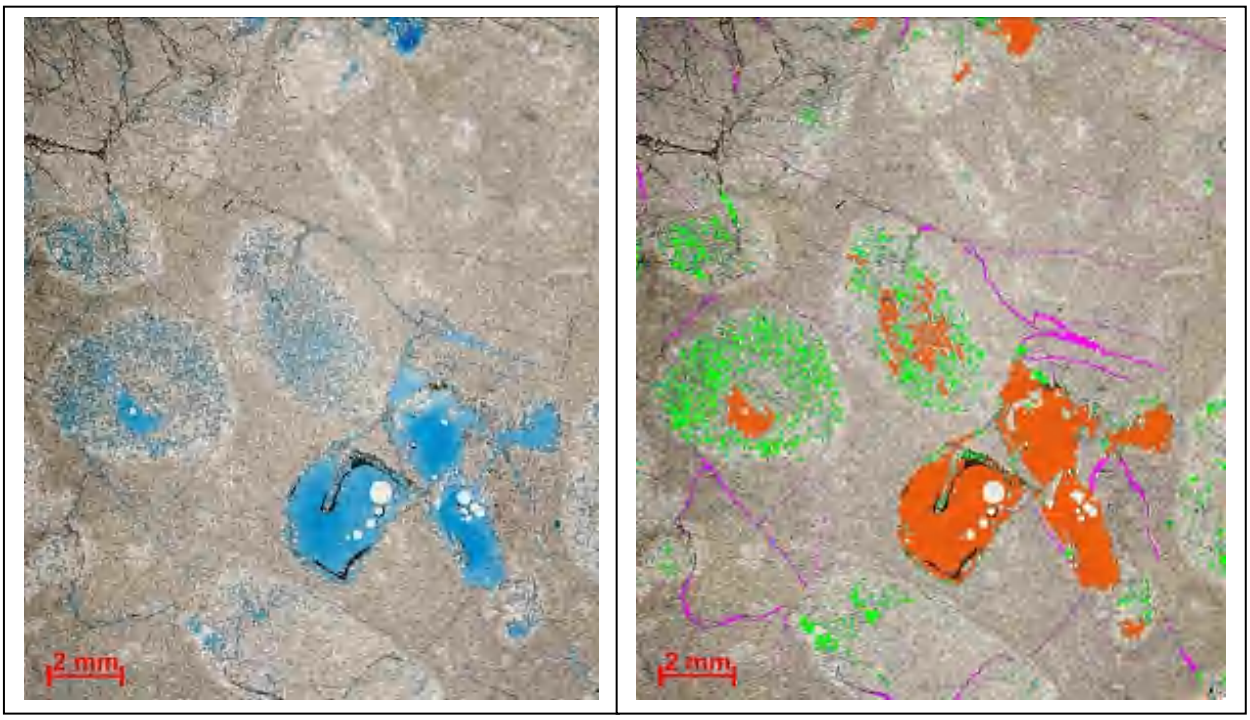


Рисунок 5.1 – Доломиты по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам. Колвинская скв. №3. Глубина отбора 3771,52 м. Без анализатора.
Фото слева: образец пропитан окрашенной смолой. Фото справа: структура пустотного пространства доломитов по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам. Оранжевым цветом представлены каверны, зеленым цветом – межкристаллические поры и микрокаверны, розовым цветом – трещины

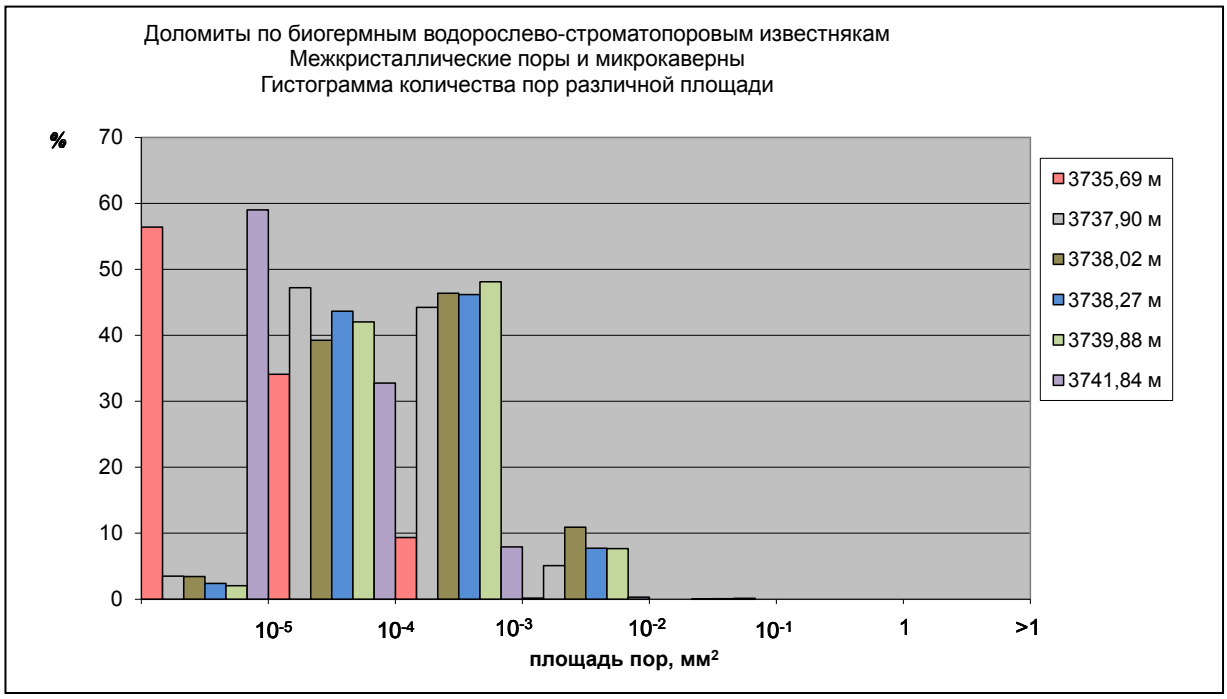


Рисунок 5.2 – Распределение пор различной площади для 6 образцов. Колвинская скв. №3

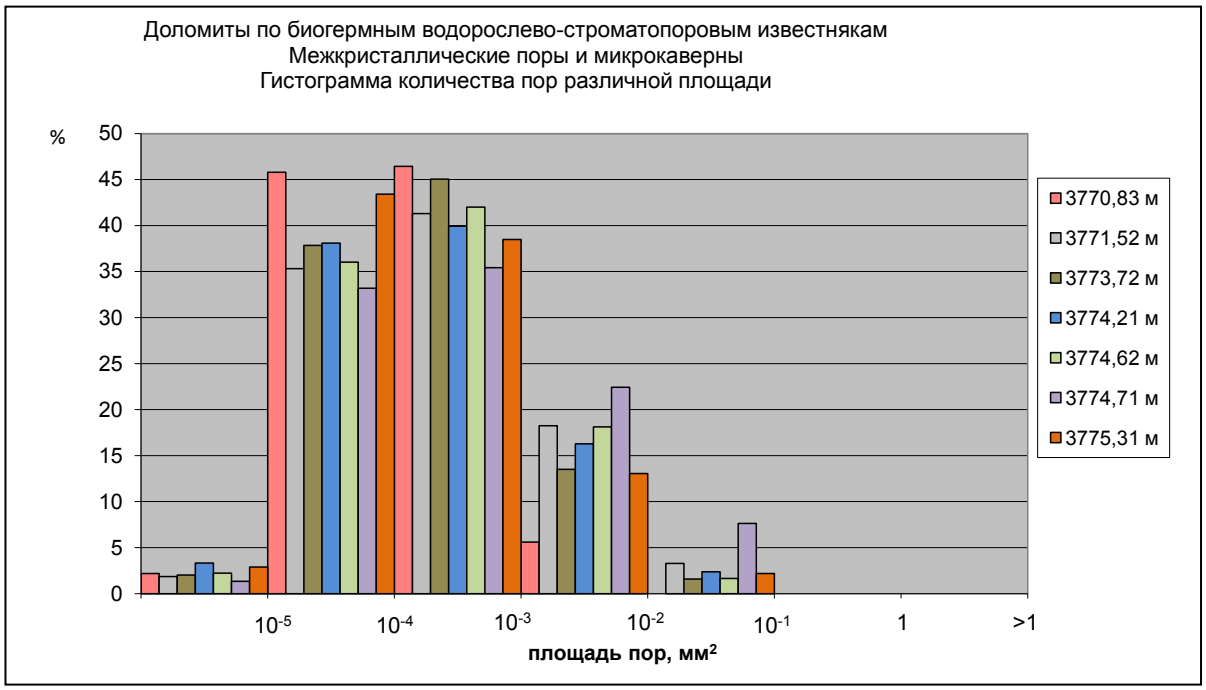


Рисунок 5.3 – Распределение пор различной площади для 7 образцов. Колвинская скв. №3

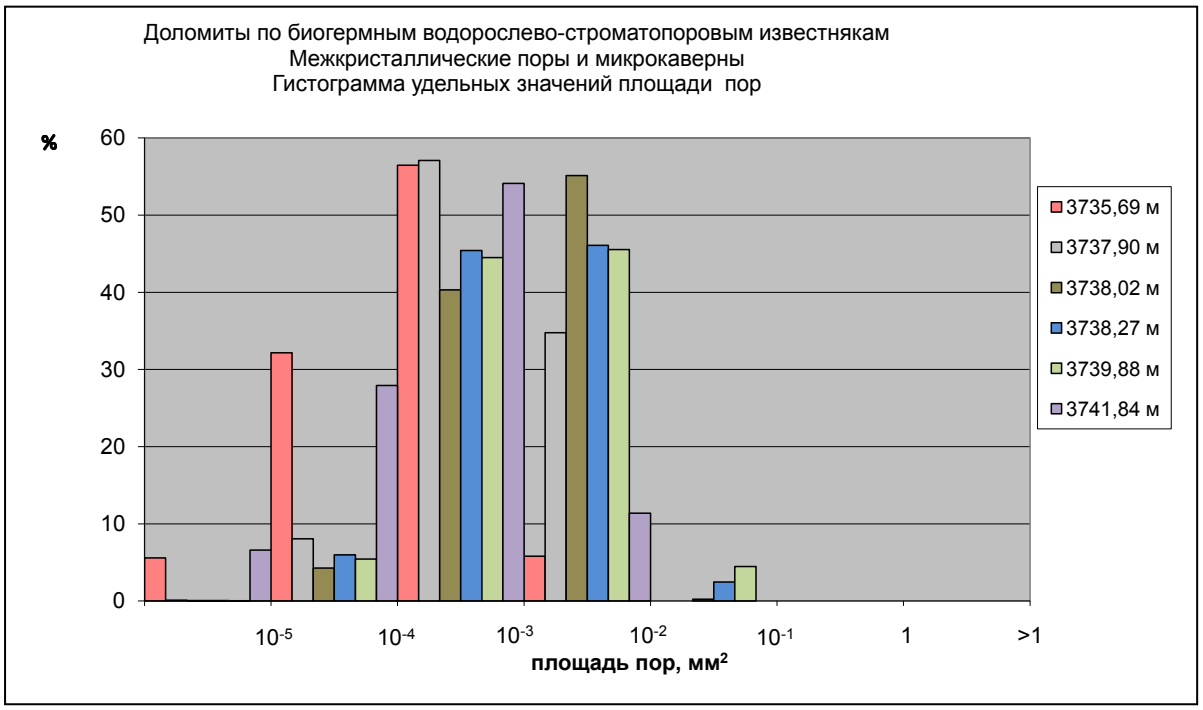


Рисунок 5.4 – Гистограмма удельных значений площади пор для 6 образцов. Колвинская скв. №3

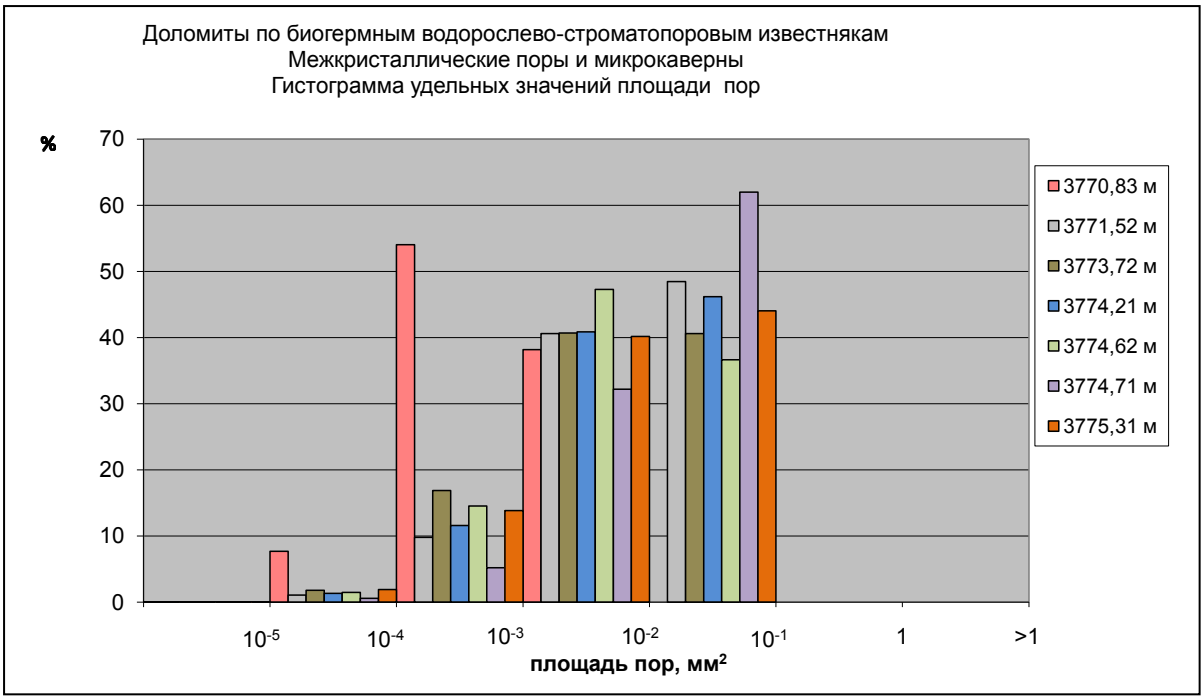


Рисунок 5.5 – Гистограмма удельных значений площади пор для 7 образцов. Колвинская скв. №3

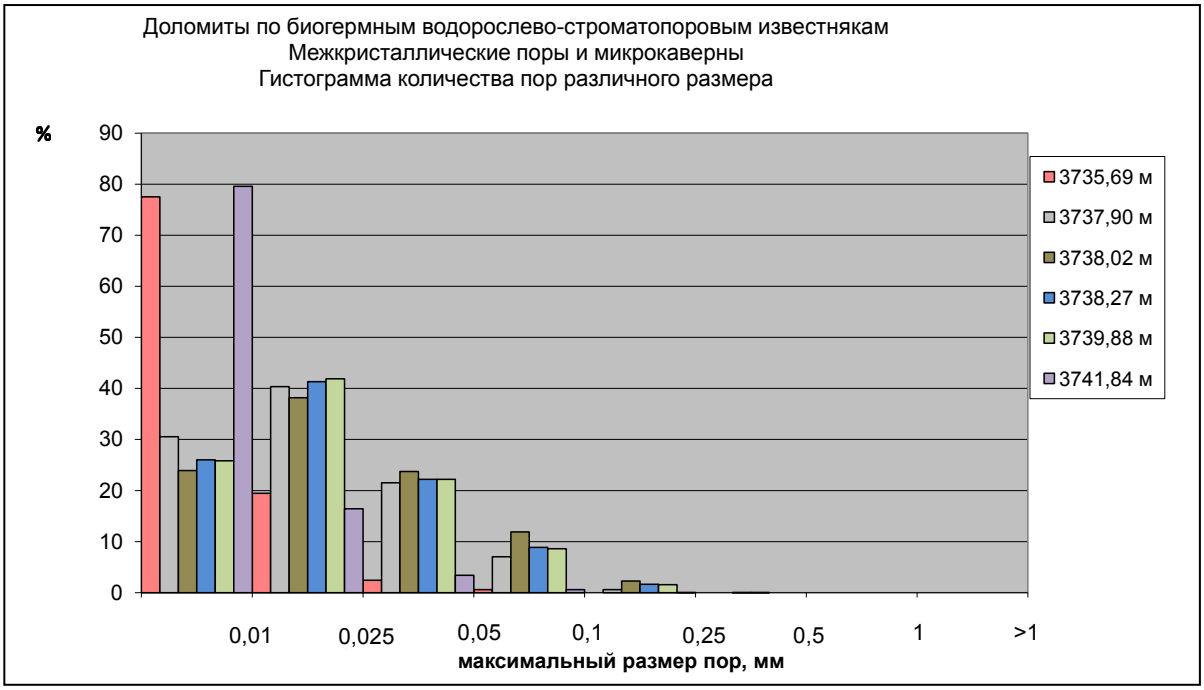


Рисунок 5.6 – Распределение пор различного размера для 6 образцов. Колвинская скв. №3

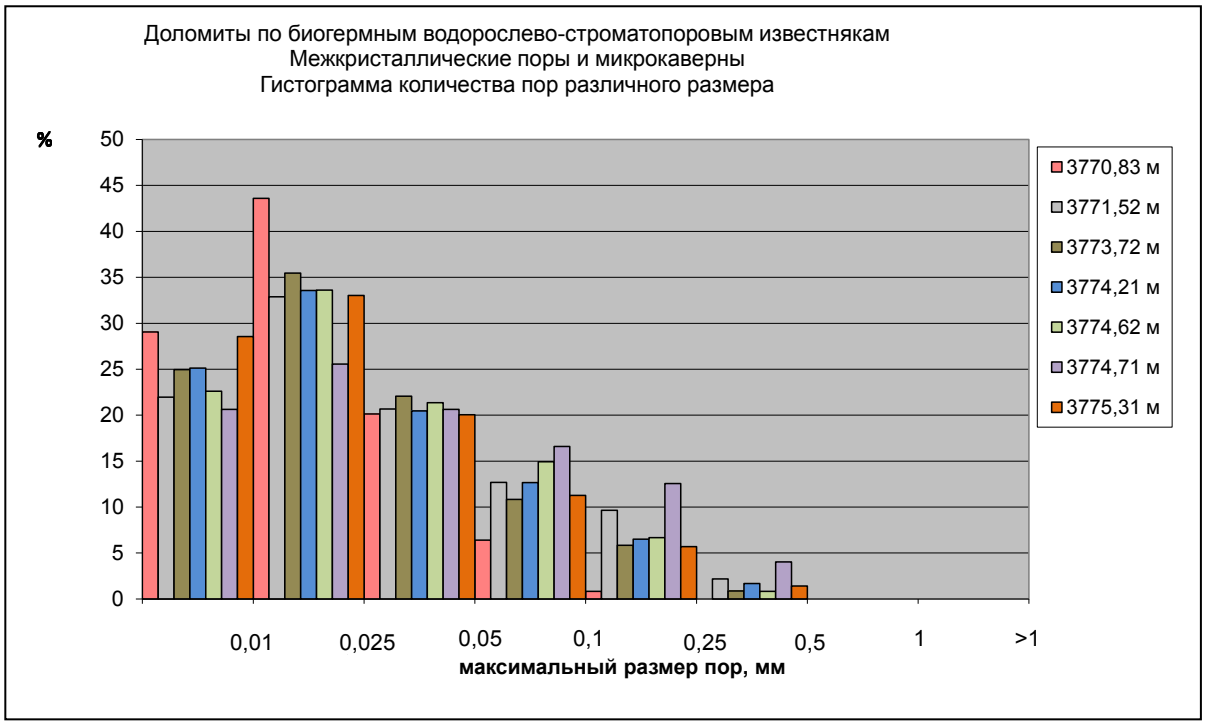


Рисунок 5.7 – Распределение пор различного размера для 7 образцов. Колвинская скв. №3

5.2. Характеристика структуры порового пространства доломитов по биогермным водорослевым известнякам.

Всего проанализировано 8 образцов из пород разрезов двух скважин (Таблица 5.3-Таблица 5.4).

Диапазоны распределения значений пористости составили для скважины

- №1 – 0,02–2,54%, при среднем значении 1,58% (6 образцов);
- №3 – 1,75–3,32%, при среднем значении 2,53% (2 образца).

Доля микропористых участков в общем объеме пустотного пространства составляет 0,33-0,68%, в среднем 0,38-0,53%. Доля каверн в общем объеме пустотного пространства составляет 0,23-1,49%, в среднем 0,86%.

Пустотное пространство трещин составляет 0,03-2,51% от общего объема пористости, в среднем 0,03-1,58%.

Для участков распространения межкристаллических пор и микрокаверн в образцах преобладают поры площадью 10^{-5}-10^{-4} мм^2 (43,81-50,18%) и площадью 10^{-4}-10^{-3} мм^2 (37,85-38,94%). По преобладающим размерам пор можно сказать, что практически в равных соотношениях представлены участки микропористости – до 0,01 мм (30,16-33,43%), и поры размером 0,01-0,025 мм (34,45-38,82%). На втором месте по количеству находятся поры размером 0,025-0,05 мм (17,73-18,24%).

При этом по распределению удельных значений площади пор основной объем в пористости занимают пустоты с размерами из трех диапазонов: 10^{-4}-10^{-3} мм^2 (27,46-33,60%), 10^{-3}-10^{-2} мм^2, (33,23-47,18%) и 10^{-2}-10^{-1} мм^2 (9,21-13,55%).

Таблица 5.3 – Количество выделенных типов пустотного пространства (осредненные по литотипу значения)

Пустотное пространство	**Скв. № 1, %**	**Скв. № 3, %**
Межкристаллические поры и микрокаверны	0.32	1.97
Участки развития микропористости	0.38	0.53
Каверны	0.86	0.00
Трещины	1.08	0.03
Общая пористость	1.58	2.53

Таблица 5.4 – Распределение по интервалам параметров для межкристаллических пор и микрокаверн (осредненные по литотипу значения)

Параметр	**Диапазон**	**Скв. № 1**	**Скв. № 3**
Количество пор различной площади (мм^2), %	0-10^{-5}	3.93	2.72
	10^{-5}-10^{-4}	43.81	50.18
	10^{-4}-10^{-3}	37.85	38.94
	10^{-3}-10^{-2}	9.54	7.81
	10^{-2}-10^{-1}	0.51	0.35
	10^{-1}-1	0.00	0.00
	>1	0.00	0.00
Удельные значения площади пор (мм^2), %	0-10^{-5}	0.08	0.05
	10^{-5}-10^{-4}	4.67	5.61
	10^{-4}-10^{-3}	27.46	33.60
	10^{-3}-10^{-2}	33.23	47.18
	10^{-2}-10^{-1}	9.21	13.55
	10^{-1}-1	0.00	0.00
	>1	0.00	0.00
Количество пор различного размера (мм), %	0-0.01	30.16	33.43
	0.01-0.025	34.45	38.82
	0.025-0.05	18.24	17.73
	0.05-0.1	8.97	7.71
	0.1-0.25	3.78	2.14
	0.25-0.5	0.06	0.17
	0.5-1	0.00	0.00
	>1	0.00	0.00

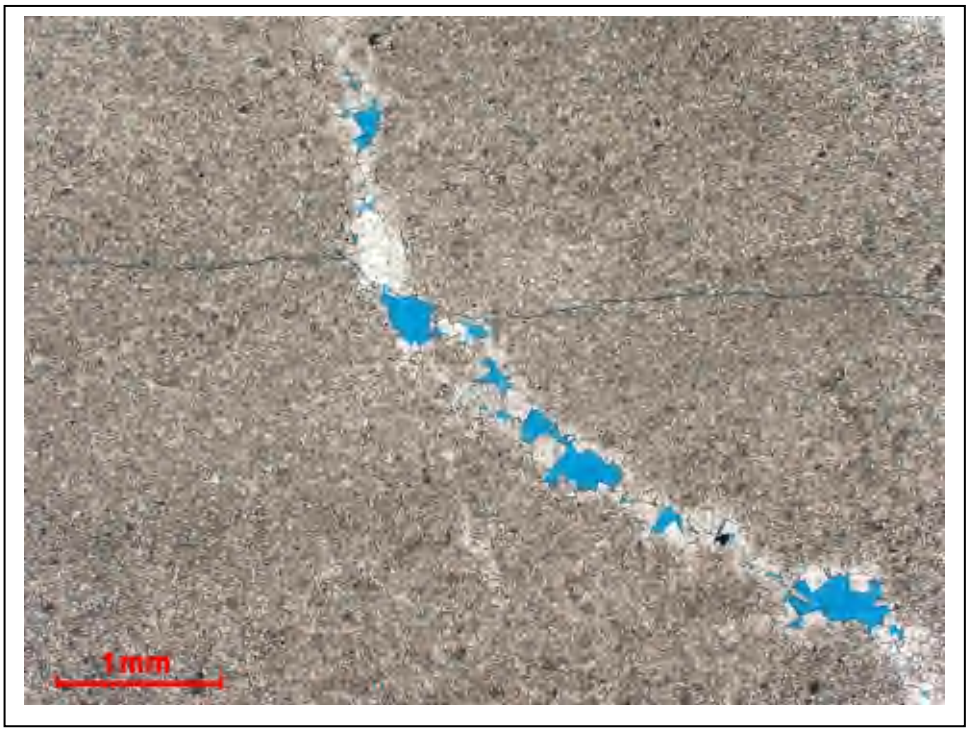


Рисунок 5.8 – Доломиты по биогермным водорослевым известнякам. Колвинская скв. 1. Глубина отбора 3886,10 м. Без анализатора. Образец пропитан окрашенной смолой

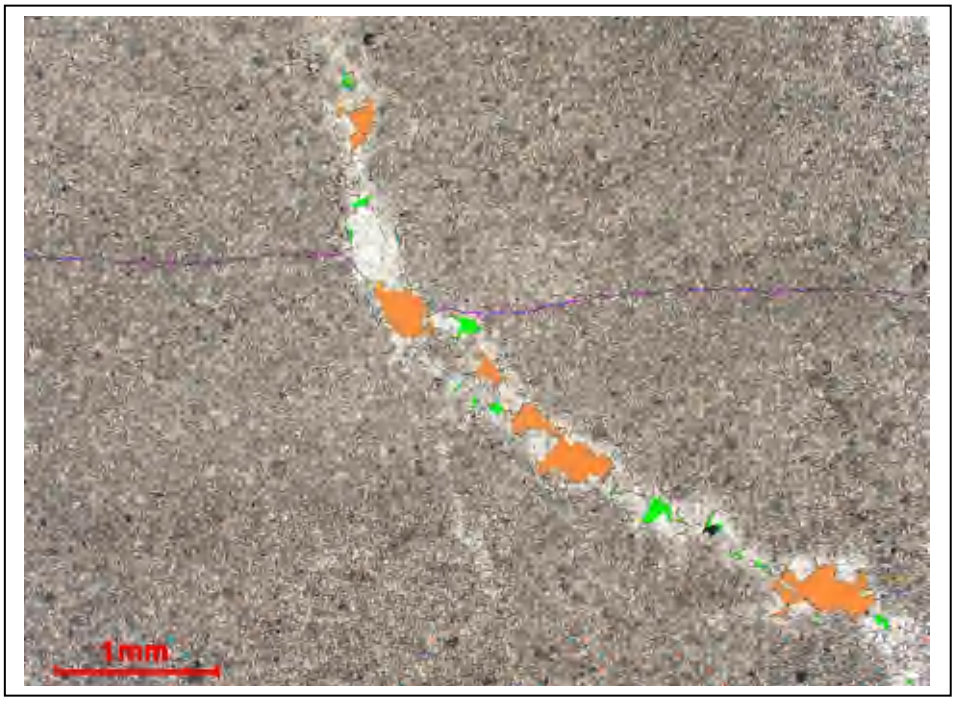


Рисунок 5.9 – Структура порового пространства доломитов по биогермным водорослевым известнякам. Зелёным цветом выделено поровое пространство; желтым цветом – участки развития микропористости, оранжевым цветом – каверны, розовым цветом - трещины. Колвинская скв. 1. Глубина отбора 3886,10 м

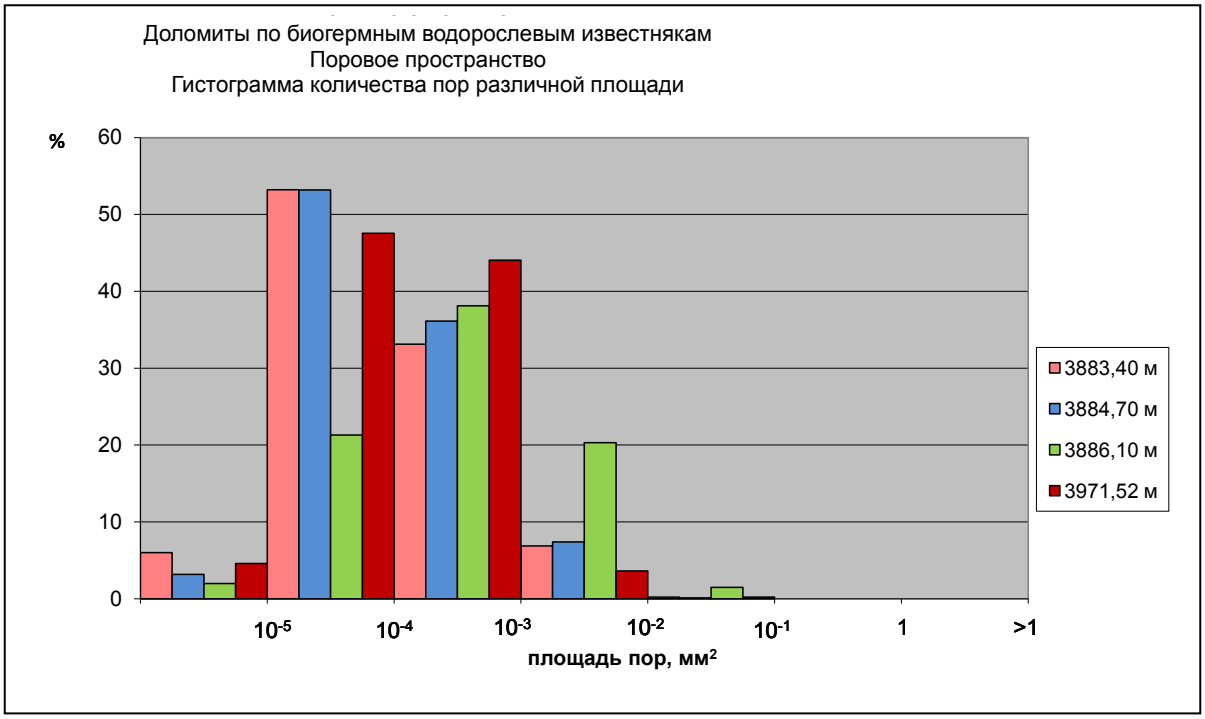


Рисунок 5.10 – Распределение пор различной площади для 7 образцов. Колвинская скв. №1

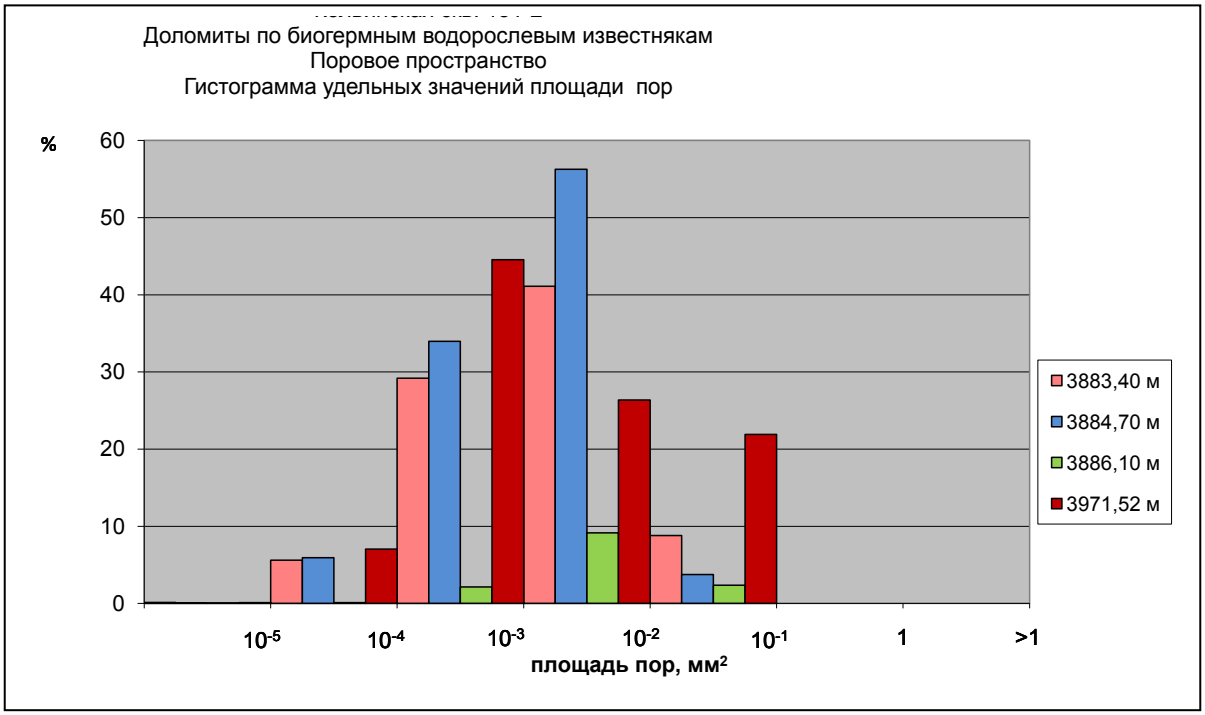


Рисунок 5.11 – Гистограмма удельных значений площади пор. Колвинская скв. №1

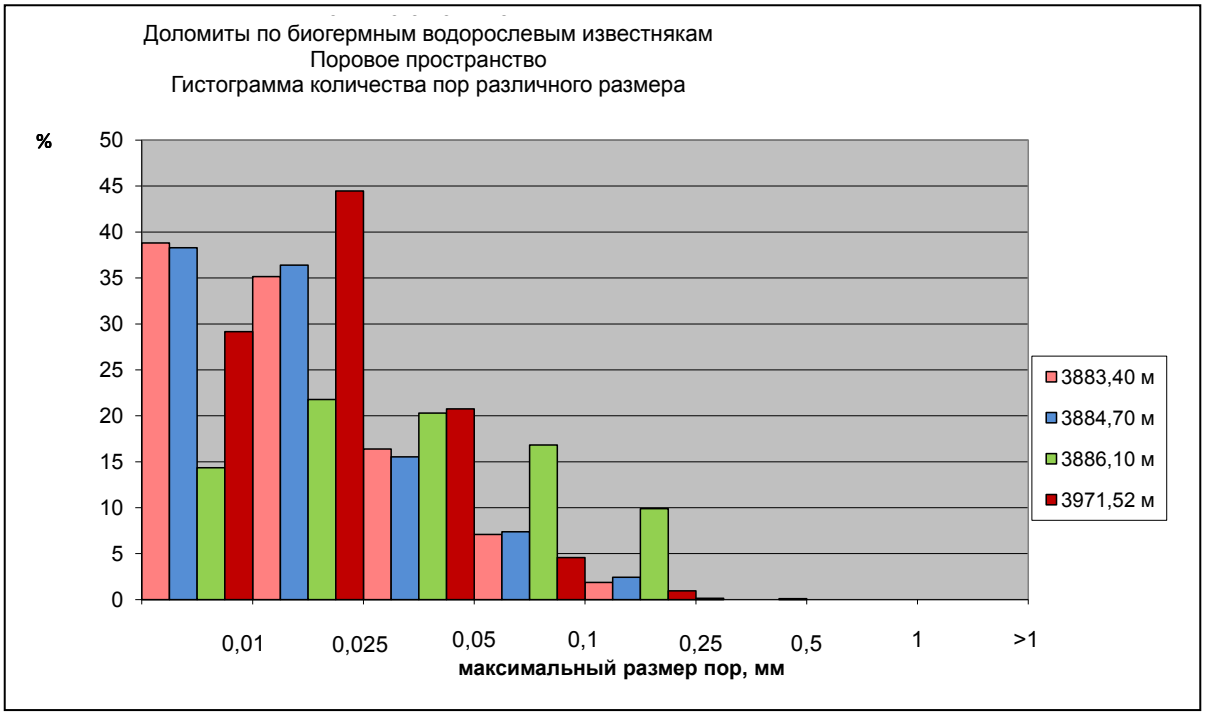


Рисунок 5.12 – Распределение пор различного размера. Колвинская скв. №1

Таким образом, в результате петрофизических исследований и изучения пород в шлифах составлена подробная характеристика структуры пустотного пространства пород в объеме стандартного петрофизического образца 30*30 мм.

По результатам определения средних значений для каждого типа пустотного пространства видно, что доломиты по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам обладают большими значениями общей пористости преимущественно за счет вклада межкристаллических пор и каверновой составляющей. Средние значения пористости для этого литотипа входят в диапазон от 4,86% до 10,25%, межкристаллические поры составляют 1,90-3,87%, доля каверн составляет 1,93-3,01%. Для доломитов по биогермным водорослевым известнякам средние значения пористости входят в диапазон от 1,58% до 2,53%, межкристаллические поры составляют 0,32-1,97%, доля каверн составляет 0,86%. Количество открытых трещин и микропористых участков существенно не отличается.

Сопоставление характера распределения пор различной площади и размеров показывает отсутствие значимых различий в структуре пустотного пространства пористости для выделенных типов доломитов. Это обусловлено тем, что в таком масштабе практически невозможно составить полную, корректную характеристику емкости пород-коллекторов. Различия в их свойствах, обусловленные генетическим фактором, в первую очередь структурой первичного биогермного каркаса, проявляются на другом уровне измерений – в образцах от 100 мм и более. В таком масштабе доломиты по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам характеризуются лучшими коллекторскими свойствами за счет интенсивного

развития процессов выщелачивания по первичному высокоемкому каркасу, обладающему крупными меж и внутрикаркасными пустотами.

5.3. Характеристика фильтрационно-емкостных свойств

5.3.1. Построение зависимостей пористости-проницаемости.

Характеристика ФЕС пород овинпармских отложений дана по результатам изучения 1202 образцов, включающих 124 полноразмерных образца.

Соотношения между абсолютной газопроницаемостью и пористостью пород по стандартным цилиндрам и полноразмерным образцам вычислялись отдельно для трех выделенных циклитов – D1Op II, D1Op III и D1Op IV (Рисунок 5.13-Рисунок 5.17).

Для всех трех циклитов отмечается существенный вклад трещиноватости в увеличение значений проницаемости, как для стандартных, так и для полноразмерных образцов, независимо от литологической разнородности объектов.

Следует отметить, что результаты замеров по стандартным образцам отличаются несущественно для выделенных объектов. Это объясняется особенностями структуры пустотного пространства, описанными выше. Как установлено, доломиты по биогермным водорослевым и водорослево-строматопоровым известнякам характеризуются сходными параметрами структуры пустотного пространства в объеме стандартных петрофизических цилиндров (30*30 мм).

Вместе с тем, в отличие от циклитов D1Op III и D1Op IV, для пород циклита D1Op II, где коллектор представлен доломитами по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам, отмечается увеличение значений проницаемости на порядок – значения смещаются в область 100-1000 мДс. Объяснение этому находится в изменении диаметра горловин поровых каналов и раскрытости трещин. В результате интенсивных процессов выщелачивания, характерных именно для этого литотипа, произошло развитие каверн, и как следствие увеличение диаметра каналов, составленных таким типом пустот. Эти же процессы привели и к увеличению степени раскрытости трещин.

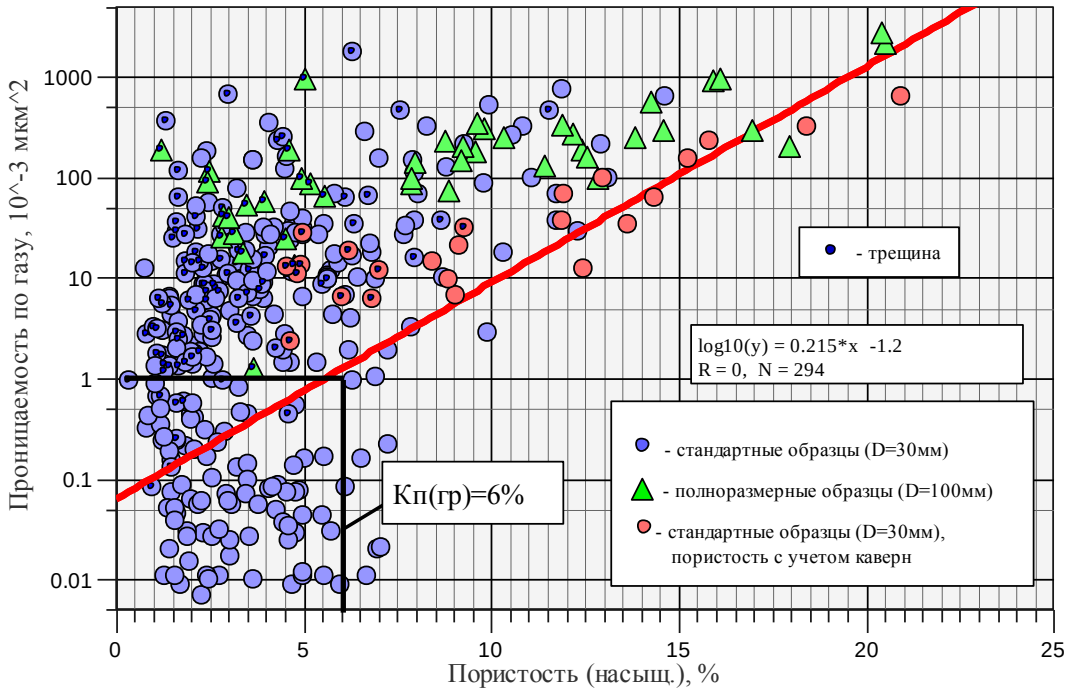


Рисунок 5.13 – Зависимость проницаемости по газу от пористости по насыщения для пласта D1Op II

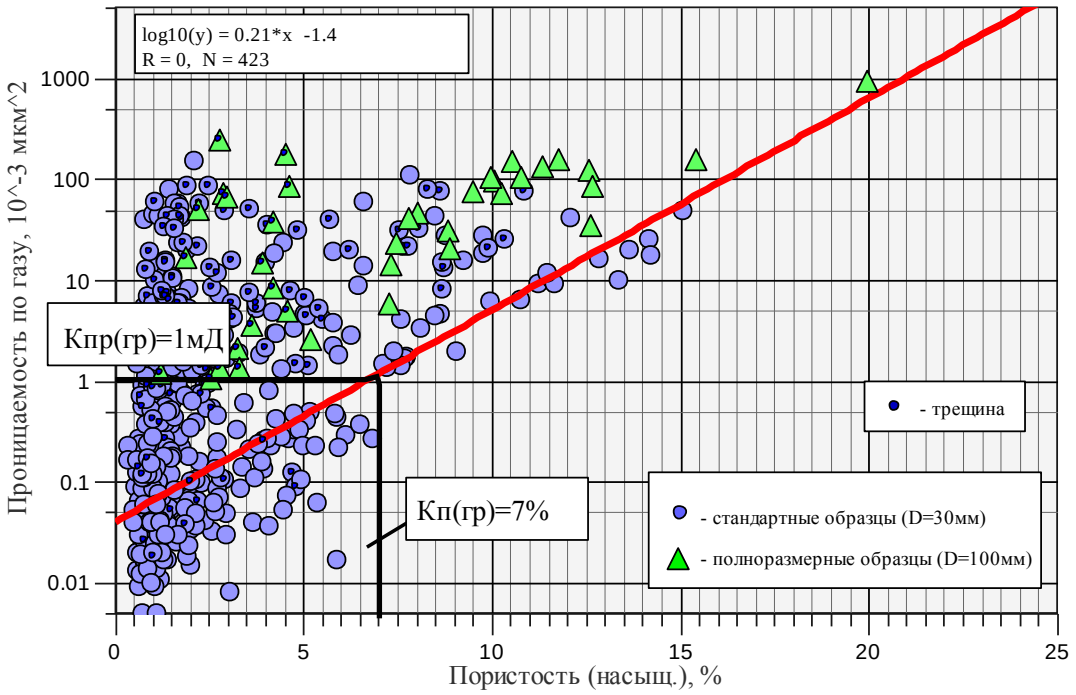


Рисунок 5.14 – Зависимость проницаемости по газу от пористости по насыщению для пласта D1Op III

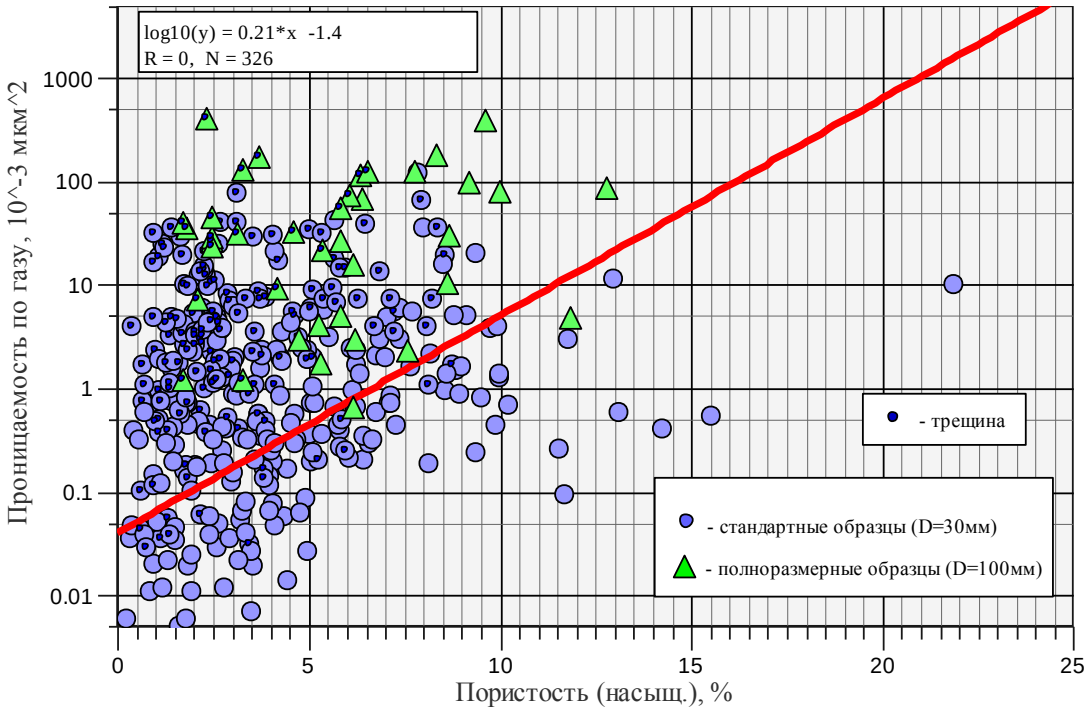


Рисунок 5.15 – Зависимость проницаемости по газу от пористости по насыщению для пласта D1Op IV

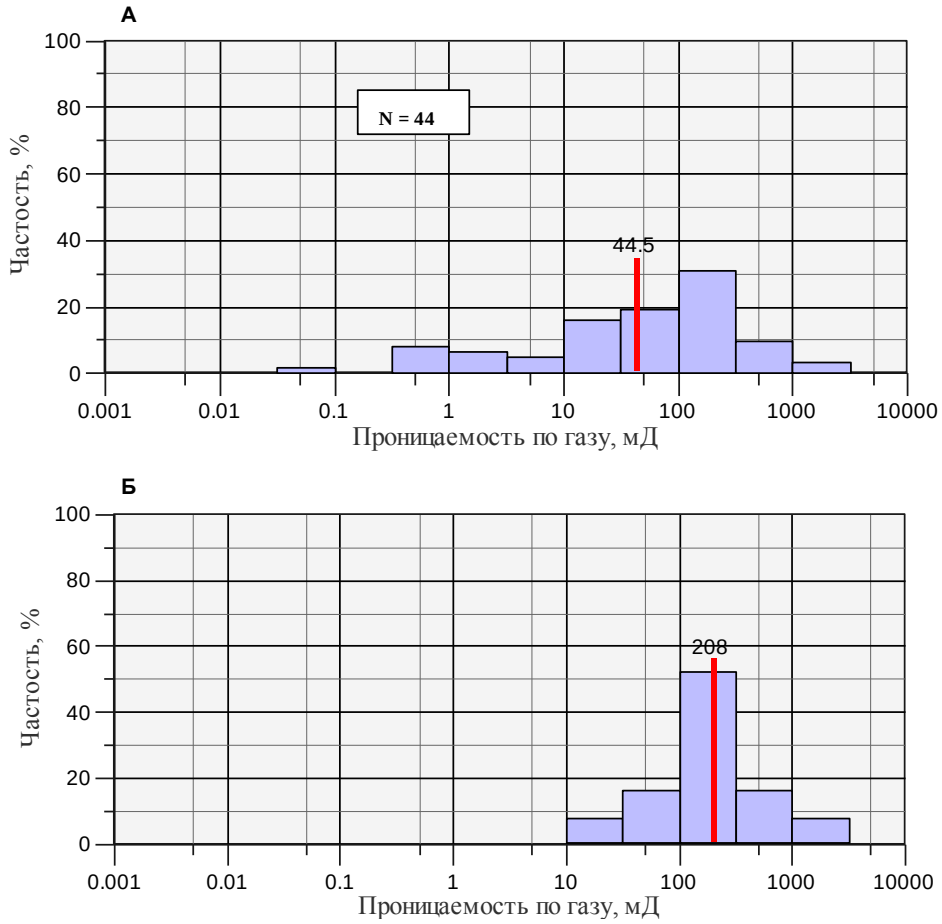
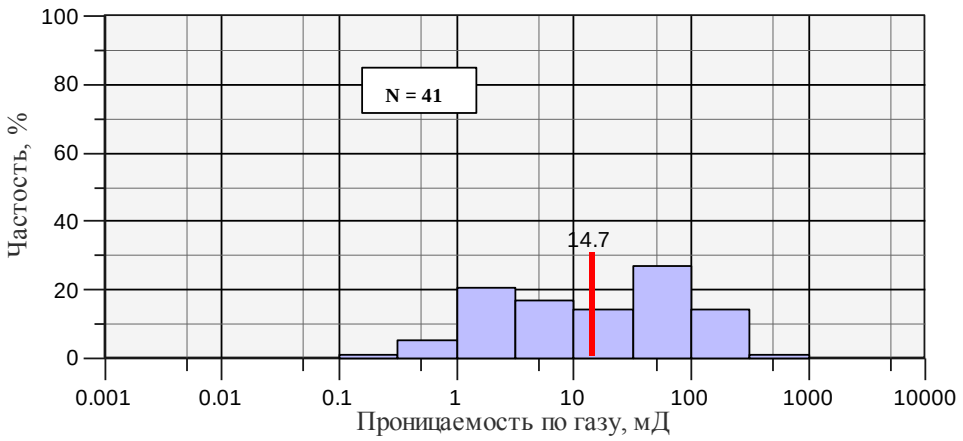


Рисунок 5.16 – Гистограммы распределения проницаемости по газу: А – в объеме пород D1Op II, Б – в объеме D1Op II для пород-коллекторов



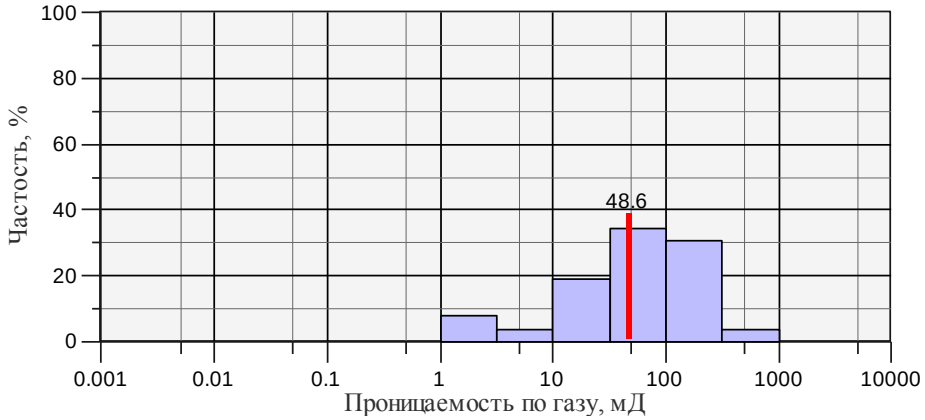


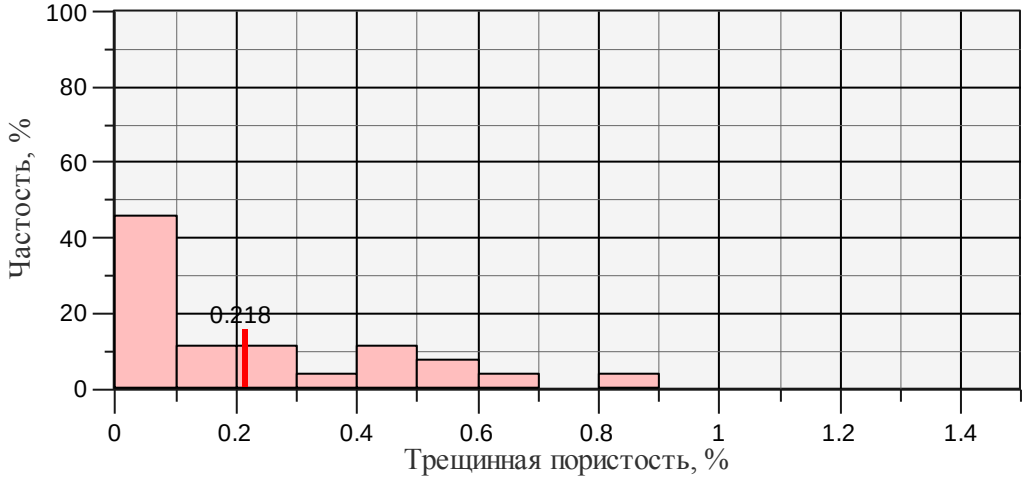
Рисунок 5.17 – Гистограммы распределения проницаемости по газу: А – в объеме пород D1Ор III, Б – в объеме D1Ор III для пород-коллекторов

5.3.2. Характеристика трещинной емкости и остаточной водонасыщенности.

В продуктивной части разреза овинпармского горизонта по данным исследования керна выделено три типа коллектора, каждый из которых имеет трещинную составляющую: трещинно-порово-каверновый, трещинно-поровый и порово-трещинный. Первый тип представлен доломитами по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам. Второй и третий типы коллекторов представлены преимущественно доломитами по биогермным водорослевым известнякам.

Оценка трещинной емкости проведена на полноразмерных образцах керна. Пористость, связанная с трещинами, для коллектора трещинно-порово-кавернового типа (D1ОрII) в среднем составляет 0,21%, для коллекторов двух других типов – 0,05% (Рисунок 5.18).

Отмечается присутствие значимого объема трещин в пластах, где выделены коллекторы с пористостью выше граничной (Кп>6%). В интервалах пород с низкой пористостью трещин мало и они практически все минерализованы.



А

Б

В

Рисунок 5.18 – Гистограммы распределения трещинной пористости по газу (D=100 мм) для пород-коллекторов: А– D1Ор II, Б – D1Ор III, В – D1Ор IV

По построенной зависимости остаточной водонасыщенности, полученной методом полупроницаемой мембраны, от пористости по насыщению видно, что породы-коллекторы пласта D1OpII-II характеризуются меньшими значениями остаточной водонасыщенности по сравнению с породами-коллекторами пласта D1OpIII даже при сходных значениях пористости (Рисунок 5.19). Породы-коллекторы D1OpII-II– это доломиты по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам, D1OpIII – доломиты по биогермным водорослевым известнякам. Соответственно, второй тип характеризуется присутствием тонкодисперсной глинистой примеси среди мелозернистой доломитовой массы, что приводит к увеличению количества связаннной воды в породах.

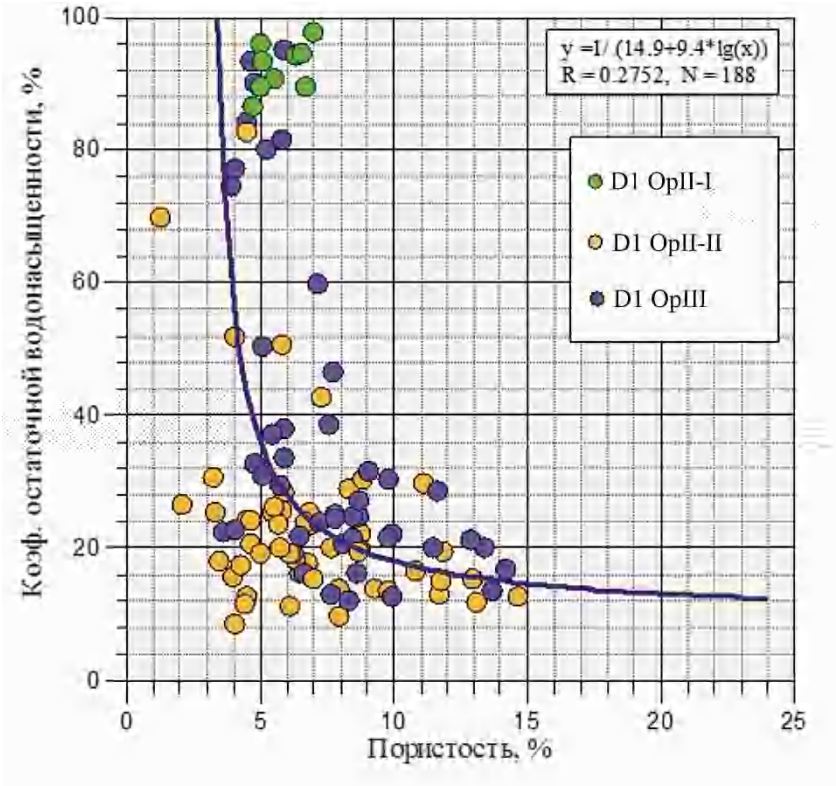


Рисунок 5.19 – Зависимость коэффициента остаточной водонасыщенности от пористости по насыщению

Таким образом, установленные в результате литолого-петрофизических исследований отличия указывают на то, что для корректной оценки ФЕС необходимо учитывать особенности структуры биогермных пород. В данном случае корректная модель эффективного объема пород коллекторов создана с использованием разномасштабных исследований, поскольку в доломитах по водорослево-строматопоровым известнякам основной вклад в общий объем пустотного пространства вносит каверновая составляющая. Каверновую составляющую оказалось возможным учесть только при проведении дополнительных исследований методом рентгеновской томографии. Это те пустоты выщелачивания, которые возникли по первичным внутри- и межкаркасным пустотам – внутри и между крупных элементов каркаса,

сформированного при симбиозе водорослей и строматопор. Развитие такого типа пустот характерно только для этого литотипа, в отличие от доломитов по водорослевым известнякам, характеризующимся преобладанием в каркасе водорослевой составляющей и как следствие наличием обычной пористости и микропористости внутри и между элементов водорослевого каркаса. Водорослевые образования, представленные в данном случае цианобактериальными сообществами, не формировали рельефно выраженного «жесткого», устойчивого каркаса, характеризующегося крупными элементами. Условия формирования такого типа отложений характеризуются низкой гидродинамической активностью, что и отражается в наличии небольшого количества глинистой примеси.

В результате проведенных исследований выделено три типа коллекторов: трещинно-порово-каверновый – в доломитах по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам, трещинно-поровый и порово-трещинный – преимущественно в доломитах по биогермным водорослевым известнякам. Для выделенных типов средние значения пористости (с учетом каверн) составляют 12,8% и 10,3% соответственно. При этом за счет каверн происходит увеличение пористости пород на 5,43%, что приводит к увеличению емкости до 70%. Вклад трещинной емкости составляет в среднем 0,21% для трещинно-порово-кавернового типа, для коллекторов двух других типов – 0,05%.

Первый тип коллекторов характеризуется лучшими показателями ФЕС, что обусловлено интенсивным проявлением процессов выщелачивания в первично высокоемком водорослево-строматопоровом каркасе. При чем, выщелачивание, приуроченное к трещинам, развивающимся уже в пластовых условиях, привело к дополнительному улучшению коллекторского потенциала этого типа пород. Этот же процесс наблюдается и в доломитах по биогермным водорослевым известнякам, но интенсивность его гораздо ниже, поскольку первичное пустотное пространство представлено гораздо менее крупными пустотами внутри цианобактериального каркаса.

6. Седиментационная цикличность нижнедевонских отложений.

Циклостратиграфический анализ и корреляция разрезов проведены по 107 скважинам продуктивных площадей северо-восточной части Хорейверской впадины: месторождений Колвинское (Колвависовская ступень), им. Р. Требса и А. Титова (Садаягинская ступень).

По литолого-геофизическим признакам разрез отложений овинпармского горизонта разделен на четыре циклита (Рисунок 6.1). В обоснование такого разделения положены не только признаки генетической общности пород внутри циклита, но и возможность проследить выделенные седиментационные единицы на изученной площади.

Общие толщины овинпармского горизонта нижнего девона на изученных площадях составляют: 35-148 м по скважинам на Колвависовской ступени, 64-168 м по скважинам Садаягинской ступени. Выделенные циклиты характеризуются толщинами от 10 до 65 м. Для завершающего разрез циклита характерны значительные вариации толщин, в некоторых случаях отмечается его отсутствие. Это обусловлено денудацией отложений во время крупного среднедевонского перерыва.

Выделенные элементарные циклиты разреза характеризуются «регрессивной» направленностью строения: вверх по разрезу внутри циклита наблюдается переход от глинистых пород к относительно чистым доломитам по биогермным известнякам. Глинистые породы соответствуют периодам относительного повышения уровня моря на начальном этапе формирования отложений. Поверхность максимального повышения относительного уровня моря коррелируется с максимально высоким уровнем показаний ГК, соответствующим наибольшему содержанию глинистой примеси в породах.

Отмеченные особенности строения циклитов определяют их ассиметричный облик. Наибольшей асимметрией характеризуется третий циклит Ор III, который содержит в средней части пачку известняков с узловато-слоистой текстурой. Этот циклит также отличается от других увеличенной толщиной за счет пачки известняков узловато-слоистых и появлению в верхней части пачки доломитов по биогермным известнякам. По-видимому, этот циклит формировался в наиболее стабильных однонаправленных изменениях уровня моря, затрагивающих весь бассейн осадконакопления. Начало этого периода соответствует трансгрессии и относительному опреснению бассейна, в отличие от предыдущих и последующих периодов. Это способствовало преобладанию известковой седиментации без значительного количества примеси магния, наличие которой в отложениях других периодов обусловило формирование вторичных доломитов.

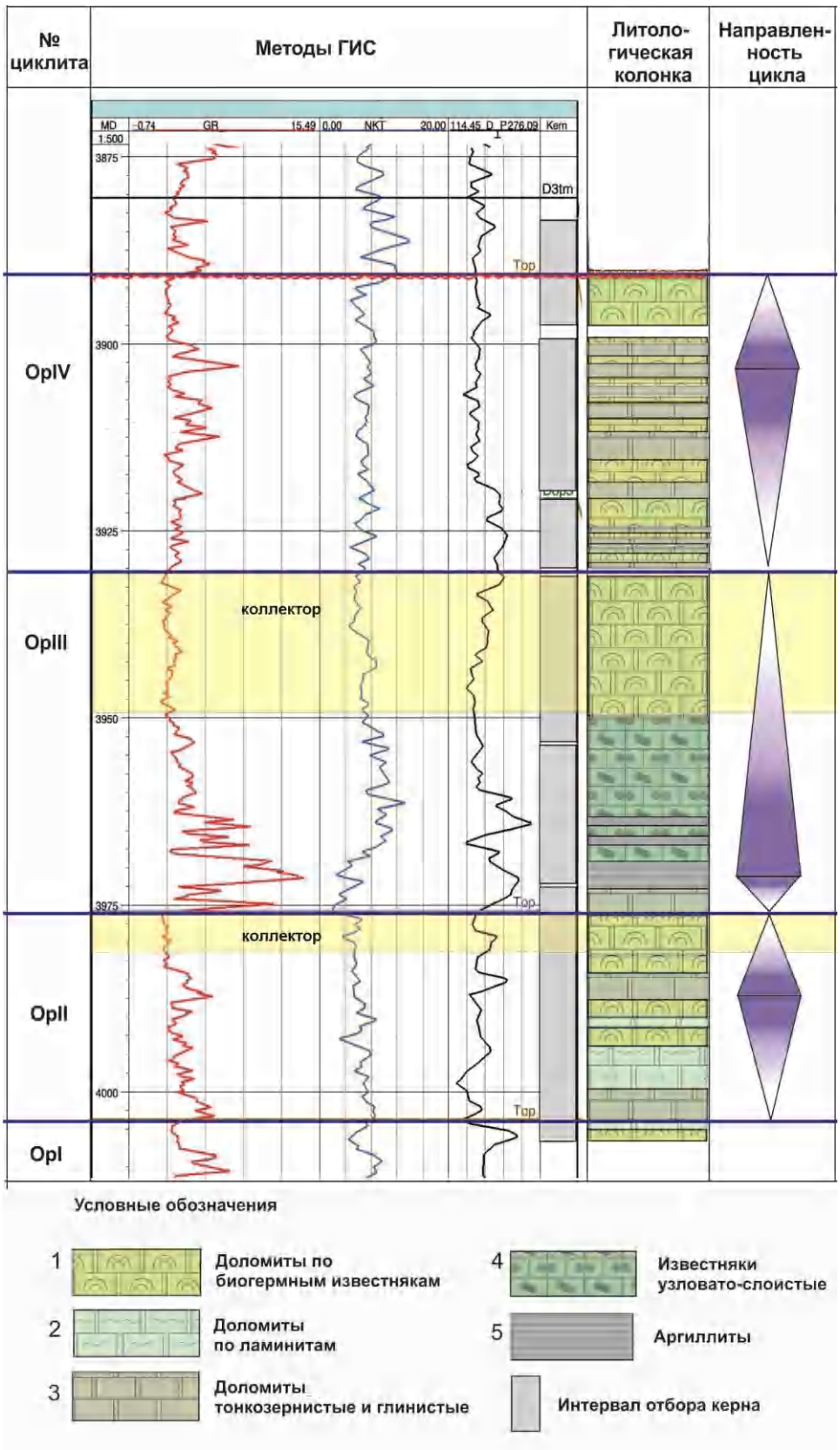


Рисунок 6.1 – Выделение циклитов в разрезе овинпармских отложений по литолого-геофизическим признакам

Три других выделенных циклита характеризуются меньшей асимметрией за счет частого чередования мелких циклитов аналогичного строения – с переходом от глинистых и тонкозернистых доломитизированных осадков к более чистым доломитам по биогермным известнякам. Во втором циклите эпизодически встречаются прослои доломитов по ламинитам, указывающие на установление крайне мелководных лагунных обстановок. Вероятно, это время характеризовалось максимумом регрессии в течение нижнедевонского периода, поскольку резкая граница между доломитами Ор II и перекрывающими их глинистыми отложениями Ор III позволяет с большой долей вероятности говорить о существовании перерыва в осадконакоплении, возможного при максимальном падении относительного уровня моря.

Выделяющиеся внутри основных циклитов мелкомасштабные единицы затруднительно коррелировать по площади, поскольку фациальная изменчивость отложений обуславливает вариации количества таких элементов внутри одного циклита по площади. Поэтому за основные седиментационные единицы взяты циклиты более крупного масштаба.

Толщины глинистых «реперных» частей циклитов составляют 6-16 м, интервалов относительно чистых пород – 5-28 м.

Распределение пород-коллекторов внутри выделенных седиментационных циклитов подчиняется закономерности распределения пород биогенного генезиса: интервалы пород-коллекторов приурочены к верхним частям циклитов, сложенных доломитами по биогермным водорослевым и водорослево-строматопоровым известнякам. При этом, трещинно-порово-каверновый тип коллектора в доломитах по водорослево-строматопоровым известнякам распространен в верхней части циклита Ор II (Рисунок 6.2). Трещинно-поровые и порово-трещинные коллекторы в доломитах по водорослевым известнякам приурочены к верхним частям циклитов Ор III и Ор IV (Рисунок 6.3-Рисунок 6.4).

На двух основных изученных площадях – Садаягинской и Колвависовской ступеней – отмечаются следующие различия в строении выделенных циклитов.

Общие толщины овинпармских отложений в среднем выше на территории Садаягинской ступени (64-168 м), чем на территории Колвависовской ступени (35-148 м) с разницей до 20 м в разрезах с полным набором циклитов. Это связано с общим увеличением объема пород биогенного генезиса, преимущественно доломитов по биогермным водорослевым известнякам. Такое увеличение отмечается в циклите Ор III, где четко выделяются подциклиты асимметричного строения, а также в циклите Ор IV (Рисунок 6.5).

Вместе с тем разрезы Садаягинской ступени характеризуются наличием продуктивных интервалов в циклите Ор IV в отличие от разрезов Колвависовской ступени, где породы-коллекторы в этом циклите встречаются спорадически и не рассматриваются как рентабельные продуктивные пласты.

Улучшение качества коллекторов в разрезах Ор IV Садаягинской ступени обусловлено двумя факторами – фациальными особенностями и интенсивностью развития трещиноватости. По-видимому, формирование биогенных пород циклита Ор IV происходило в более мелководных шельфовых обстановках, что способствовало развитию первичной пористости, перешедшей в межкристаллическое пустотное пространство при последующей доломитизации. Помимо этого можно предположить, что интенсивность прогибания площади Садаягинской ступени была несколько выше, что привело к формированию увеличенных по толщине интервалов биогенных отложений, которые компенсировали тектоническое погружение.

Второй фактор – трещиноватость, проявляется в разрезах расположенных вблизи разломных зон. Именно в таких разрезах, где обнаруживается сочетание двух указанных факторов, выделяются перспективы развития пород-коллекторов в верхних частях циклита Ор IV.

Таким образом, разрез овинпармских отложений характеризуется циклическим строением, позволяющим прослеживать по площади седиментационные единицы, перспективные в отношении коллекторского потенциала. В разрезе уверенно выделяются четыре основных седиментационных циклита, обладающих регрессивной направленностью строения, выраженной в четком переходе от глинистых пород к относительно чистым породам биогермного происхождения.

Основные продуктивные интервалы с коллекторами лучшего качества приурочены к верхней части циклита Ор II. В этой части циклита породы-коллекторы представлены доломитами по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам и относятся к трещинно-порово-каверновому типу. Продуктивными также могут быть верхние части циклитов Ор III и Ор IV, сложенные доломитами по биогермным водорослевым известнякам. В этих интервалах возможно развитие трещинно-поровых и порово-трещинных коллекторов при сочетании двух факторов – увеличении толщин пород биогенного генезиса и интенсивном развитии трещиноватости.

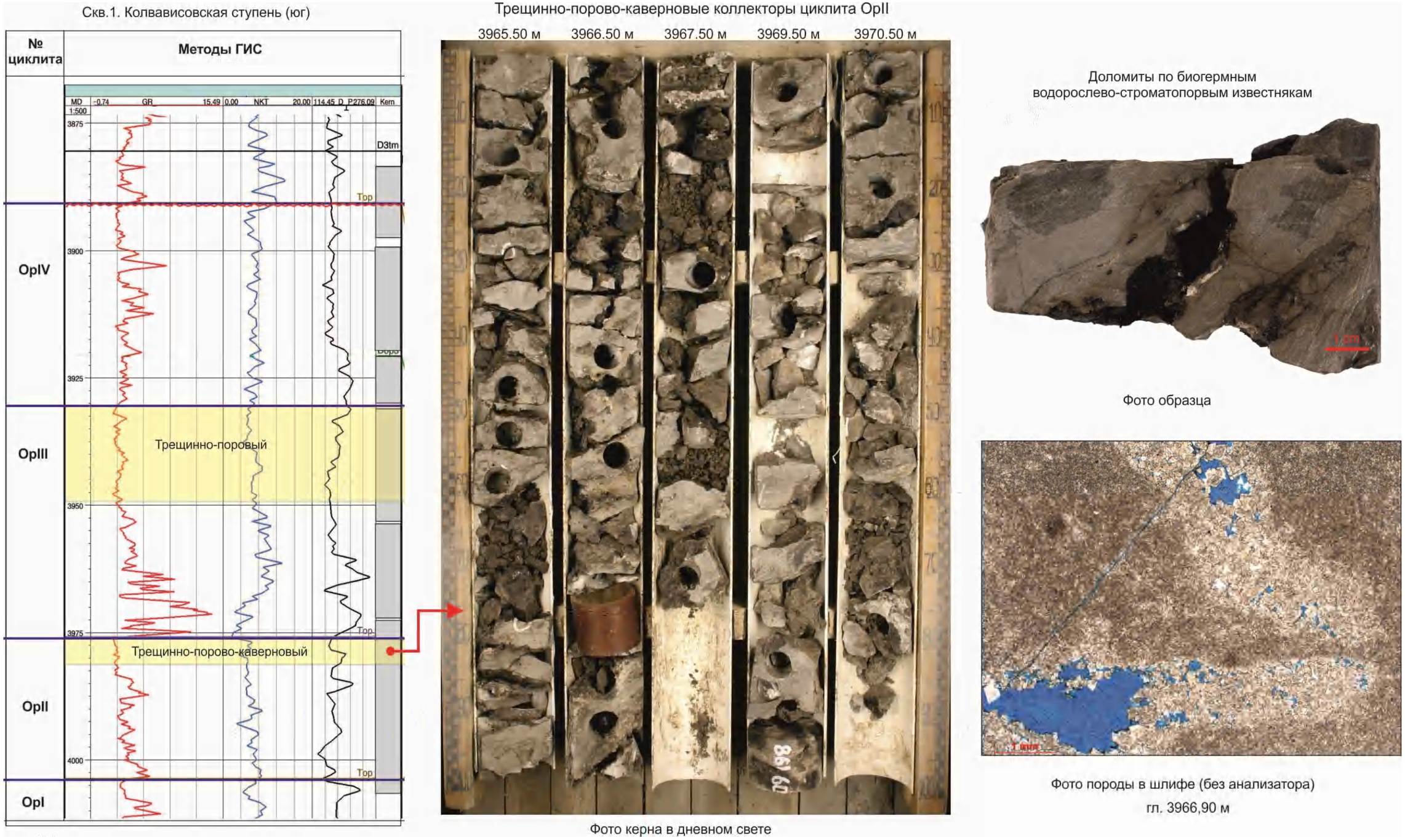


Рисунок 6.2 – Трешинно-порово-каверновый тип коллектора циклита Op II

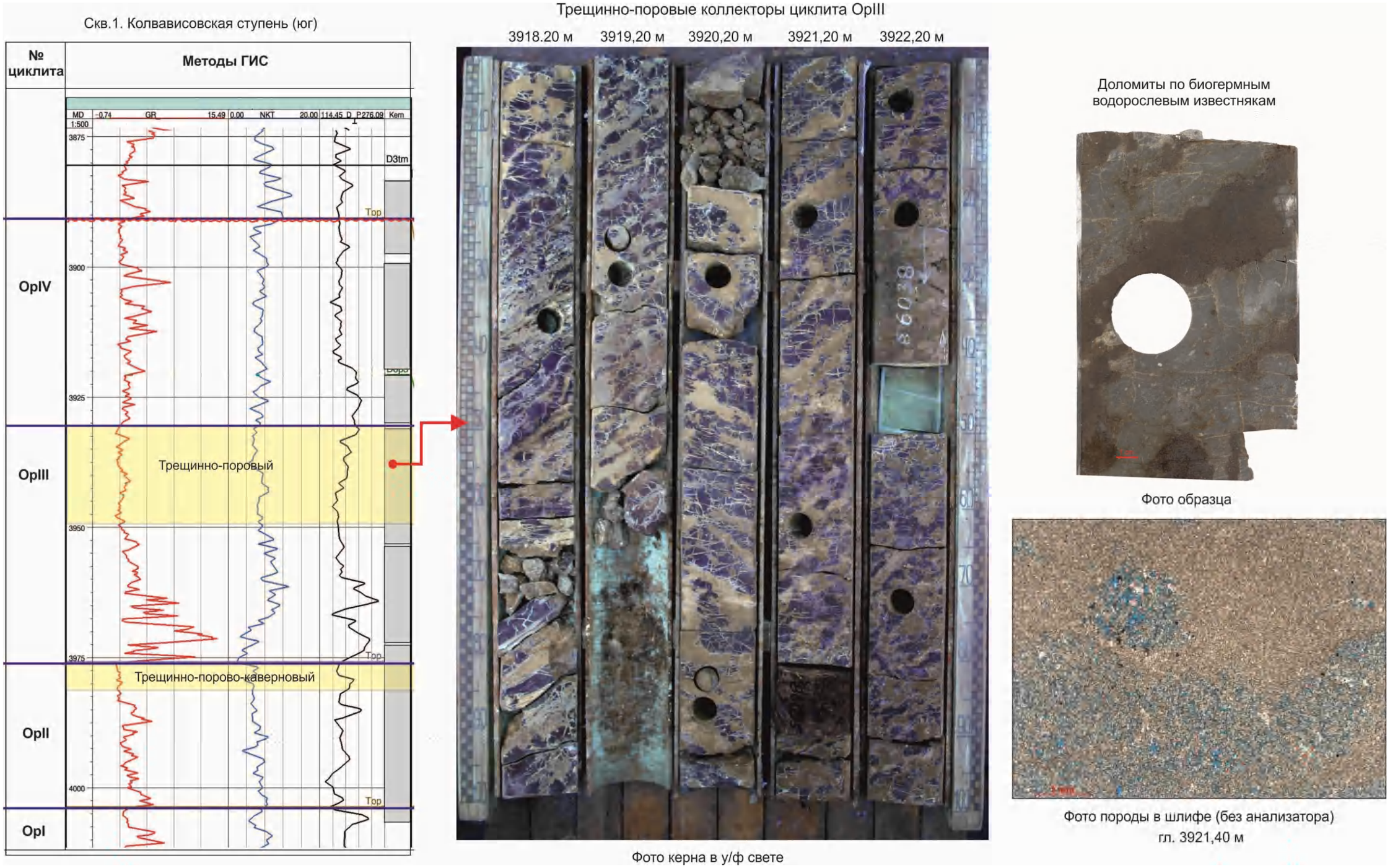


Рисунок 6.3 –Трещинно-поровый тип коллектора циклита Ор III

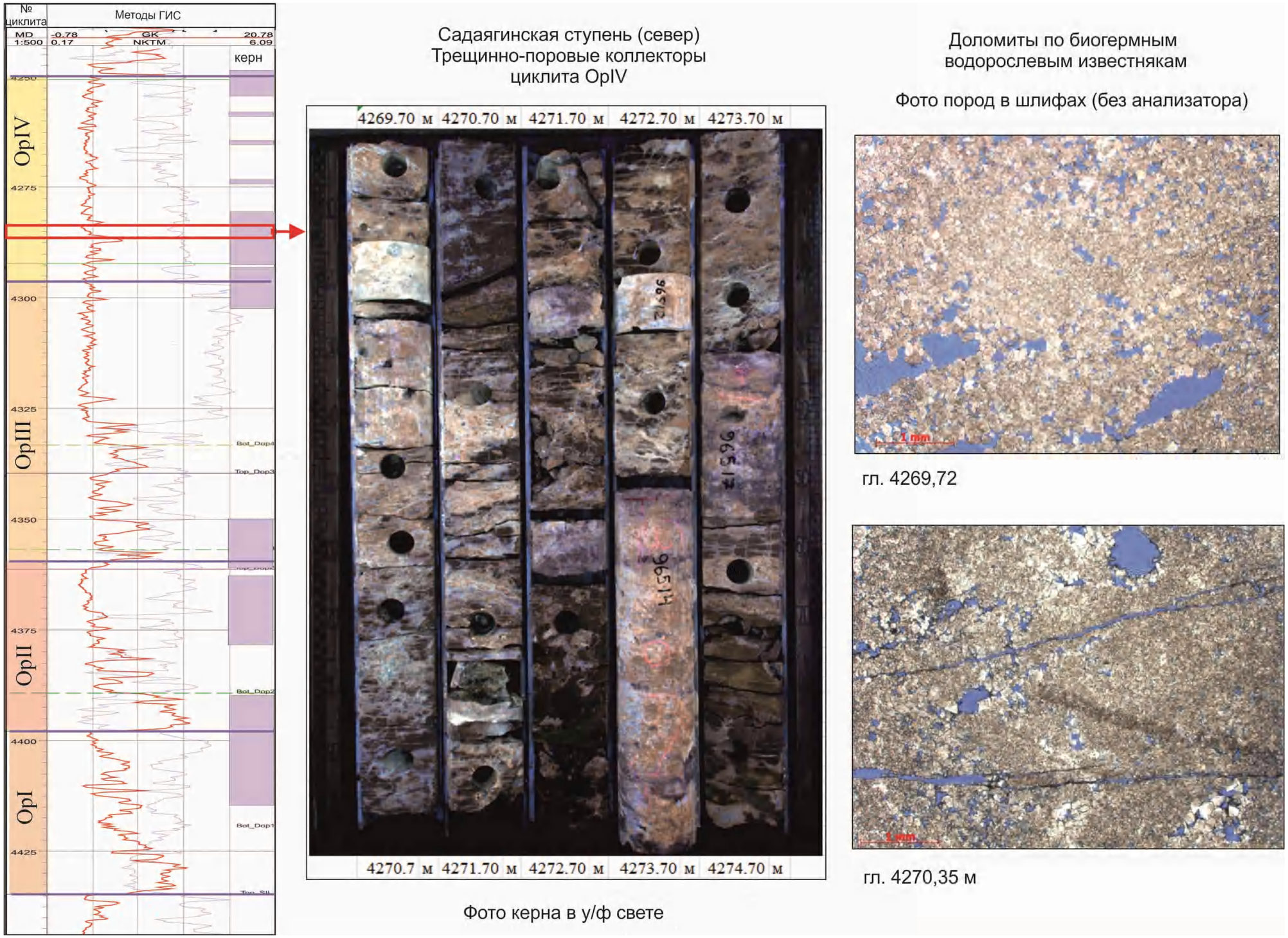


Рисунок 6.4 – Трещинно-поровый тип коллектора циклита Op IV

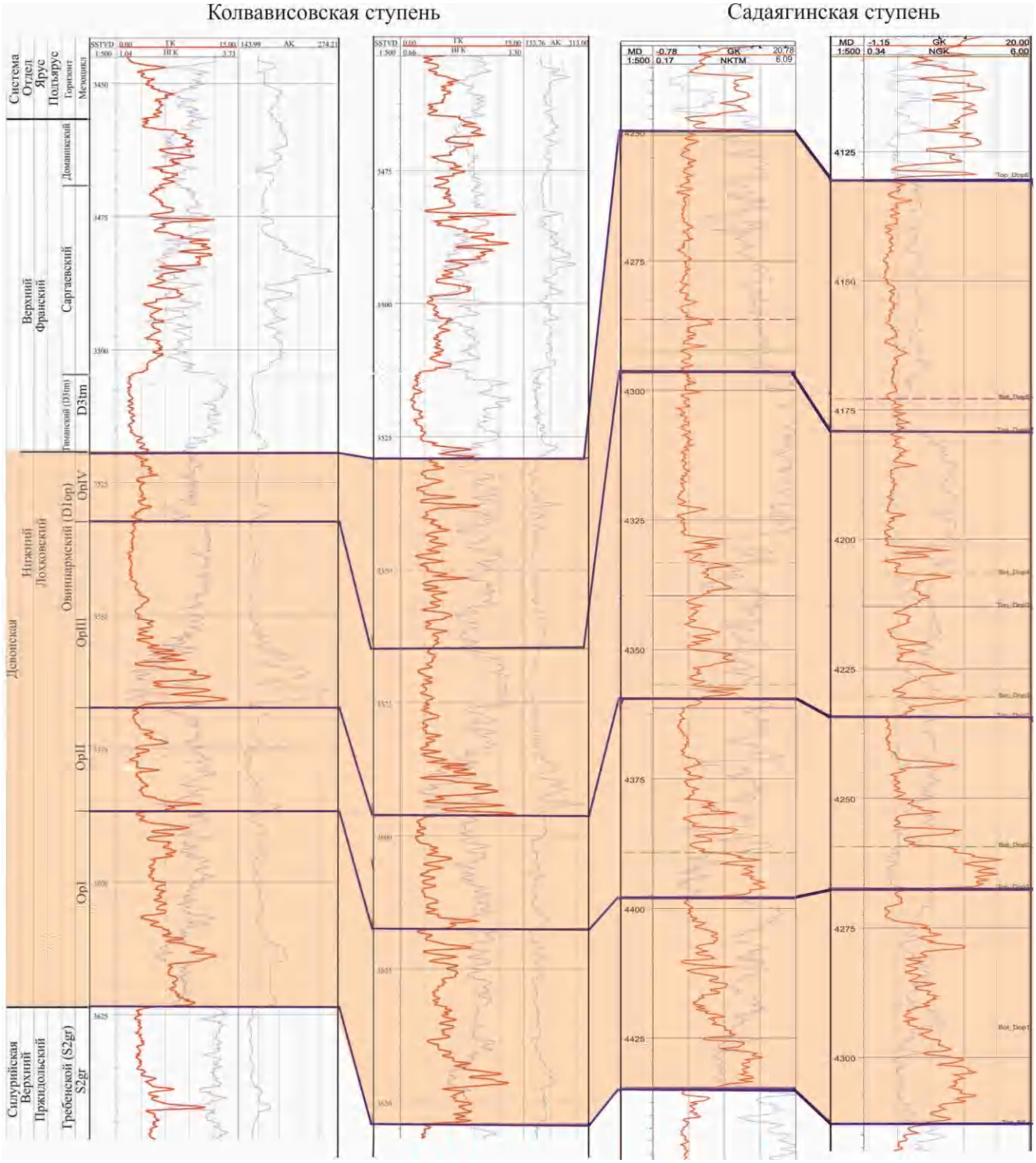


Рисунок 6.5 – Изменение толщин циклитов в районах Колвависовской и Садаягинской ступеней

7. Литолого-фациальная зональность и распределение пород-коллекторов в нижнедевонских отложениях.

По данным работ предыдущих исследователей [64] территория Хорейверской впадины в нижнедевонское время представляла собой область мелководного шельфа морского бассейна полого погружающейся на восток карбонатной платформы. На время раннего девона данная территория характеризуется широким развитием обстановок сублиторали (Танинская, 1998). Изученные площади Садаягинской и Колвависовской ступеней находятся в непосредственной близости к предполагаемой для этого времени береговой линии (Рисунок 7.1).

Рисунок 7.1 – Схема фациальной зональности для локховского века (по данным Н.В. Танинской, 2010): I – Колвависовская ступень, II – Садаягинская ступень

В результате комплексного анализа литолого-геофизических данных, обзора литературных источников, а также, сопоставления с аналоговыми современными обстановками, изученная территория дифференцирована на литолого-фациальные зоны мелководного шельфа, характеризующегося развитием одиночных биогермных построек по типу «лоскутных» рифов.

По-видимому, в периоды относительной изоляции от океана происходило повышение минерализации вод бассейна, что способствовало интенсивному развитию процессов вторичной доломитизации. Эти процессы привели к значительному изменению структурно-текстурных особенностей пород, что затрудняет интерпретацию условий осадконакопления.

Тем не менее, с наибольшей достоверностью диагностируются биогермные породы (доломиты по биогермным водорослево-строматопоровым, водорослевым известнякам и ламинитам), слагающие малоамплитудные постройки в пределах мелководного шельфа морского бассейна. Для других типов пород, встречающихся в разрезе (доломиты тонкозернистые и глинистые), возможно предположить, что они формировались в относительно погруженных участках шельфовой области.

Циклит Ор I характеризуется преобладанием глинистых и тонкозернистых доломитов. Доломиты по биогермным водорослевым известнякам слагают небольшие по толщине (до 3 м) прослои и не обладают значимым объемом пустотного пространства. По-видимому, после раннегребеньской трансгрессии [46] обстановки осадконакопления все еще соответствовали относительно погруженной части шельфа, что не способствовало широкому развитию биогермных построек. В условиях относительно глубоководных участков формировались «угнетенные» биоценозы с преобладанием цианобактериальных сообществ. Низкая гидродинамическая активность среды способствовала осаждению тонкодисперсной глинистой примеси и цементации первичного пустотного пространства. Таким образом, маловероятно развитие коллекторов в породах этого циклита.

Наиболее рельефно выраженные постройки (амплитудой 3-15 м) развивались в период формирования отложений циклита Ор II. Постройки характеризуются обособленностью и их конфигурация сопоставима с таковой у современных «лоскутных» рифов, развивающихся, например, вблизи побережья Пуэрто-Рико в Карибском море (Рисунок 7.2). Вероятно, для этого периода нижнедевонского времени характерно аналогичное положение биогермных построек вблизи береговой линии в пределах проксимальной части мелководного шельфа.

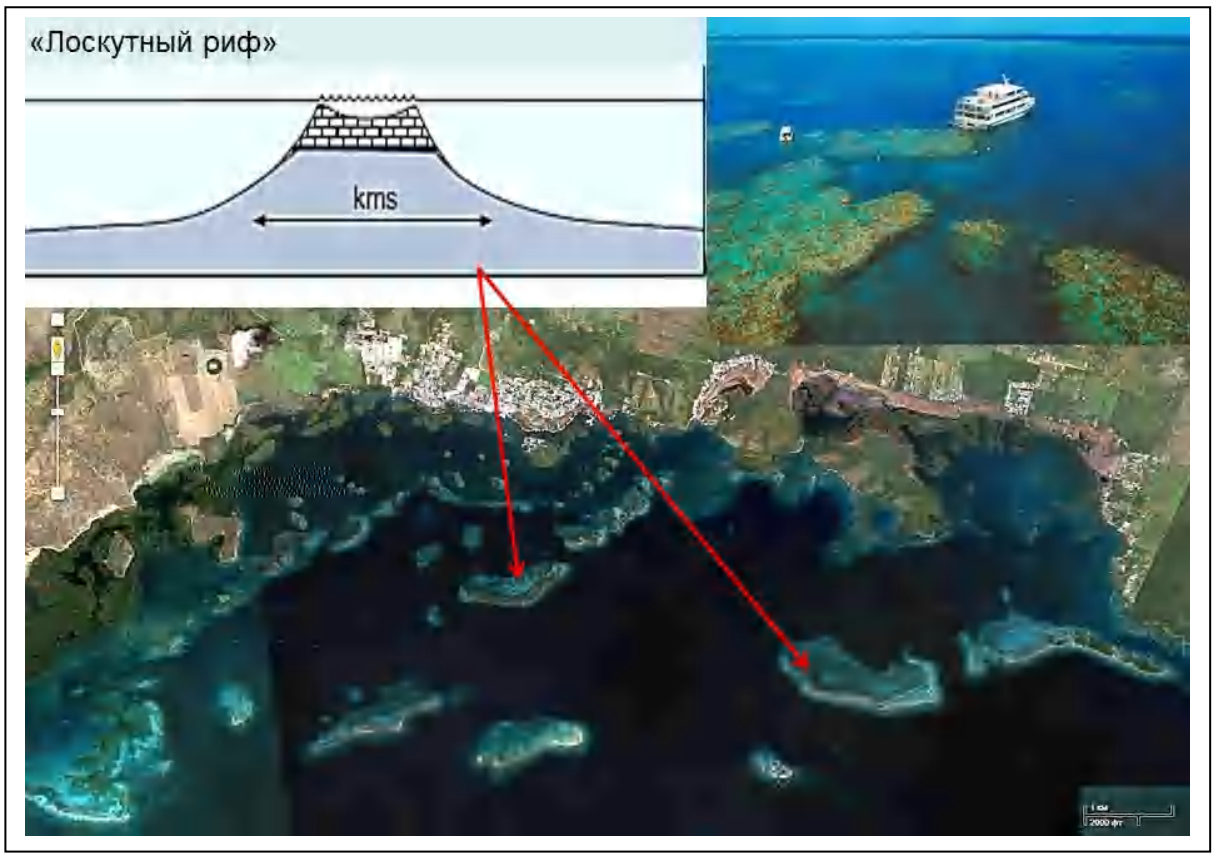


Рисунок 7.2 – Современные рифовые постройки у побережья Пуэрто-Рико (Карибское море) по типу «лоскутных рифов»

Кроме того, в строении этого циклита выделяются интервалы, сложенные доломитами по ламинитам – первично биогермными известняками с тонкослоистой, ламинитовой текстурой и структурой. Этот факт интерпретируется как возникновение лагунных обстановок в течение времени формирования циклита Ор II, что подтверждает гипотезу крайней мелководности и локального развития обособленных биогермных построек.

Органогенные структуры такого типа характеризуются резкой фациальной изменчивостью. Выделяются повышенные участки, сложенные преимущественно доломитами по водорослево-строматопоровым известнякам и узкие зоны развития доломитов по биогермным водорослевым известнякам, окаймляющие повышенные участки. Такие зоны рассматриваются как «переходные» – к глинистым и тонкозернистым отложениям подножия биогермных построек.

Основные перспективы формирования коллекторов относятся к биогермным породам циклита Ор II и связаны с доломитами по водорослево-строматопоровым известнякам. В данном случае характер развития биогермообразующих организмов обусловил формирование устойчивого к волнению в мелководных условиях каркаса, содержащего крупные меж и внутрикаркасные полости. Крайняя мелководность области осадконакопления и, как следствие, воздействие периодических волнений привели к преобладанию процессов выщелачивания и

сохранению первичного пустотного пространства. Укрупнение пустот и значительное улучшение коллекторского потенциала произошло в результате дополнительного выщелачивания, приуроченного к трещинам, уже в пластовых условиях. Соответственно, в этих интервалах произошло формирование наилучшего типа коллектора.

Циклит Ор III отличается от других циклитов хорошо выраженной асимметрией, наличием пачки известняков с узловато-слоистой текстурой, увеличением толщин как глинистой, так и относительно чистой частей разреза. Фациальная зональность циклита определяется обстановками относительно погруженной части шельфа, в которую перешла область осадконакопления во время новой фазы трансгрессии.

Заполнение образовавшегося пространства аккомодации произошло преимущественно за счет известняков узловато-слоистых. Этот тип отложений по структурно-текстурным характеристикам в данном случае можно отнести к специфическим относительно глубоководным биогермным образованиям. Породы с такими текстурными характеристиками описаны и изучены различными исследователями во многих регионах и стратиграфических диапазонах, в том числе и в девонских отложениях Тимано-Печорской провинции [23]. В каждом случае интерпретация обстановок осадконакопления опирается на комплекс выявленных специфических особенностей структуры, состава пород, а также их взаимоотношения с подстилающими и перекрывающими отложениями.

В данном случае этот тип отложений представляет собой относительно глубоководные биогермы, сформированные цианобактериальными сообществами в условиях недостатка света и низкой гидродинамической активности среды. Тем не менее, присутствие остатков зеленых водорослей, раковин двустворчатых моллюсков в обломочной части указывает как раз на «относительную» глубоководность области осадконакопления и ее близость к фотической зоне.

Отложения этого типа имеют протяженное площадное распространение и среди них не выделяются рельефно выраженные органогенные постройки. Также эти породы не обладают значимым объемом пустотного пространства и не рассматриваются как потенциально возможные коллекторы.

Толщины пачки узловато-слоистых известняков достигают 30 м. Эта компенсация глубины бассейна дала возможность для образования водорослевого биогерма на завершающем этапе формирования циклита Ор III.

В верхней части циклита выделяется пачка доломитов по биогермным водорослевым известнякам толщиной до 30 м и в отдельных случаях породы представляют собой коллекторы трещинно-порового типа.

Таким образом, для циклита Ор III возможно выделение по данным ГИС участков повышенных толщин, характеризующихся наличием пористости. Эти участки представляют

собой небольшие органогенные постройки, в которых возможно развитие низкоемких коллекторов. При этом для разрезов Садаягинской площади такие перспективы более очевидны, поскольку в общем объеме циклита Ор III на этой площади больше интервалов, сложенных биогермными породами.

Циклит Ор IV формировался на фоне общей регрессии, окончившейся среднедевонским перерывом в осадконакоплении [3,20,55,70]. Циклит представляет собой переслаивание тонкозернистых, глинистых доломитов и доломитов по биогермным водорослевым известнякам. Эти породы слагают наиболее мелководные биогермные постройки в овинпармском горизонте. При этом экологические условия, по-видимому, не способствовали расцвету строматопороидей, поэтому в каркасе пород преобладает водорослевый (цианобактериальный) компонент. Мелководность области формирования отложений обеспечила сохранение первичной невысокой пористости. Хотя такие органогенные постройки характеризуются широким площадным распространением, но все же имеют малую амплитуду. Поэтому прогнозировать экономически рентабельные коллекторы в таких отложениях возможно лишь при сочетании двух факторов: достаточной общей мощности пористых прослоев и широкого развития трещиноватости. В этом случае возможно возникновение трещинно-порового и порово-трещинного типов низкоемких коллекторов.

Дифференциация литолого-фациальных зон по площади проведена на основании анализа карт изменения общих, эффективных толщин отложений, а также распределения пористости пород-коллекторов отдельно для каждого циклита (Рисунок 7.3).

Зоны с пористостью более 12% были выделены как области биогермных построек сложенные доломитами по водорослево-строматопоровым известнякам. Предполагается, что на этих мелководных участках наиболее приближенных к экзогенной зоне вторичные процессы протекали наиболее активно что обеспечило развитие пород-коллекторов с более высокими ФЕС.

Участки с пористостью от 9 до 12 % определены как зоны развития биогермных построек, представленные доломитами по водорослевым известнякам, а области, в разрезе которых преобладают доломиты по водорослевым известнякам с пористостью от 6 до 9 %, отнесены к переходным зонам и внутренним лагунам биогермных построек. В относительно погруженную часть мелководного шельфа, а также наиболее мелководную прибрежную зону отнесены области с пористостью менее 6%. Вероятно предположить развитие в этих областях ламинитовых и тонкозернистых глинистых пород.

Таким образом, литолого-фациальная зональность овинпармских отложений Хорейверской впадины соответствует зоне мелководного шельфа, близкой к береговой линии.

Интенсивная вторичная доломитизация отложений связана, по-видимому, с периодами изоляции территории от океана и увеличением минерализации вод во время осадконакопления.

На изученной территории происходило развитие одиночных малоамплитудных биогермных построек – «лоскутных» рифов. Основными организмами биогермостроителями были цианобактериальные («водорослевые») сообщества и строматопороидеи. Наиболее выраженными в рельефе оказались участки развития водорослево-строматопоровых сообществ, формирующих более «жесткий» каркас с наличием крупных меж и внутрикаркасных полостей. В этих же зонах наиболее интенсивно протекали процессы выщелачивания, в результате чего произошло улучшение фильтрационно-емкостных свойств пород.

Основные перспективные зоны связаны с трещинно-порово-каверновым типом коллектора в доломитах по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам и прогнозируются по комплексу карт распределения пористости общих и эффективных толщин (Рисунок 7.4). Такие зоны выделяются по значению пористости от 12% и выше в породах верхней части циклита Ор II.

В зонах развития доломитов по биогермным водорослевым известнякам возможно формирование коллекторов трещинно-порового и порово-трещинного типа в случае интенсивного трещинообразования. Эти зоны приурочены к областям распространения отложений циклита Ор IV и верхней части циклита Ор III. При этом наибольшие перспективы связаны с территорией Садаягинской ступени, поскольку толщины указанных циклитов выше в связи с увеличением объема пород биогенного генезиса.

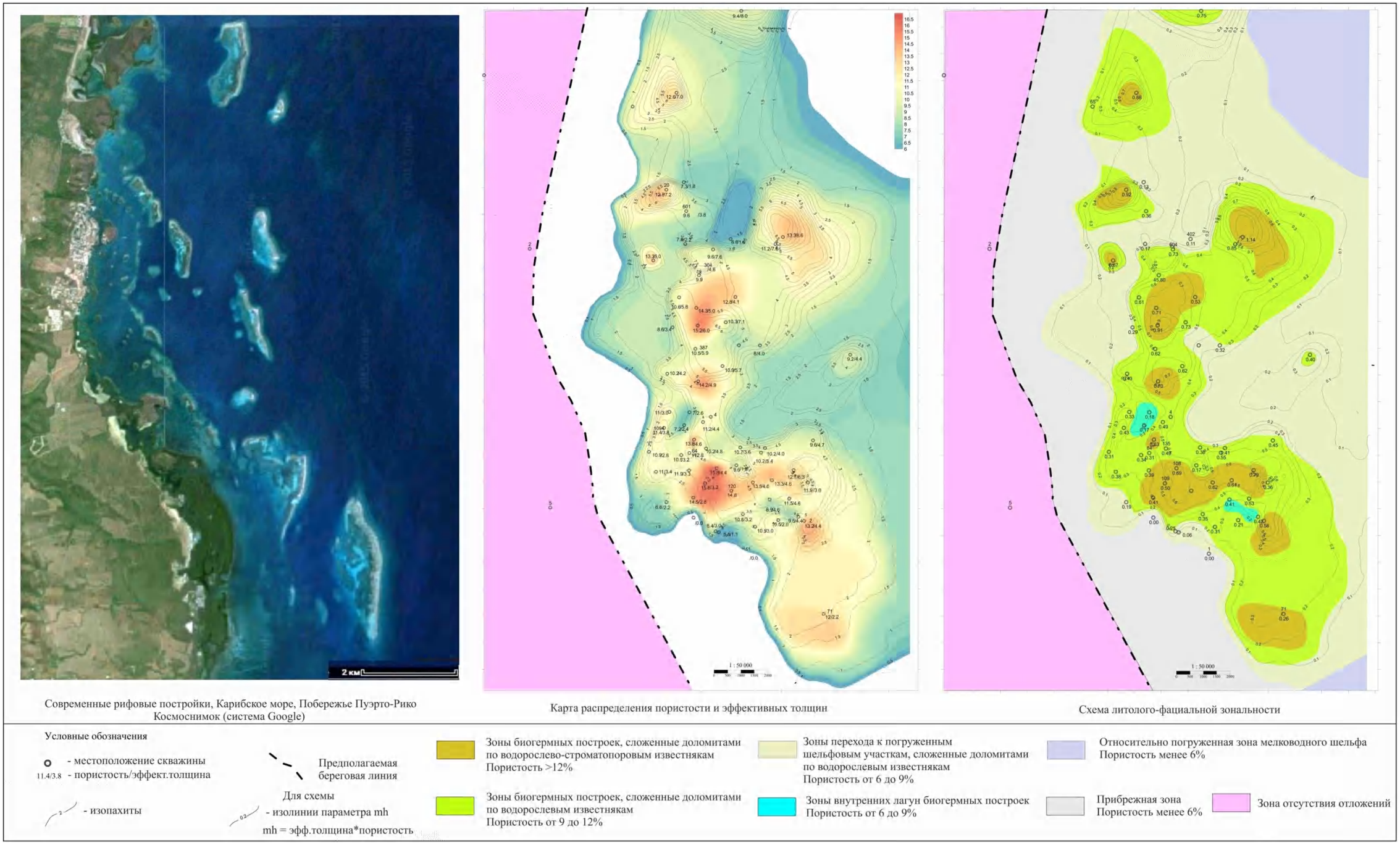


Рисунок 7.3 – Моделирование литолого-фациальной зональности циклита Op II

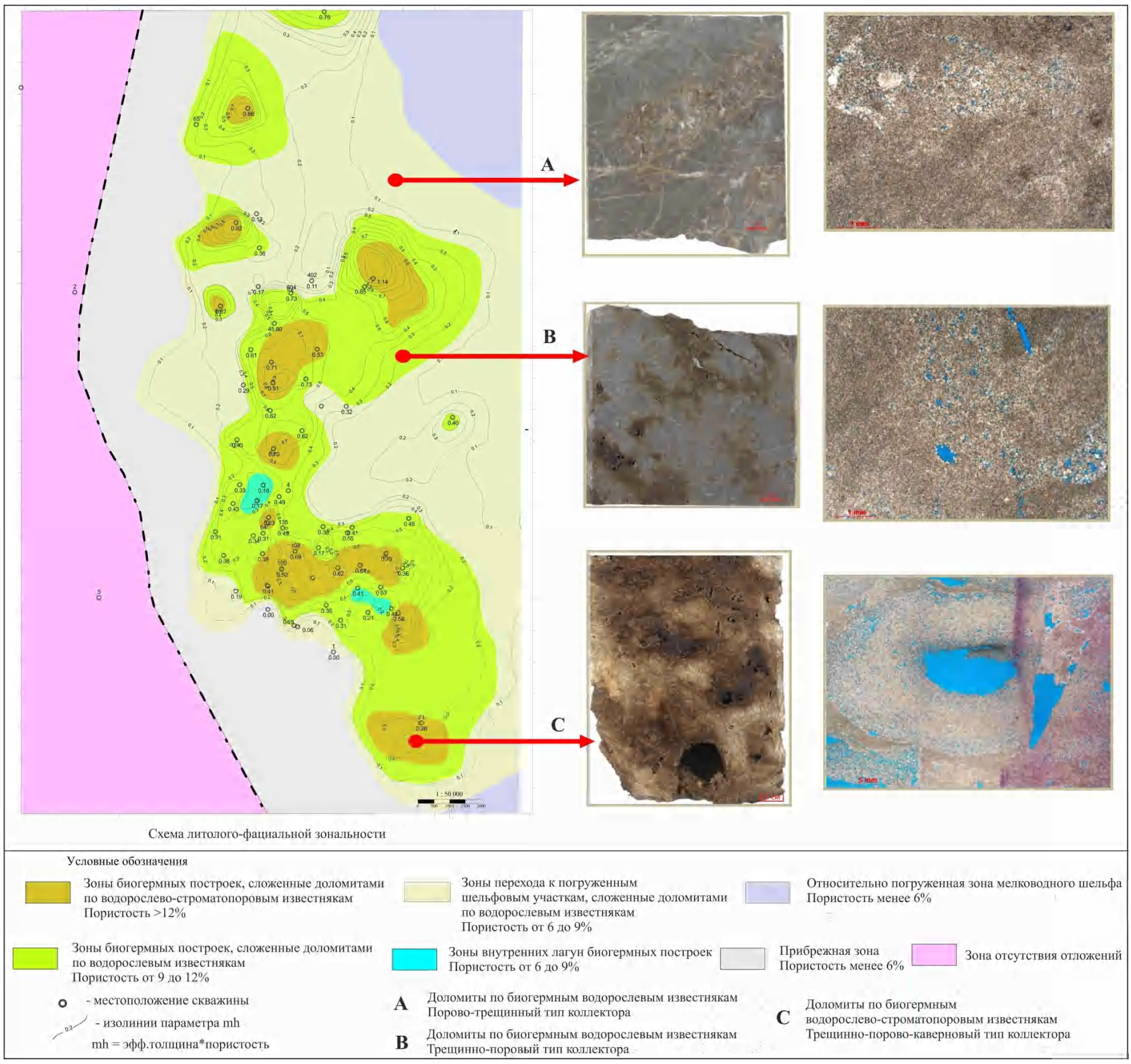


Рисунок 7.4 – Прогноз распределения пород-коллекторов в различных литолого-фациальных зонах циклита Ор II

Заключение

В результате комплексных литолого-петрофизических исследований установлено, что на изученной территории овинпармские отложения представляют собой преимущественно вторичные доломиты. При этом в общем объеме разрезов преобладают доломиты, заместившие первично биогермные известняки. Пустотное пространство пород преставлено межкристаллической пористостью, пустотами выщелачивания и открытыми трещинами. Наиболее интенсивно проявлены процессы трещинообразования и развития каверн в доломитах по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам.

Выявлено, что для корректной оценки ФЕС необходимо учитывать особенности структуры биогермных пород. Создание корректной модели эффективного объема пород-коллекторов возможно только с использованием разномасштабных исследований, поскольку в доломитах по водорослево-строматопоровым известнякам основной вклад в общий объем пустотного пространства вносит каверновая составляющая. Такие особенности обусловлены генетическим фактором. Формирование специфического каркаса с крупными меж- и внутрикаркасными полостями оказалось возможным в случае симбиоза водорослей и строматопор. Тогда как вторичные доломиты с преобладанием водорослевой (цианобактериальной) составляющей характеризуются наличием преимущественно межкристаллической плохо связанной пористости.

В доломитах по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам выделен трещинно-порово-каверновый тип коллектора, трещинно-поровый и порово-трещинный типы развиты преимущественно в доломитах по биогермным водорослевым известнякам. Для выделенных типов средние значения пористости (с учетом каверн) составляют 12,8% и 10,3% соответственно. При этом за счет каверн происходит увеличение пористости пород на 5,43%, что приводит к увеличению емкости до 70%. Вклад трещинной емкости составляет в среднем 0,21% для трещинно-порово-кавернового типа, для коллекторов двух других типов – 0,05%.

Наилучшими показателями ФЕС характеризуется трещинно-порово-каверновый тип, что обусловлено не только высоким первичным емкостным потенциалом, но интенсивным проявлением вторичных процессов – выщелачивания и трещинообразования. При этом дополнительное улучшение ФЕС произошло при выщелачивании, связанном с трещинообразованием. Интенсивность таких процессов выщелачивания в доломитах по биогермным водорослевым известнякам намного ниже, поскольку первичное пустотное пространство представлено гораздо менее крупными и хуже связанными пустотами внутри цианобактериального каркаса.

Выявлено, что в составе изученных разрезов преобладают породы первично биогенного генезиса. Это позволяет предположить, что формирование отложений происходило в мелководной шельфовой зоне морского бассейна с незначительными колебаниями относительного уровня моря. При этом существенное изменение условий осадконакопления происходило лишь однажды и, по-видимому, связано с общим для всего бассейна значительным подъемом уровня моря. Этому периоду соответствует время накопления пачки узловато-слоистых известняков, слагающей средние части разрезов.

Разрез нижнедевонских отложений на территории Хорейверской впадины подразделяется на четыре основных седиментационных циклита. Циклиты характеризуются регрессивной направленностью строения – наблюдается явно выраженный переход от глинистых к относительно чистым биогермным породам вверх по разрезу.

Помимо этого циклиты обладают разной степенью асимметрии. Наиболее ассиметричным является циклит Ор III, выделяющийся в средней части разреза. В отличие от других циклитов, состоящих преимущественно из доломитизированных пород, Ор III содержит пачку известняков узловато-слоистых. Также эти циклиты характеризуются меньшей степенью асимметрии за счет частого чередования более мелких подциклитов.

Породы-коллекторы приурочены к верхним частям циклитов, сложенным доломитами по биогермным водорослевым и водорослево-строматопоровым известнякам. Наилучшие по качеству трещинно-порово-каверновые породы-коллекторы слагают интервалы в верхней части циклита Ор II, породы-коллекторы трещинно-порового и порово-трещинного типов приурочены к интервалам биогермных пород циклита Ор IV и верхней части циклита Ор III.

На двух основных изученных площадях – Садаягинской и Колвависовской ступеней отмечаются различия в строении и толщинах выделенных циклитов. На территории Садаягинской ступени отмечается увеличение толщин в циклите Ор III, а также в циклите Ор IV, связанное с увеличением объема пород биогенного генезиса, преимущественно доломитов по биогермным водорослевым известнякам. В связи с этим возрастают перспективы продуктивности циклитов Ор III и Ор IV на этой площади.

Установлено, что литолого-фациальная зональность овинпармских отложений Хорейверской впадины соответствует зоне мелководного шельфа, близкой к береговой линии. Интенсивная вторичная доломитизация отложений связана, по-видимому, с периодами изоляции территории от океана и увеличением минерализации вод во время осадконакопления.

В период формирования овинпармских отложений на изученной территории происходило развитие одиночных малоамплитудных биогермных построек – «лоскутных» рифов. Наиболее выраженными в рельефе оказались участки развития водорослево-строматопоровых сообществ, формирующих более «жесткий» каркас с наличием крупных меж и внутрикаркасных полостей. Эти области оказались наиболее благоприятными для формирования коллекторов лучшего качества в связи с интенсивным проявлением процессов выщелачивания.

Прогноз распространения пород-коллекторов можно провести на основании анализа комплекса карт, показывающих распределение пористости, общих и эффективных толщин. В качестве основных перспективных зон в овинпармских отложениях выделяются зоны распространения доломитов по биогермным водорослево-строматопоровым и водорослевым известнякам в объеме циклитов Op II, Op III и Op IV.

Распространение пород-коллекторов трещинно-порового-кавернового типа прогнозируется в зонах доломитов по биогермным водорослево-строматопоровым известнякам, слагающим верхнюю часть циклита Op II.

Наибольшие перспективы циклитов Op III и Op IV в отношении развития трещинно-порового и порово-трещинного типов коллекторов связаны связи с увеличением объема пород биогенного генезиса и приурочены к территории Садаягинской ступени.

Список литературы

1. Антошкина, А.И. Рифы в палеозое Печорского Урала: монография/ А.И. Антошкина. – СПб.: Наука, 1994. – 154 с.
2. Антошкина, А.И. Эволюция рифообразования и биогенных каркасов в палеозое северо-востока Европейской платформы/ А.И. Антошкина // Вестник УРО РАН. – 2008. – №5. – С. 10-13.
3. Атлас геологических карт "Тимано-Печорский седиментационный бассейн/Н.И. Никонов, В.И. Богацкий, А.В. Мартынов, З.В. Ларионова и др. – Ухта: ООО "Региональный дом печати", 2000. – 64 с.
4. Багринцева, К.И., Дмитриевский, А.Н., Бочко, Р.А. Атлас карбонатных коллекторов месторождений нефти и газа Восточно-Европейской и Сибирской платформ/под ред. К.И Багринцевой – М., – 264 с.:ил.
5. Багринцева, К.И. Карбонатные породы – коллекторы нефти и газа. – М., 1977. – С.231.
6. Багринцева, К.И. Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа. – М.: РГГУ, 1999. – С. 285.
7. Бакиров, А.А., Мальцева, А.К. Литолого-фациальный и формационный анализ при поисках и разведке скоплений нефти и газа. – М.: Недра, 1985. – 160 с.
8. Безбородова, И.В. Фациальные типы доломитов различного возраста // Эволюция карбонатного накопления в истории Земли. – М.:Наука, 1988. – С.35-57.
9. Белонин, М.Д., Боровинских, А.П., Макаревич, В.Н. Состояние и перспективы развития углеводородной сырьевой базы северо-западного региона России. Актуальные проблемы геологии горючих ископаемых осадочных бассейнов европейского севера России. Мат. Всерос. конф. 26 - 28 апреля 2000 г. Сыктывкар: Геопринт. – 2000. – С. 21–22.
10. Белонин, М.Д., Григоренко, Ю.Н., Соболев, В.С. Нефтегазовый потенциал северных и дальневосточных морей России и проблемы его освоения // Разведка и охрана недр. – 1999 – №2. – С. 24–27.
11. Беляева, Н.В., Корзун, А.Л., Петрова, Л.В. Модель седиментации франско-турнейских отложений на северо-востоке Европейской платформы. – Санкт-Петербург: Наука, 1998. – С. 154.
12. Беляева, Н.В. Рифовые резервуары Печорского нефтегазоносного бассейна. Фанерозойские рифы и кораллы СССР. – М.: Наука, 1986. – С. 197-202.
13. Блоковое строение Тимано-Печорского Бассейна и его влияние на характер нефтегазоносности осадочного чехла / М.Д. Белонин, Г.Ф. Буданов, В.Н. Макаревич,

О.М. Прищепа//Блоковое строение земной коры и нефтегазоносность. Тез. докл. – СПб.: ВНИГРИ, 1994. – С. 92–94.

14. Богацкий, В.И., Головань, А.С., Шафран, Е.Б. Тектоника и критерии нефтегазоносности Тимано-Печорской провинции//Тектоника и критерии нефтегазоносности локальных ловушек. – М.: Наука, 1987. – С. 143-153.
15. Ботвинкина, Л.Н., Алексеев, В.П. Цикличность осадочных толщ и методика ее изучения. – Свердловск, 1991. – 334 с.
16. Вискунова К.Г. Сейсмотстратиграфия и перспективы нефтегазоносности ордовикско-нижнедевонского карбонатного комплекса Тимано-Печорской провинции: автореф. дисс…. к.г.-м.н.: 04.00.17/Вискунова Карина Григорьевна – СПб., 1997. – 21 с.
17. Геолого-экономические условия освоения перспективных объектов Тимано-Печорской провинции/А.И. Прищепа, Г.А. Григорьев, А.А. Отмас, В.И. Богацкий, Ю.А. Панкратов, В.А. Безрук // Докл. конф. "Нефтегазовая геология на рубеже веков. Прогноз, поиски, разведка и освоение месторождений". – СПб.: ВНИГРИ, 1999. т. 3. – С. 255–264.
18. Данилов, В.Н., Меньшин, А.Г., Романов, И.Е., Перспективы нефтегазоносности нижнедевонских отложений Тимано-Печорской провинции [Электронный ресурс]/В.Н. Данилов/ Геология нефти и газа. –1993. – №9. – Режим доступа: http://www.geolib.ru/OilGasGeo/1993/09/Stat/stat05.html
19. Дедеев, В.А., Аминов, Л.З., Панева, А.З. Седиментационные нефтегазоносные бассейны Европейского севера и проблемы их эволюции // Печорский нефтегазоносный бассейн. Тр. инст-та Коми фил. АН СССР. – Сыктывкар, 1987. – С. 77–94.
20. Дедеев, В.А., Тимонин, Н.И. Тектоническая эволюция Печорской плиты в фанерозое //Геология и полезные ископаемые европейского северо-востока СССР. Тр. Инст-та геол. Коми фил. АН СССР. Вып. 44. – Сыктывкар, 1983. – С. 36–37.
21. Жемчугова, В.А. Карбонатные комплексы палеозоя Печорского нефтегазоносного бассейна (строение, условия формирования, прогноз природных резервуаров): автореф. дисс. … докт. геол.-мин. наук: 04.00.01, 04.00.17/Жемчугова Валентина Алексеевна – Сыктывкар, 2000. – 42 с.
22. Жемчугова, В.А. Природные резервуары в карбонатных формациях Печорского нефтегазоносного бассейна. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2002. – С. 243.

23. Жемчугова, В.А., Мельников, С.В., Данилов, В.Н. Нижний палеозой Печорского нефтегазоносного бассейна (строение, условия образования, нефтегазоносность). – М.: Изд-во Академии горных наук. 2001. – 110 с.
24. Журавлева, Л.М. Доломит и ангидрит в карбонатных отложениях овинпармского горизонта лохковского яруса в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Геология и разведка, 2013. – №5. – С. 26–29.
25. Журавлева, Л.М. Литология и типы пустотного пространства карбонатных отложений овинпармского горизонта (Варандей-Адьзвинская зона Тимано-Печорской НГП): автореф. дисс. … к.г.-м.н.:25.00.06/Лилия Маратовна Журавлева – М. 2014. – 26 с.
26. Каламкаров, Л.В. Нефтегазоносные провинции и области России и сопредельных стран: учебник для вузов/Л.В. Каламкаров – М.:ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2005. – 576 с.
27. Королюк, И.К., Михайлова, М.В. и др. Ископаемые органогенные постройки, рифы, методы их изучения и нефтегазоносность: монография/И.К. Королюк – М., «Наука», 1975. – 236 с.
28. Крашенинников, Г.Ф. Выделение и типизация обстановок осадконакопления и породообразования//Обстановки осадконакопленияя и их эволюция. – М., Наука, 1984. – С.51-60.
29. Кремс, А.Я., Вассерман, Б.Я., Матвиевская, Н.Д. Условия формирования и закономерности размещения залежей нефти и газа. – М.:Недра, 1974. – 332 с.
30. Кузнецов, В.Г. Геология рифов и их нефтегазоносность. – М.: «Недра», 1978. – 304 с. С ил.
31. Кузнецов, В.Г. Палеозойское рифообразование на территории России и смежных стран. – М., 2000 – 228 с.
32. Кузнецов, В.Г. Природные резервуары нефти и газа карбонатных отложений. – М.: Недра, 1992. – С. 320.
33. Кузнецов, В.Г. Строение природных резервуаров различных типов карбонатных формаций//Нефтегазоносность карбонатных формаций. – М.: ИГиРГИ, 1987. –С 37-49.
34. Литолого-стратиграфические ловушки в осадочном чехле Тимано-Печорской провинции/Галкина Л.В., Ларионова З.В., Пармузина Л.В. и др.//Геология и минерально-сырьевые ресурсы европейского северо-востока СССР. Т. I. – Сыктывкар, 1988. – С. 56-58.
35. Майдль, Т.В. Условия формирования карбонатных коллекторов нижнепалеозойского комплекса Печорского нефтегазоносного бассейна: автореф. дисс. … канд. геол.-минер. наук, Л.: ВНИГРИ, 1986. –20 с.

36. Малышев, Н.А. Тектоника, эволюция и нефтегазоносность осадочных бассейнов европейского севера России: автореф. дисс. … д.геол.-мин. наук: 04.00.17, 04.00.01/Николай Александрович Малышев – Сыктывкар, 2000. – 51с.
37. Мартынов, А.В. Литолого-фациальные критерии прогноза нефтегазоносности ордовикско-нижнедевонских отложений Тимано-Печорской провинции: автореф. дисс. … к.г.-м.н.:04.00.17/Андрей Вениаминович Мартынов – СПб., 1998. – 28 с.
38. Мартынов, А.В. Особенности строения ордовикско-нижнедевонского карбонатного НГК // Литология и нефтегазоносность карбонатных отложений: Материалы второго Всероссийского литологического совещания. – Сыктывкар: Геопринт, 2001. – С. 49-50.
39. Маслов, В. П. Атлас породообразующих организмов (известковых и кремневых). – М.: Наука, 1973. – С. 265.
40. Меннер, В.Вл. Литологические критерии нефтегазоносности палеозойских толщ северо-востока Русской платформы. – М.: Наука, 1989. – 133 с.
41. Нефтегазовый потенциал и геолого-экономические показатели подготовки и освоения углеводородного сырья Тимано-Печорской провинции/Л.З. Аминов, В.И. Богацкий, А.П. Боровинских, М.Д. Белонин и др. – СПб.: ВНИГРИ, 1994. – 97 с.
42. Новые представления о перспективах нефтегазоносности северо-западных районов Тимано-Печорской провинции [Электронный ресурс]/О.М. Прищепа, В.И. Богацкий, Т.И. Григоренко, Л.А. Орлова, О.В. Чумакова//Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2013. – Т. 8. №2. –Режим доступа: http://www.ngtp.ru./rub/4/25_2013.pdf
43. Новые представления о тектоническом и нефтегазогеологическом районировании Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции [Электронный ресурс]/О.М. Прищепа, В.И. Богацкий, В.Н. Макаревич, О.В. Чумакова, Н.И. Никонов, А.В. Куранов, М.М. Богданов//Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2011. – Т.6. №4. – Режим доступа: http://www.ngtp.ru\rub/4/40_2011/pdf
44. Объяснительная записка к тектонической карте Баренцева моря и северной части европейской России/Под ред. Н.А. Богданова и В.Е. Хаина. – М.: Ин-т литосферы РАН. 1996. – 94 с.
45. Окнова ,Н.С. Поиски залежей нефти и газа в неантиклинальных ловушках в Тимано-Печорской провинции//Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России. – Сыктывкар, 1999. – С.94-95.
46. Особенности палеозойской истории Североуральского осадочного бассейна / А.И, Антошкина, В.А. Салдин, Н.Ю. Никулова, А.Н. Сандула, Е.С. Пономаренко, Д.Н. Шеболкин, А.Н. Шадрин, Н.А. Канева//Вестник УРО РАН, 2012. №3. – С. 15–23.

47. Патрунов, Д.К. Доломиты и доломитизация//Итоги науки и техники. Серия "Общая геология". Т. 17. – М.: ВНИИТИ, 1983. – С. 24-28.
48. Пименов, Б.А. Региональные и зональные покрышки Печорского нефтегазоносного бассейна//Геология месторождений нефти и газа европейского северо-востока СССР. Труды ИГ Коми филиала АН СССР, вып.71.– Сыктывкар, 1987. – С. 155-157.
49. Постседиментационные изменения карбонатных пород и их значение для историко-геологических реконструкций. Ответственный редактор Кузнецов В.Г. – М.:Наука, 1980. – С. 96.
50. Постникова, И.Е. Методы изучения карбонатных формаций платформенных областей. – М., Наука, 1988. – 205с.
51. Постникова, И.Е., Постников, В.Г. Опыт геолого-промыслового изучения и детальной корреляции разрезов продуктивных карбонатных толщ сложного строения. – М.: изд. ВНИШЭНГа,1980. – С. 16-21.
52. Прищепа, О.М., Баженова, Т.К., Богацкий, В.И. Нефтегазоносные системы Тимано-Печорского осадочного бассейна (включая акваториальную печороморскую часть)/ О.М. Прищепа//Геология и геофизика. –2011. - №8. – С.1129-1150.
53. Рассказова, Н.Б. Корреляция продуктивных горизонтов верхнего ордовика-нижнего девона // Стратиграфия и литология нефтегазоносных отложений Тимано-Печорской провинции. – Л.: ВНИГРИ, 1988. – С.30-36.
54. Рассказова, Н.Б., Меннер, Вл.В. Горизонты коллекторов в карбонатных толщах ордовика, силура и нижнего девона Тимано-Печорской провинции // Миграция углеводородов и условия формирования коллекторов нефти. – М.: Наука, 1982. – С.68-77.
55. Региональные несогласия и хроностратиграфия палеозойских отложений Печорского бассейна/Е.О. Малышева, В.А. Жемчугова и др.//Геология горючих ископаемых европейского Севера России. – Сыктывкар, 1998. – С. 16-34.
56. Ресурсы нефти и газа в Тимано-Печорском седиментационном бассейне и динамика их освоения/А.П. Боровинских, В.И. Гайдеек, В.И. Богацкий, Ю.А. Панкратов // Актуальные проблемы геологии горючих ископаемых осадочных бассейнов европейского севера России. Мат-лы Всерос. конф. 26 - 28 апреля 2000 г. – Сыктывкар: Геопринт. 2000. – С. 34–36.
57. Селлвуд, Б.У. Мелководные морские карбонатные обстановки/Обстановки осадконакопления и фации: В 2-х т. Т.2: Пер. с англ./Под ред. Х.Рединга. – М.: Мир, 1990. – С. 42-56.
58. Селли, Р.Ч. Древние обстановки осадконакопления. – М.: Недра, 1989. – 294 с.

59. Седиментологическое моделирование карбонатных осадочных комплексов / Сост. и общ. ред. Н.К. Фортунатовой. – М.: НИА-Природа, 2000. – 249 с.
60. Сивальнева, О.В., Рапопорт, А.Б. Цикличность и развитие пород-коллекторов в нижнедевонских отложениях Хорейверской и Варандей-Адзьвинской НГО/О.В. Сивальнева//Труды РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2013. – №2. – С33-44.
61. Современные и ископаемые рифы. Термины и определения: Справочник /Журавлева И.Т., Космынин В.Н., Кузнецов В.Г. и др. – М.: Недра, 1990. – 184 с: ил.
62. Сотникова, А.Г. Палеотектонические условия формирования и прогноз размещения зон нефтегазонакопления в поддоманиковых отложениях Варандей-Адзьвинского авлакогена (суша, Печороморский шельф): автореф. дисс. … к.г.-м.н.: 25.00.12/ Алена Георгиевна Сотникова – М., 2011. – 24 с.
63. Сравнительный анализ онтогенеза углеводородов в Печорском и других осадочных бассейнах мира/В.Н. Данилов, Н.А. Малышев, В.А. Скоробогатов, А.П. Боровинских и др. – М.: Изд-во Академии горн. Наук, 1999. – 400 с.
64. Танинская, Н.В. Седиментологические критерии прогноза коллекторов в среднеордовикско-нижнедевонских отложениях Тимано-Печорской провинции [Электронный ресурс]/Надежда Владимировна Танинская//Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2010. – Т.5. №4. – Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/2/52_2010.pdf.
65. Танинская, Н.В. Модель седиментации среднеордовикско-нижнедевонских отложений Печоро-Баренцевоморского бассейна и прогноз коллекторов: автореф. дис. … докт. геол.-минер, наук: 25.00.06/Надежда Владимировна Танинская//СПб: ВНИГРИ. –2001. – 50 с.
66. Танинская, Н.В. Модели карбонатного осадконакопления в среднем ордовике нижнем девоне Тимано-Печорского седиментационного бассейна//Нефтяная литология. Неструктурные ловушки и нетрадиционные типы коллекторов. – СПб.: Недра, 2004. – С. 108-120.
67. Танинская, Н.В., Коц, В.Г. Секвенсстратиграфический анализ отложений ордовика, силура и нижнего девона Тимано-Печорской провинции//Нефтегазовая геология на рубеже веков. Прогноз, поиски, разведка и освоение месторождений, т. 2. – СПб, 1999. – С. 151-155.
68. Танинская, Н.В. Условия образования и закономерности размещения карбонатных коллекторов нижнего палеозоя Хорейверской нефтеносной области Тимано-Печорской провинции: автореф. дисс. … канд. геол.-минер. наук: 25.00.06/Надежда Владимировна Танинская// – СПб, 1993. – 25 с.

69. Танинская, Н.В. Фациальные модели карбонатных и терригенно-карбонатных отложений силура и девона Оленьей площади Тимано-Печорской провинции // Низкопористые породы-коллекторы и их роль при оценке нефтегазоносно-сти. –Л., 1991. – С.117-130.
70. Тектоника Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (объяснительная записка к структурно-тектонической карте Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции М-б 1:1000000) – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1989. – 28 с.
71. Тимано-Печорская провинция: геологическое строение, нефтегазоносность и перспективы освоения / Белонин М.Д., Прищепа О.М., Телов Е.Л. и др. – СПб.: Недра, 2004. – 396 с.
72. Тимано-Печорский седиментационный бассейн. Атлас геологических карт. Никонов Н.И. и др. – Ухта: ООО «Региональный дом печати», 2000 г.
73. Тимонин, Н.И. Печорская плита: история геологического развития в фанерозое. – Екатеринбург, 1998. – 240 с.
74. Топорков, В.Г. (ВНИГИК). Роль вторичной доломитизации в формировании емкостных свойств коллекторов нижнедевонского карбонатного комплекса. / Сб. «Петрофизика коллекторов нижнего палеозоя Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции». – Тверь, 1995.
75. Условия формирования пород-коллекторов фаменских отложений центральной части восточного борта Хорейверской нефтегазоносной области Тимано-Печорской провинции [Электронный ресурс]/ Мусихин А.Д., Осинцева Н.А., Сивальнева О.В., Китаева И.А.//Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2012. – Т.7. – №2. – Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/4/27_2012.pdf
76. Шалдыбин, М.В., Лопушняк, Ю.М., Филимонов, С.Ю., Скрипкин, А.Г. Возможности компьютерной томографии керна для прогноза коллекторских свойств осадочных горных пород//Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории. Мат. VII Всерос. литол. совещ. 28–31 октября 2013 г. – Новосибирск. 2013. – С. 270–273.
77. Шафиев, Ю.К. Месторождения нефти юга Хорейверской впадины // Геология и ресурсы горючих полезных ископаемых европейского севера СССР. Тр. ин-та геологии Коми НЦ УрО АН СССР. Вып.69. – Сыктывкар, 1989. – С. 54-64.
78. Фортунатова, Н.К., Карцева, О.А., Баранова, А.В., и др. Атлас структурных компонентов карбонатных пород. – М.: ВНИГНИ, 2005. – 440 с.

79. Фортунатова, Н.К. и др. Особенности геологического строения природных резервуаров и перспективы нефтегазоносности Севера Хорейверской впадины и Колвинского мегавала. В 2 кн. Кн. 1 / Н. – М.: Изд-во НИА-Природа, 2002. – 136 с.
80. Фортунатова, Н.К. и др. Особенности геологического строения природных резервуаров и перспективы нефтегазоносности Севера Хорейверской впадины и Колвинского мегавала. В 2 кн. Кн. 2 / Н. М. : Изд-во НИА-Природа, 2002. – 61 с.
81. Хипели, Р.В. Закономерности формирования палеозойских органогенных построек и связанных с ними резервуаров на юге Хореййверской впадины: автореф. дисс. канд. геол.- минер. наук: 25.00.12/ Роман Викторович Хипели. – Сыктывкар, 2005. – 19 с
82. Уилсон, Дж.Л. Карбонатные фации в геологической истории. Пер. с англ. – М.: Недра, 1989. – 463 с. – Пер. изд.: ФРГ, 1975.
83. Юдин, В.В., Дедеев, В.А. Проблема Уральской границы Печорской плиты//Тектоника Северо-востока Европейской платформы. Тр. Ин-та геол. Коми НЦ УрЦ. Вып. 68. – Сыктывкар. 1988. – С.25-31.
84. Юрьева, З.П. Нижнедевонские карбонатные отложения восточного склона Большеземельского поднятия//Геология нефти и газа. 1995. №6. С. 24–29.
85. Юрьева, З.П. Строение и нефтегазоносность девонских поддоманиковых отложений северо-востока Тимано-Печорской провинции: автореф. дисс. … канд. геол.- минер. наук:04.00.17/Зинаида Петровна Юрьева. – М. 1991. – 16 с
86. A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, textures, porosity, diagenesis//AAPG Memoir 77. – Oklahoma, USA, 2003. – 470 p.
87. Clyde H. Moore. Carbonate Reservoirs, porosity, evolution and diagenesis. – Amsterdam, Elsevier, 2001. – 444 pp
88. Erik Flugel. Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application, 2nd Edition. –Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2009. – 1007 p.
89. Knut Bjørlykke. Petroleum Geoscience: From Sedimentary Environments to Rock Physics. – Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2010. – 508 p
90. Lucia F.J. Carbonate Reservoir Characterization. – New York. Springer, 1999. – 225 p.
91. Lucia F.J. Rock-fabric / Petrophysical Classification of Carbonate Pore Space for Reservoir Characterization//Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. – V. No 9. – 1995. P. 1275–1300.
92. Maurice E. Tucker, V. Paul Wright. Carbonate Sedimentology. – Oxford, Blackwell Science Ltd., 2002. – 482 p.
93. Maurice E. Tucker. Sedimentary Petrology (Third Edition). – Oxford, Blackwell Science, 2001. – 262 p.

94. Roger M. Slatt. Stratigraphic Reservoir Characterization for Petroleum Geologists, Geophysicists, and Engineers (2 ed.). – Amsterdam, Elsevier, 2014. – 688 p
95. Sam Boggs. Principles of Sedimentology and Stratigraphy. – USA, Pearson Prentice Hall. Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, 2006. – 662 p.