

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

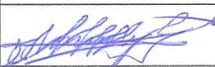
Школа: Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки: 21.04.01 Нефтегазовое дело  
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

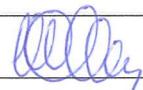
Тема работы
<b>Эталонная литогенетическая типизация карбонатного коллектора в целях геологического моделирования палеозойских отложений Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна</b>

УДК 552.578.2.061.4-047.58(470.13)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ91	Суворов Антон Андреевич		17.06.21

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Чернова О.С.	Д.Г.-М.Н.		17.06.21

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

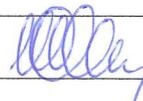
По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рукавишников В.С.	PhD		17.06.21

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Белозеров В.Б.	Д.Г.-М.Н.		17.06.21

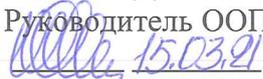
### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Чернова О.С.	Д.Г.-М.Н.		17.06.21

Томск – 2021 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки: 21.04.01 Нефтегазовое дело  
 Отделение школы: Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 15.03.21 О.С. Чернова  
 (Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
2ТМ91	Суворов Антон Андреевич

Тема работы:

<b>Эталонная литогенетическая типизация карбонатного коллектора в целях геологического моделирования палеозойских отложений Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.03.2021 г. № 61-6/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2021г.
--	--------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<i>Керновый материал по скважинам, каротажные диаграммы, корреляционные панели по исследуемой области, описание микрошлифов, данные по фильтрационно-емкостным характеристикам (интерпретация ЯМК), классификационные схемы карбонатных пород, данные компьютерной томографии пустотного пространства</i>
---------------------------------	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>	<p>1 Введение  2 Геолого-геофизическая характеристика месторождения  3 История развития методологии классификации карбонатных пород  4 Применение классификационных схем для эталонной типизации карбонатного коллектора  5 Применение типизации коллекторов на основе фильтрационно-емкостных параметров  6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение  7 Социальная ответственность  8 Заключение</p>
<p><b>Перечень графических материалов</b></p>	<p>Рисунки – 38 штук:</p> <p>1. Рисунок 1.1 – Расположение месторождений в пределах изучаемой территории (Теплов Е.И. и др., 2011)  2. Рисунок 1.2 – Классификационная схема известково-магнезиально-глинистого сырья (по В. А. Кинду и Д.С. Огорокову (1933 г.)  3. Рисунок 1.3 – Классификационная схема известково-доломитовых пород – часть 1 (Киркинская В.Н., 1978 г.)  4. Рисунок 1.4 – Классификационная схема известково-доломитовых пород – часть 2 (Киркинская В.Н., 1978 г.)  5. Рисунок 1.5 – Классификационная схема известково-доломитовых пород – часть 3 (Киркинская В.Н., 1978 г.)  6. Рисунок 1.6 – Классификация карбонатных пород (Данхэм, 1962г.)  7. Рисунок 1.7 – Пересмотренная классификация Данхэма – Райта (Райт 1992г.)  8. Рисунок 2.1 – Географическое местоположение исследуемой территории  9. Рисунок 2.2 – Геолого-геофизический разрез по опорному профилю 4-АР (по: ФГУНПП Севморгео и ВНИИОкеангеология, 2016 г.)  10. Рисунок 2.3 – Типовой стратиграфический разрез исследуемого участка  11. Рисунок 3.1 – Графическая схема методологии рок-типирования  12. Рисунок 3.2 – Схематический профиль карбонатного шельфа с интерпретацией стандартных фациальных поясов Дж. Уилсона (1980)  13. Рисунок 3.3 – Фотография микрошлифа литогенетического типа Вакстоун  14. Рисунок 3.4 – Фотография ортогонального рентгеноплотностного среза Вакстоуна</p>

	<p>15. Рисунок 3.5 – Объёмная модель распределения пустот Вакстоуна</p> <p>16. Рисунок 3.6 – Сеточная модель порового пространства Вакстоун</p> <p>17. Рисунок 3.7 – Фотография микрошлифа литогенетического типа Пакстоун</p> <p>18. Рисунок 3.8 - Фотография ортогонального рентгеноплотностного среза Пакстоуна</p> <p>19. Рисунок 3.9 – Объёмная модель распределения пустот Пакстоуна</p> <p>20. Рисунок 3.10 – Сеточная модель пустотного пространства Пакстоуна</p> <p>21. Рисунок 3.11 – Фотография микрошлифа литогенетического типа Грейнстоун</p> <p>22. Рисунок 3.12 – Фотография ортогонального рентгеноплотностного среза (Грейнстоун)</p> <p>23. Рисунок 3.13 – Объёмная модель пустотного пространства Грейнстоуна</p> <p>24. Рисунок 3.14 – Сеточная модель пустотного пространства Грейнстоуна</p> <p>25. Рисунок 3.15 – Фотография микрошлифа литогенетического типа Баундстоун</p> <p>26. Рисунок 3.16 – Фотография ортогонального рентгеноплотностного среза Баундстоуна</p> <p>27. Рисунок 3.17 – Объёмная модель пустотного пространства Баундстоун</p> <p>28. Рисунок 3.18 – Сеточная модель пустотного пространства Баундстоун</p> <p>29. Рисунок 3.19 – Схематический разрез через идеализированную карбонатную раннепермскую постройку</p> <p>30. Рисунок 4.1– Данные по керну (используются колонки с помеченными жёлтыми значениями)</p> <p>31. Рисунок 4.2 – График зависимости пористости от проницаемости с выделенными группами FZI</p> <p>32. Рисунок 4.3 – Уравнения регрессии для каждого типа породы по методу PGS</p> <p>33. Рисунок 4.4 – Расчёт параметров для метода PGS</p> <p>34. Рисунок 4.5 – Кросс-плот типирования пород по методу PGS</p> <p>35. Рисунок 4.6 – Распределение кривых ККД и их соответствие литологии и значениям FZI</p> <p>36. Рисунок 5.1 – Диаграмма распределения затрат на исследовательские работы</p> <p>37. Рисунок 6.1 – Принципиальная схема рабочего помещения</p> <p>38. Рисунок 6.2 – Схема освещения помещения</p> <p>Таблицы – 18 штук:</p>
--	---

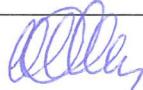
	<p>1. Таблица 1. Схема разделения пород ряда известняк-доломит  2. (по С.Г. Вишнякову, 1933 г.)  3. Таблица 1.2 – Подразделение известняков (по Р. Фолку, 1959)  4. Таблица 1.3 – Модифицированная классификация Данхэма по Эмбри и Кловану (Эмбри Э.Ф.; Клован, Дж. Э., 1971)  5. Таблица 3.1 – Послойное седиментологическое описание по скважине Печора-1  6. Таблица 3.2 – Коды выделенных фаций  7. Таблица 4.1 – Расчёт параметра FZI для исходной выборки  8. Таблица 4.2 – Выделение рок-типов по методу PGS</p>
	<p>9. Таблица 5.1 – Нормы времени на изготовление из горных пород и руд прозрачных и полированных шлифов  10. Таблица 5.2 – Расчет затрат времени на изготовление из горных пород прозрачных шлифов  11. Таблица 5.3 – Основная заработная плата  12. Таблица 5.4 – Страховые отчисления в социальные внебюджетные фонды  13. Таблица 5.5 – Перечень лабораторной посуды, реактивов и материалов, применяемых при изготовлении прозрачных и аншлифов  14. Таблица 5.6 – Амортизация основного оборудования лаборатории  15. Таблица 5.7 – Сметные нормы по статьям основных расходов на проведение комплекса лабораторных исследований  16. Таблица 6.1 – Факторы, возникающие при работе с ПК  17. Таблица 6.2 – Допустимые и оптимальные показатели микроклимата  18. Рисунок 6.3 – Основные характеристики используемого рабочего места</p>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
«Социальная ответственность»	Белозеров В.Б., профессор, д.г-м.н.
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Рукавишников В.С. доцент, PhD
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
<i>История развития методологии классификации карбонатных пород / The development</i>	

*history of the carbonate rock classification methodology*

**Дата выдачи задания на выполнение выпускной  
квалификационной работы по линейному графику**

15.03.2021

**Задание выдал руководитель / консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Чернова О.С.	д.г.г.-м.н.		15.03.2021

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ91	Суворов Антон Андреевич		15.03.2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки: 21.04.01 Нефтегазовое дело  
 Уровень образования: магистратура  
 Отделение школы: Отделение нефтегазового дела  
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года)  
 Форма представления работы:

Магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2021г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.03.2021	<i>Геологическая характеристика месторождения</i>	15
15.04.2021	<i>Анализ классификационных схем</i>	15
17.04.2021	<i>The development history of the carbonate rock classification methodology</i>	10
29.04.2021	<i>Применение метода комплексирования данных для типизации карбонатного коллектора</i>	20
14.05.2021	<i>Типизация карбонатного коллектора по описанию микрошлифов с привлечением классификационных схем</i>	20
21.05.2021	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
28.05.2021	<i>Социальная ответственность</i>	10

**СОСТАВИЛ:**  
**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Чернова О.С.	Д.Г-М.Н.		15.03.21

**СОГЛАСОВАНО:**  
**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Чернова О.С.	Д.Г-М.Н.		15.03.21

## Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 133 страниц, 38 рисунков, 18 таблиц, 65 источников использованной литературы.

**Ключевые слова:** литогенетический тип породы, нижнепермские отложения, карбонаты, нефть, микрошлифы, гидравлические единицы потока.

**Объектом исследования** являются нижнепермские отложения, развитые в пределах восточной части Печорского шельфа, Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна на предмет выявления эталонных литогенетических типов, слагающих продуктивный разрез.

**Цель работы:** анализ существующих классификационных схем и методов классификации карбонатного коллектора с целью разработки эталонной типизации пород-коллекторов.

В работе приведены общие сведения об объекте исследования (ассельская карбонатная формация), методиках классификации карбонатного коллектора, проведены аналитические расчёты применимости данных методов в условиях карбонатных мелководных построек шельфа Печорского моря

**Область применения:** прогнозирование распространения зон высокопродуктивных пород-коллекторов Печорского моря с целью геологического моделирования.

**Экономическая значимость** данной работы обусловлена возможностью сокращения затрат на процесс моделирования месторождений.

## Перечень обозначений и сокращений

- ЛГТ — литогенетический тип;
- ГИС — геофизические исследование скважин;
- ККД — кривая капиллярного давления;
- НГП — нефтегазоносная провинция;
- НГО — нефтегазоносная область;
- НГК — нефтегазоносный комплекс;
- МТ — микрофациальный тип;
- СМФ — стандартная микрофация;
- HFU — hydraulic flow unit или гидравлическая единица потока
- RQI — reservoir quality index или индекс качества коллектора
- FZI — flow zone indicator или индикатор зоны потока
- PGS — pore geometry structure method или метод на основе геометрии и структуры порового пространства

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2ТМ91	Суворов Антон Андреевич

Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	ОНД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 Нефтегазовое дело

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Расчёт стоимости изготовления микрошлифов горных пород</i>
---	---

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Оценка стоимости исследований с использованием микрошлифов</i>
<i>2. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Расчёт экономического эффекта: экономия затрат при выполнении излагаемым в работе методом.</i>

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей):

- 1. Комплектация рабочего места*

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	15.03.2021
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рукавишников В.С.	PhD		15.03.2021

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ91	Суворов Антон Андреевич		15.03.2021

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2ТМ91	Суворов Антон Андреевич

Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	ОНД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 Нефтегазовое дело

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

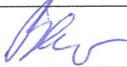
<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, используемого оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы,</li> <li>- вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения и т.д.)</li> <li>- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной природы)</li> <li>- чрезвычайных ситуаций социального характера</li> </ul>	<p>Трудовым пространством при выполнении работы считается стол, оснащенный индивидуальным компьютерной станцией. При выполнении работы на организм человека воздействует шум, высокое электрическое излучение от экрана монитора, вполне вероятно наличие недостаточной освещенности, отклонений локального климата здания от подходящих характеристик. Не считая такого, при работе нужно принимать во внимание интенсивность труда. Небезопасным моментом производственной среды считается электронный ток. Более возможная угроза появления чрезвычайной истории связана с пожаром в помещениях строения.</p>
---	--

<p>2. Список законодательных и нормативных документов по теме</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»;</li> <li>- СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»;</li> <li>- ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда»;</li> <li>- ТОО Р-45-084-01 «Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере»;</li> <li>- ПОТ РО-14000-006-98 «Работы с повышенной опасностью».</li> </ul>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p>1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>- действие фактора на организм человека;</li> <li>- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p>Работа за компьютером характеризуется влиянием на организм человека следующих вредных факторов производственной среды:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) повышенный уровень шума;</li> <li>2) недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>3) повышенный уровень электромагнитных излучений;</li> <li>4) напряженность труда;</li> <li>5) отклонение показателей микроклимата;</li> </ol> <p>Основными принципами минимизации воздействия на организм человека вышеизложенных факторов являются соблюдение режима труда и отдыха, использование сертифицированного и исправного оборудования, соблюдение правил использования оборудования, поддержание комфортных условий труда в помещении.</p>
<p>2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в</p>	<p>Небезопасным моментом, который охарактеризовывает работу за</p>

<p>следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>индивидуальным компьютером, считается электронный ток. Риск поражения электрическим током вероятен при применении оборудования с неисправной проводкой или же изоляцией, неисправным состоянием розеток. Главные меры электробезопасности связаны с соблюдением правил применения электро-устройств, испытание исправности их проводки и изоляции, выключения устройств от электронной сети при покидании здания.</p>
---	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.03.2024г.
--	--------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Белозеров Владимир Борисович	д.г-м.н.		15.03.21

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ91	Суворов Антон Андреевич		15.03.21

ОГЛАВЛЕНИЕ	Стр.
ВВЕДЕНИЕ .....	16
1. Литературный обзор по проблеме типизации карбонатных пород-коллекторов .....	21
2. Краткая геологическая характеристика объекта Исследования .....	33
2.1. Стратиграфический очерк .....	34
2.2. Тектоника .....	38
2.3. Нефтегазоносность .....	40
3. Седиментологическая типизация ассельской продуктивной формации .....	42
3.1. Седиментологическая характеристика продуктивного Горизонта-I .....	45
3.2. Макрофации карбонатных отложений ассельской формации по интерпретации литогенетических типов стандартных микрофаций Дж. Уилсона .....	53
3.2.1. Литогенетический тип – Wackstone .....	55
3.2.2. Литогенетический тип – Packstone .....	57
3.2.3. Литогенетический тип – Grainstone .....	60
3.2.4. Литогенетический тип – Boundstone .....	63
3.3. Условия формирования продуктивных пластов в нижне-пермскую эпоху осадконакопления .....	66
4. Комплексование петрофизических и седиментологических данных с целью типизации коллектора .....	76
4.1. Метод комплексования данных (Rock-typing method) ...	76
4.2. Реализация метода гидравлических единиц потока (Hydraulic flow unit – HFU) .....	77
4.3. Реализация метода «рок типирования» на основе интерпретации геометрии порового пространства (pore geometry structure method (PGS)) .....	81
4.4. Привязка полученных литогенетических типов по методу HFU к капиллярным кривым .....	83
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение .....	85
5.1. Расчет затрат времени и труда на лабораторные работы ...	86
5.2. Расчет материальных затрат на лабораторные работы .....	87
5.3. Общая стоимость работ .....	91
6. Социальная ответственность .....	93
6.1. Производственная безопасность .....	94
6.2. Вредные факторы .....	95

6.2.1. Освещение .....	95
6.2.2. Микроклимат .....	98
6.2.3. Ионизирующие излучения .....	100
6.3. Психосоматические аспекты работы .....	101
6.4. Опасные факторы .....	103
6.4.1. Поражение электрическим током .....	103
6.4.2. Статическое электричество .....	104
6.4.3. Короткое замыкание .....	105
6.5. Экологическая безопасность .....	106
6.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	107
6.7. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	112
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	114
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	121

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из самых перспективных направлений развития нефтегазового производства является разработка месторождений, залежи которых имеют карбонатных генезис. Согласно опубликованным данным карбонатные природные резервуары содержат порядка 60% всех мировых запасов углеводородного (УВ) сырья. Именно карбонатные отложения являются первоочередным объектом для поисков залежей углеводородного сырья, сосредоточенных в палеозойских отложениях Арктического шельфа России.

На сегодняшний момент в прибрежной и мелководно-шельфовой части севера Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна (НГБ) наиболее крупной по запасам является карбонатная верхневизейско-нижнепермская ( $C_1V_2-P_1$ ) формация, с которой связано большинство открытых в данном регионе месторождений УВ: Долгинское, Приразломное, Бугринское, Медыньское море и мн. др. (Рисунок 1.1) (Кремс А.Я., Вассерман Б.Я., Матвиевская Н.Д., 1974; Суворова, 2012).

Как известно, доля месторождений с карбонатным коллектором в современной разработке растёт, соответственно, растёт и необходимость в развитии методологии работы с таким типом коллектора, запасы которых относят к трудноизвлекаемым.

Среди карбонатных пород коллекторами обычно являются известняки и доломиты. Они имеют высокие показатели эффективной проницаемости, пористости и нефтегазонасыщенности. Также известно, что они отличаются улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами при воздействии на них искусственными методами с использованием раствора соляной кислоты с или карбонизированной воды.

При этом карбонаты имеют ряд характерных особенностей, которые осложняют локализацию запасов и делают затруднительной проектирование и управление их разработкой:

- 1) сложное строение порового пространства;
- 2) высокая неоднородность фильтрационных и емкостных свойств;
- 3) разнообразие горных пород в составе коллектора.

Таким образом, для освоения месторождений с карбонатным типом коллектора необходимо использовать нестандартные подходы и методы, в том числе обращаться к мировому накопленному опыту. Одним из современных методов исследования данных типов коллекторов является «Rock typing».

Объектом исследования являлась палеозойская карбонатная продуктивная толща, регионально развитая в пределах восточной части шельфа Печорского моря.

Для уточнения седиментологической картины и восстановления условий формирования продуктивного **Горизонта-I** при написании работы использованы литературные данные по региональному геологическому строению Печорской плиты, в пределах которой расположен объект исследования (Агафонова Г.В., Михайлова М.В., 1991; Антошкина А.И., 2003; Атлас..., 2000; Беляков С.Л., 1994; Бро Е.Г., Десятков В.М., Преображенская Э.Н., Патрунов Д.К., 1994; Вискунова К.Г., Супруненко О.И., Преображенская Э.Н., 2002; Государственная геологическая карта..., 2003; Данилевский С.А., Склярова З.П., Трифачев Ю.М., 2003; Жемчугова В.А., 1998, 2000; 16.Кремс А.Я., Вассерман Б.Я., Матвиевская Н.Д., 1974; Кузнецов В.Г., 2000; Никонов Н.И. и др., 2000; Оленова К.Ю., 2010; 2008; Тимонин Н.И., 1980).

Описание керна по разведочным скважинам Печора-1, Печора-2. Выборочные фотографии шлифов, нефтепромысловые данные, а также каротажные материалы по 15-ти скважинам, пробуренных на локальной структуре Печора.



4. *рассчитать* петрофизические коэффициенты (гидравлические единицы потока) в целях типизации пород с их привязкой к фильтрационно-ёмкостным свойствам для дальнейшего геологического моделирования;

5. на основе выявленной истории осадконакопления *дать прогноз* развития зон с наилучшими коллекторскими свойствами.

Как известно, при интерпретации карбонатных разрезов возникает проблема с определением структурных и текстурных особенностей данного типа пород, поскольку в макропредставлении керновый материал не несёт визуальной нагрузки. Оценке поддаётся только описание цвета и нефтепризнаки. Именно поэтому, в вопросах анализа карбонатов зачастую прибегают к интерпретации микрошлифов.

Анализ и описание микрошлифов карбонатного материала является неотъемлемой частью процесса интерпретации, поскольку только в микромасштабах можно чётко выделить структурно-текстурные особенности образцов, а также посмотреть тип пустотного пространства и все генетические признаки (например, наличие аутигенных минералов), которые могут косвенно указывать на обстановку осадконакопления.

Такое детальное описание карбонатного материала отражает нужны инженеров-геологов, которые непосредственно занимаются моделированием такого типа построек, поскольку в большинстве случаев, разрез получается весьма расчленённым с точки зрения обстановок осадконакопления.

Для каждой фации, в которой происходило формирование карбонатного материала, характерен определённый набор генетических признаков, на которые могут реагировать инструменты ГИС, сеймики, спектрального анализа и т.д. Определение фациальных зависимостей в разрезе карбонатных отложений посредством комплексирования всех возможных типов исследования позволяет проследить распространение фаций, как в вертикальном, так и в латеральном направлениях. При геологическом моделировании определение фациальных зависимостей прослоев и слоёв позволяет в полной мере отразить геологическую картину в

макромасштабе, а также, свести ошибку оценки анизотропии фильтрационно-емкостных свойств к минимуму.

При написании данной работы автором использованы труды видных деятелей в области седиментологии карбонатных природных систем: Р. Фолка (Folk R.L., 1959); Е. Флэгеля (Flügel E., 1972); Р. Данхэма (Dunham R.J., 1962); Эмбри и Клован (Embry, Ashton F.; Klovan, J. Edward., 1971). При подготовке специальной части, рассмотренные классификационные схемы данных авторов были использованы в качестве основы при интерпретации геологического разреза рассматриваемого района Печорского шельфа.

В работе было реализовано два подхода: анализ микрошлифов и их типизация на основе классификационных схема Р. Данхэма, Е. Флэгеля и Дж. Уилсона (Уилсон Дж.Л., 1980) типизация карбонатного коллектора на основе фильтрационно-емкостных параметров (использование методов HFU и PGS). Актуальность детальных микроскопических исследований карбонатных природных резервуаров

## **1. Литературный обзор по проблеме типизации карбонатных пород-коллекторов**

Как известно, существует множество подходов для систематизации литологических и петрофизических параметров горных пород. Типизация пород на литолого-петрофизические типы позволяет выделить различия пород в зависимости от их структурно-текстурных особенностей, минералогического состава, эпигенетических явлений и коллекторских свойств. Литологический тип породы или литотип является совокупностью осадочных горных пород, имеющих близкие фильтрационно-емкостные и литолого-петрофизические свойства, обусловленные средой седиментации и близким генезисом формирования пустотного пространства.

На современном этапе развития нефтегазовой отрасли, большое количество месторождений в России представлено разрезами с карбонатным коллектором. За последние годы был накоплен большой объём кернового материала, представленного карбонатными разностями, при этом главной проблемой остаётся эталонная классификация данного типа коллекторов.

Карбонатный коллектор в отличие от коллектора терригенного представляет собой сложно-построенную горную породу, с разнообразными структурно-текстурными особенностями, характерным типом пустотного пространства, а также достаточно высокой анизотропией петрофизических параметров.

Существует большое количество работ специалистов-литологов, в которых детально рассмотрена проблема классификации, как самих карбонатных разностей, так и их пустотного пространства. Несмотря на значительную проработанность проблемы типизации карбонатов, до сих пор не существует чёткой схемы классификации, которая бы наиболее полно отражала всю богатую палитру существующих литогенетических типов.

Большинство карбонатных коллекторов нефти и газа связаны, как правило, с известково-доломитовыми породами, по которым существует немало классификационных схем. В целом, на старте их разработки оперировали двумя положениями:

- 1) данные породы состоят на 50% и более из карбонатного материала;
- 2) в известняках превалирует карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), в доломитах – карбонаты кальция, магния ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ).

При этом схемы можно было подразделить на три типа:

- 1) формальные или описательные (основаны на анализе признаков, свойственных карбонатным породам в их современном состоянии, без интерпретации из генезиса);
- 2) чисто генетические (учёт образования карбонатного материала и его постседиментационные изменения);
- 3) смешанные формально-генетические.

Систематизация карбонатных отложений началась с первого типа схем. Один из примеров такой классификационной схемы принадлежит В.А. Кинду и С.Д. Огорокову (1933 г.), по которой проводился анализ известково-магнезиально-глинистого сырья (Рисунок 1.2).

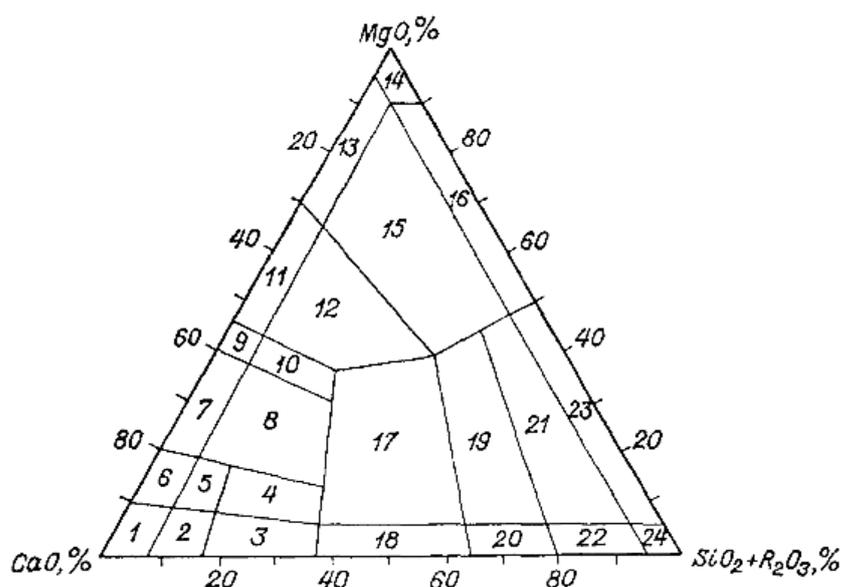


Рисунок 1.2 – Классификационная схема известково-магнезиально-глинистого сырья (по В. А. Кинду и Д.С. Огорокову (1933 г.)

Каждому полю диаграммы соответствовал определённый процентный набор той или иной разности, к примеру, седьмая область – доломит известковый, вторая область – известняк глинистый и т.д.

В том же году С.Г. Вишняков представил схему разделения пород ряда известняк-доломит по минеральному составу карбонатной части (Таблица 1.1).

Таблица 1. Схема разделения пород ряда известняк-доломит (по С.Г. Вишнякову, 1933 г.)

Содержание, %		Порода
CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub> MgCO <sub>3</sub>	
100-95	0-5	Известняк
95-75	5-25	Известняк доломитизированный (доломитистый)
75-50	25-50	Известняк доломитовый
50-25	50-75	Доломит известковый
25-5	75-95	Доломит известковистый
5-0	95-100	Доломит

Относительно редкими являются классификации чисто генетического типа, примеры которых весьма ограничены. Примером такой классификационной схемы является классификация известняков Ф. Петтиджона (1949 г.), в которой автор выделил четыре группы известняков:

1) аккреционные или автохтонные (образованы «in situ», постройка постепенно нарастала на твёрдой основе (риффы, биогермы);

2) обломочные или аллохтонные (образование данных карбонатных построек сопряжено с подводной эрозией известковых осадков, в частности, рифов, также немаловажную роль играет детрит);

3) хемогенные (главный процесс формирования такого типа известняков – химическое осаждение  $\text{CaCO}_3$  ( $\text{MgCO}_3$ ) из морских вод);

4) доломитизированные или метасоматические (образование происходит за счёт процессов частичного или полного метасоматического замещения первичного кальцита другими минеральными соединениями).

Чисто генетические классификации, как и формальные не способны полностью охарактеризовать известково-доломитистые разности, поэтому их объединённая версия «формально-генетические» - наиболее полно отвечают требованиям геологической практики, поскольку учитывают генетические особенности карбонатных пород, а также учитывают их структурные и текстурные особенности.

Смешанные формально-генетические классификационные схемы составлены на основе следующих параметров, описывающие определённые признаки:

1) формальные признаки: минеральный состав, структурные особенности;

2) генетические признаки: генетическая принадлежность составных частиц; седиментационные, диагенетические и первичные признаки; эпигенетические признаки преобразования карбонатного материала.

Усовершенствованная классификационная схема Киркинской В.Н. (1978 г.) была составлена на основе опыта предыдущих соискателей (Г.И. Теодорович, Г.И. Ершова, И.В. Хворова, Е.П. Александрова и др.). В своей основе она генетическая, но при этом базируется на данных о минеральном составе и текстурно-структурных особенностях пород.

Согласно приведённым схемам (Рисунки 1.3 – 1.5) породы известково-доломитового ряда подразделяются на хемогенные, органогенные и обломочные. Далее рассматриваются структурные особенности: размер зерна, сортировка, окатанность. Интерпретация изменения структурных особенностей позволила выявить ряд закономерностей, связанных с генезисом материала: коллоидно- и тонкозернистые структуры

образовываются на стадии седиментогенеза, мелкозернистые структуры свойственны стадии диагенеза. Крупно- и грубозернистые структуры являются вторично образованными (эпигенетическая перекристаллизация материала, метаморфические процессы).

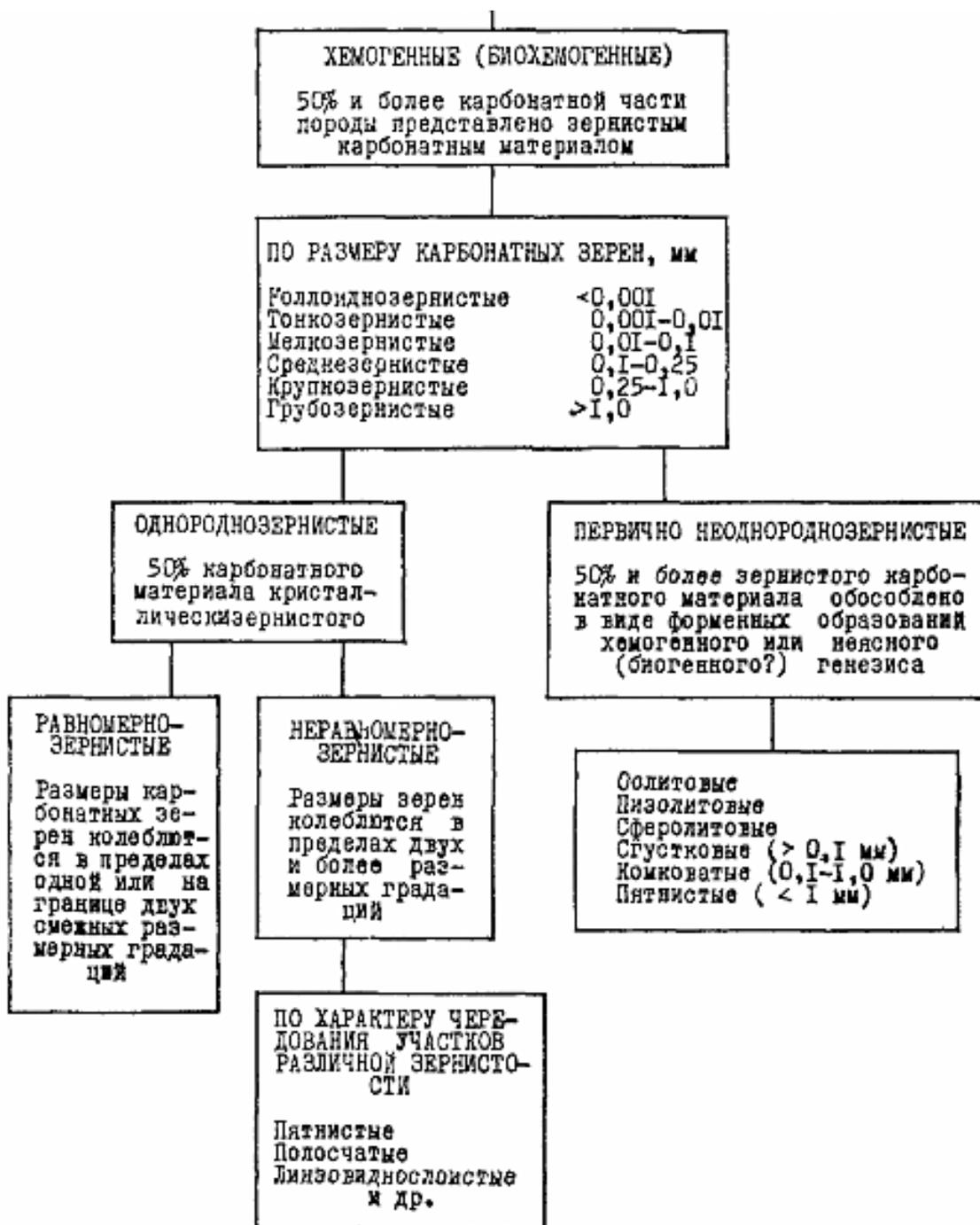


Рисунок 1.3 – Классификационная схема известково-доломитовых пород – часть 1 (Киркинская В.Н., 1978 г.)

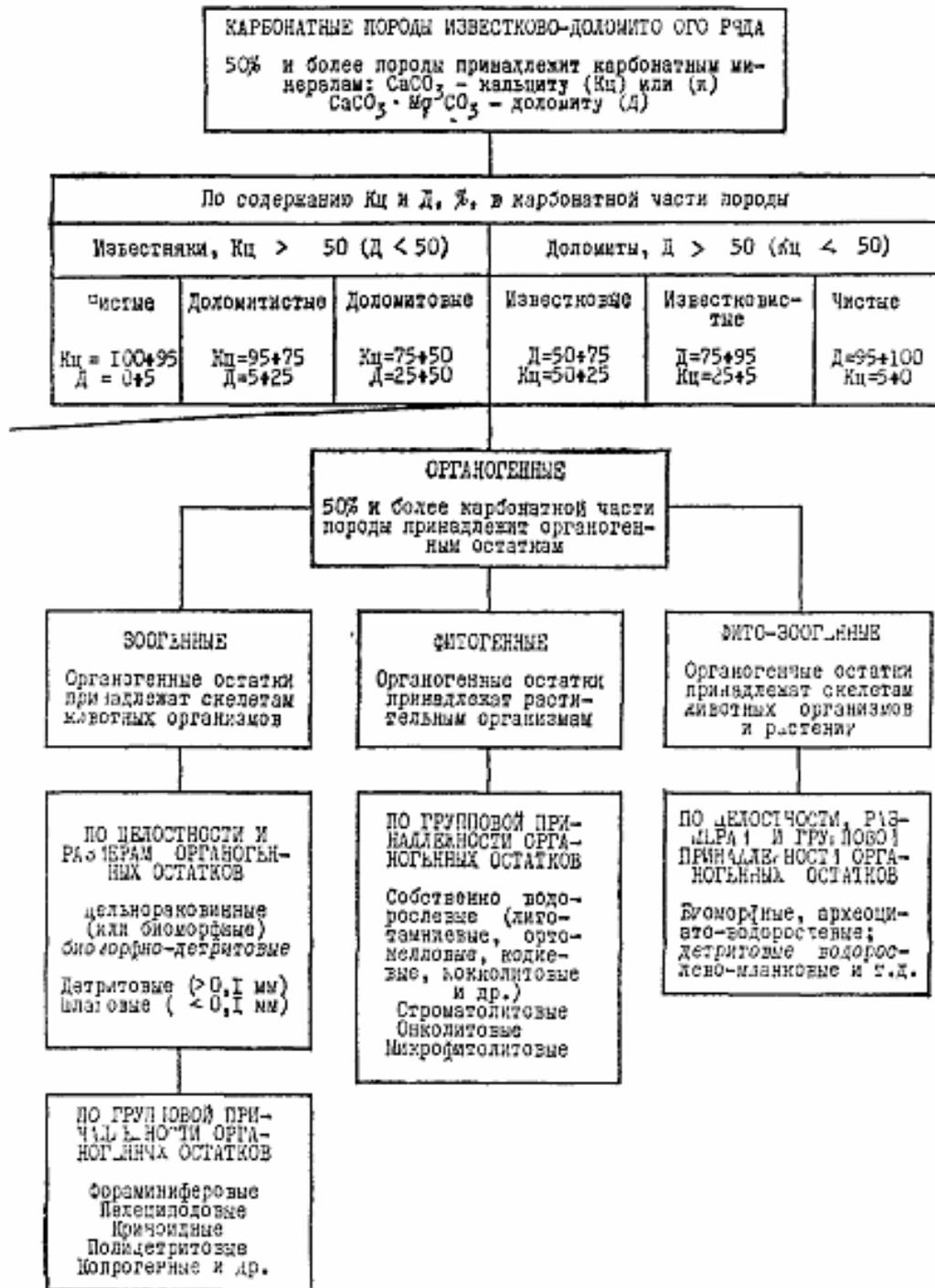


Рисунок 1.4 – Классификационная схема известково-доломитовых пород – часть 2 (Киркинская В.Н., 1978 г.)

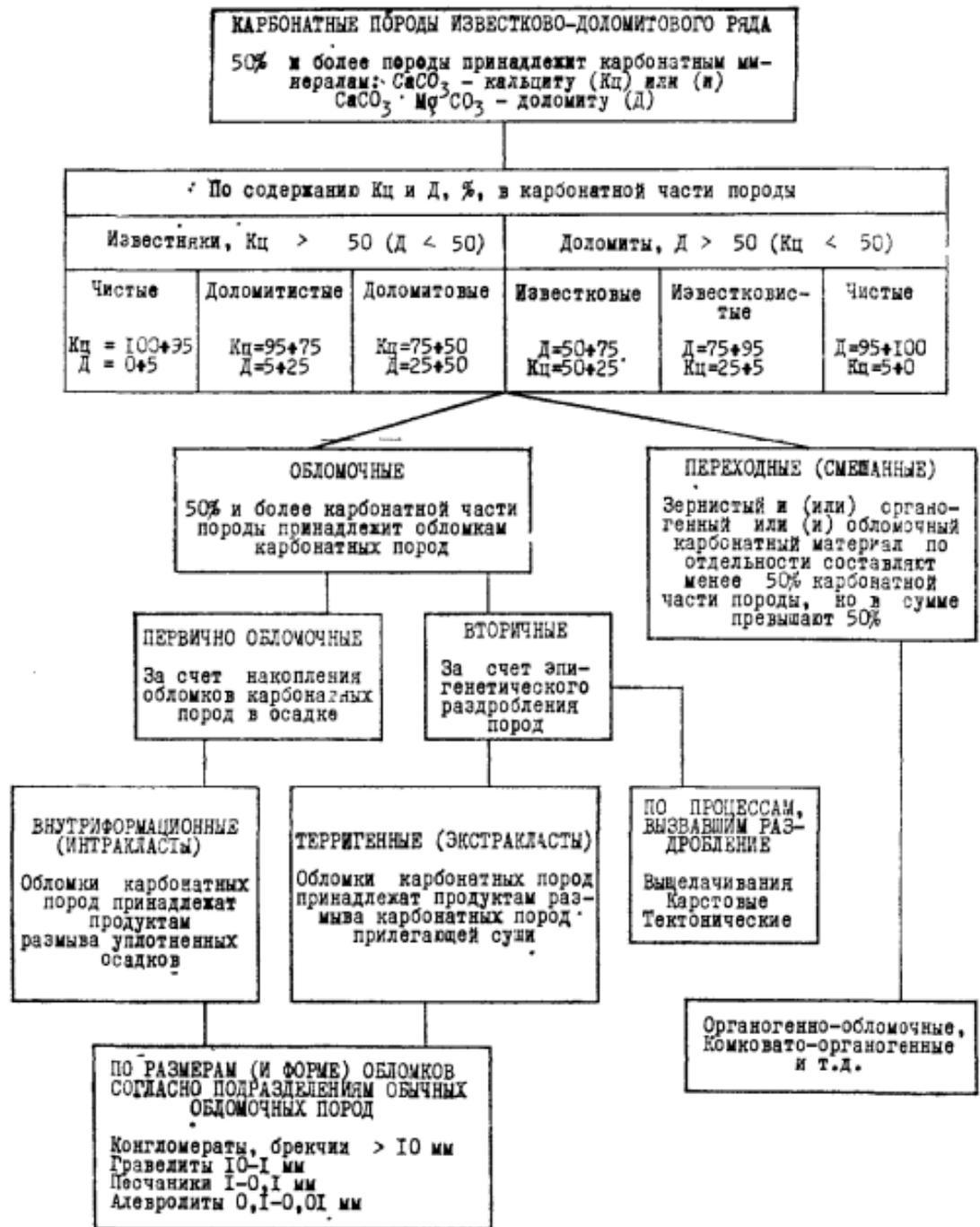


Рисунок 1.5 – Классификационная схема известково-доломитовых пород – часть 3 (Киркинская В.Н., 1978 г.)

Данная схема позволяет в определённой мере охарактеризовать известково-доломитовые разности, охватывая их текстурно-структурные особенности, сопряженные с генезисом материала.

Зарубежные классификационные схемы опираются на условия формирования карбонатного материала. Прежде всего это выражается в интерпретации гидродинамических условиях обстановки осадконакопления. Именно поэтому, такие схемы называют «энергетическими»: при классификации карбонатного материала наибольшую роль отводят гидродинамическому режиму водной среды седиментационной среды.

С 1948 года Р. Фолк начал разработку своей классификационной схемы, в которой карбонатный материал подразделяется на три группы составляющих его частиц:

1) аллохемы – обломочные частицы, которые подразделяются на интеркласты (результат размыва слабо уплотнённых карбонатных илов), оолиты, скелетные органогенные остатки, пеллеты (фекальные остатки организмов);

2) микрокристаллический кальцитовый ил (микрит), полученный в результате химического или биохимического осаждения;

3) яснокристаллический кальцит (спарит) – чистые зёрна с размером более 10 мкм, имеющие хемогенную природу.

Далее, карбонатный материал классифицируется по количественному включению данных частиц, анализируются их пропорции, согласно которым известняки подразделяют на три семейства:

1) аллохемовые, спаритовые – отложения, формирование которых сопряжено с относительно высокоэнергетической водной средой (сильные течения), за счёт которой микритовый карбонатный материал вымывается, а оставшееся пустотное пространство заполняется спаритом;

2) аллохемовые, микритовые, с наличием или отсутствием спарита в цементе, формирование которых обусловлено слабо подвижными водами;

3) микритовые – осадки, сформированные при влиянии спокойных вод, которые преквалифицируются в дисмикритами, в случае, если в текстурных особенностях были проявлены следы роющих организмов, являющихся нарушениями.

Аллохемовые известняки в дальнейшем подразделяются, основываясь на количественном соотношении аллохемовых компонентов, микрита и спарита (Таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Подразделение известняков (по Р. Фолку, 1959)

Соотношение микрита и спарита	Количество, % или сортировка аллохемов	Название породы
Более 2/3 микритовая основная масса	0-1	Микрит (и димикрит)
	1-10	Микрит с органогенными остатками
	10-50	«Плавающий» биомикрит
	>50	«Упакованный» биомикрит
Примерно равные количества микрита и спарита		Плохо отмученный биоспарит
Более 2/3 спаритовый цемент	Плохо отсортированные	Неотсортированный биоспарит
	Хорошо отсортированные	Отсортированный биоспарит
	Окатанные и отшлифованные	Окатанный биоспарит

Также Р. Фолк выделяет четвёртое семейство «биолитовых известняков», которые являются органогенными массивами, образованными организмами при жизни, на месте их обитания (риффы, биогермы).

Классификация Р. Фолка была пересмотрена и расширена Р. Дж. Данхемом, в которой он обратил внимание на удобство в названии классов, выделенных на основе текстурных особенностей, связанных с обстановками осадконакопления (Данхем, 1962). В 1962 году, Данхем представил свою

оригинальную классификацию, при выделении классов в которой были учтены следующие факторы:

- 1) наличие или отсутствие известкового ила и его массовый эквивалент;
- 2) оценка степени упаковки зерён с целью определения возможности существования каркаса;
- 3) определение типа зерён (интеркласты (литокласты), ооиды, биокласты, пелоиды (пеллетоиды), агрегированные комки (грейпстоуны), онкоиды);
- 4) интерпретация структурных особенностей зерна (размер, окатанность, оболочка);
- 5) карбонатные образования первичного биогенного происхождения.

На основе данных факторов Р. Данхэма выделил шесть текстурных названий классов карбонатного материала (Рисунок 1.6).

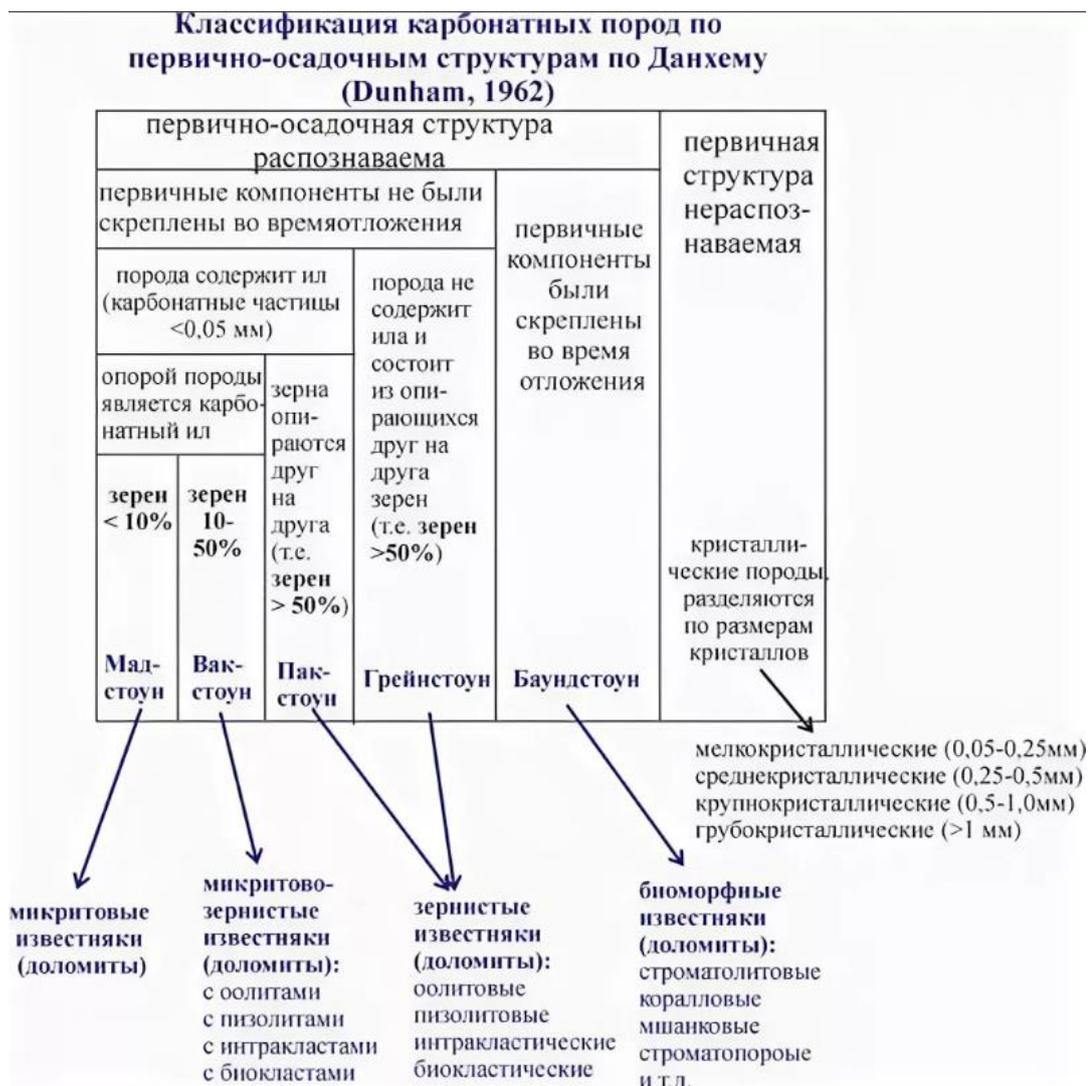


Рисунок 1.6 – Классификация карбонатных пород (Данхэм, 1962г.)

У данной классификации есть существенный минус – она не учитывает тип обломков и цемента. Также, схема не детализирована в полной мере, чтобы быть пригодной для описания органически связанных и крупнозернистых известняков.

Исходя из вышеперечисленных проблем, учёные Эмбри и Клован в 1971 году представили Модифицированную классификационную схему Данхэма (Эмбри Э.Ф.; Клован, Дж. Э., 1971). Классификация Данхэма – (Dunham classification). Группа баундстоунов была разделена на классы рудстоун и флаутстоун исходя из анализа скелетной структуры: для рудстоунов характерна скелетная структура, составленная из псефитовых обломков с небольшим количеством основной массы или полным её отсутствием; для флаутстоунов характерно наличие в основной тонкозернистой массе «плавающих» известковых галек. Также для баундстоунов была добавлена генетическая интерпретация типа связей (Таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Модифицированная классификация Данхэма по Эмбри и Кловану (Эмбри Э.Ф.; Клован, Дж. Э., 1971)

Осадочная структура различима						Осадочная структура неразличима
Исходные компоненты не были скреплены во время накопления осадка				Исходные компоненты были органически скреплены во время накопления осадка		
Содержит ил (карбонат глинисто-тонкоалевритовой размерности)			Ил отсутствует, зерна соприкасаются	>10% зерен >2 мм		Баундстон (может подразделяться на три типа ниже)
Зерна взвешены в иле		Зерна соприкасаются		Зерна взвешены в иле	Зерна >2 мм соприкасаются	
Зерен менее 10%	Зерен более 10%					
Мадстон	Вакстон	Пакстон	Грейнстон	Флотстон	Рудстон	Баундстон
						Организмами, которые служили преградой <b>Бафлстон</b>
						Обрастающими организмами <b>Биндстон</b>
						Организмами, которые строили жесткий каркас <b>Фреймстон</b>
						Кристаллический известняк

Данная классификация имеет наиболее широкое распространение среди литологов-нефтяников при интерпретации карбонатного материала (1971 г.).

На основе классификации Данхэма была получена ещё одна модификация, предложенная Райтом в 1992 году, в которой он раскрывает некоторые диагенетические закономерности (Рисунок 1.7).

Пересмотренная классификация Данхэма (Wright 1992)											
Депозиционная				Биологическая				Диагенетическая			
Матричная опора (глина и ил степень)		с зерновой основой		организмы in situ				без облитерации			облитерирующий
		менее 10% зерен	Более 10% зерен	С матрицей	Без матрицы	Инкрустирующие связывающие организмы	Организмы мешали	Доминирующие жесткие организмы	Основной компонент - цемент	Многие зерна контактируют в виде микроцилолитов	
Кальцево-аргиллиты	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Bafflestone	Framestone	Cementstone	Конденсированный грейстоун	Грейстоун		Sparstone
	Компоненты больше 2 мм										Кристаллы размером более 10 микрометров
	Floatstone	Rudstone									Microsparstone

Рисунок 1.7 – Пересмотренная классификация Данхэма - Райта (Райт 1992г.)

Дальнейшее развитие области классификации карбонатного материала в основном связано с пересмотром и модификацией классификаций Данхэма, Фолка, Эмбри и Клована. Исключительной на данном этапе разработки этого месторождения является работа Flugel (2010), которая учитывает весь накопленный до него опыт, а также уделяет большое внимание практической реализации типизации карбонатного коллектора. В своей работе он дает краткое руководство для описания керновых материалов, в частности микрошлифов, а также описывает все важные процедурные моменты, на которые, так или иначе, базируется классификация карбонатного материала.

## 2. Краткая геологическая характеристика объекта исследования

В административном отношении рассматриваемая территория находится в Заполярном районе Ненецкого автономного округа, недалеко от пос. Варандей (Рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Географическое местоположение исследуемой территории

Район работ характеризуется суровым арктическим режимом. Климат Печорского моря находится под влиянием теплого атлантического течения Гольфстрим и холодного арктического воздуха Северного Ледовитого океана. Частые вторжения теплых атлантических циклонов и холодного арктического воздуха определяют большую изменчивость погодных условий. Для климата характерна продолжительная зима (декабрь-март), короткое холодное лето (июль-август); большая облачность и влажность; устойчивые ветра: зимой над морем преобладают юго-западные, весной и летом – северо-

восточные ветра. Полярная ночь продолжается с конца ноября до середины января, а полярный день – с середины мая до конца июля.

Геологические изыскания в данном районе проводятся с начала 30-х годов прошлого столетия. Структурные и геологические карты, а также литолого-стратиграфическая характеристика района были составлены в 70-х годах. С 1982 года на исследуемой площади были проведены инженерно-геологические работы с бурением скважин, которые позволили провести анализ верхней части разреза. Посредством бурения скважин в период с 1986 по 2003 годы были открыты месторождения углеводородов, в том числе промышленной залежи нефти в отложениях перми – раннего карбона.

Литолого-стратиграфическая характеристика района, приведенная далее по тексту, основана на опубликованных литературных источниках, данных бурения скважин и результатов геолого-геофизических изысканий, проводимых в данном регионе.

## **2.1. Стратиграфический очерк**

Платформенный чехол восточной части акватории Баренцева моря сложен палеозойскими, мезозойскими и кайнозойскими отложениями. В данной работе целевым объектом исследования являются верхнекаменноугольные – нижнепермские отложения, слагающие основной продуктивный комплекс. Данный комплекс является наиболее исследованной осадочной формацией, залегает на небольших глубинах и содержит большее количество промышленных залежей нефти и газа в прибрежных районах Тимано-Печорского бассейна (Рисунок 2.2).

Залежи нефти сосредоточены в верхнекаменноугольно-ассельских, ассельско-сакмарских рифогенных и артинских разнофациальных карбонатах на глубинах от -1400 до -2490 м.

*Верхний отдел каменноугольной системы*

Отложения распространены на исследуемой территории повсеместно и рассматриваются в качестве единой стратиграфической единицы без подразделения на ярусы. Рассматриваемая толща представлена органогенно-обломочными известняками с редкими прослоями аргиллитов, глинистых и кремнистых известняков, приуроченных к нижней части толщи. Известняки серые и светло-серые с кремовым оттенком, массивные, с неравномерно обломочной органогенно-детритовой структурой, содержат желваки кремней полупрозрачных молочно-белых и темно-серых. Обломочный материал в известняках (размером от долей до 5 мм) представлен остатками раковин брахиопод, обломками мшанок, криноидей, иглокожих, а также обрывками водорослей, встречаются фораминиферы и единичные радиолярии.

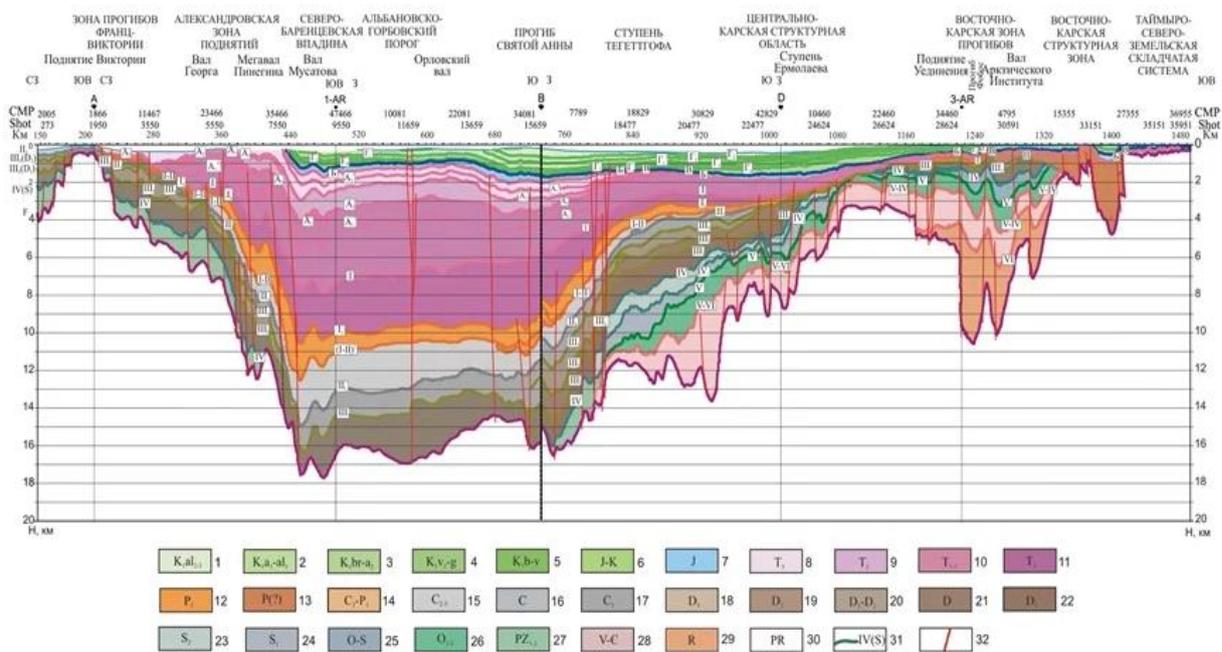


Рисунок 2.2 – Геолого-геофизический разрез по опорному профилю 4-АР (по: ФГУНПП Севморгео и ВНИИОкеангеология, 2016 г.)

Условные обозначения к рис. 3. Стратиграфия (акротема, эратема, система, отдел, ярус, подъярус) 1-30: меловая и юрская системы: 1 - средне-верхнеальбский, 2 - верхнеаптско-нижнеальбский, 3 - барремско-среднеаптский, 4 - верхневаланжинско-готеривский, 5 - барремско-валанджинский, 6 - юрско-меловая, 7 - юрская; триасовая система: 8 - верхний отдел, 9 - средний, 10 - ниже-средний, 11 - нижний; пермская система: 12 - верхний отдел, 13 - ниже-верхний; пермская и каменноугольная системы: 14 - среднекаменноугольно-нижнепермский; 15 - ниже-средний отделы карбона, 16 -

карбон, 17 - нижний отдел; девонская система: 18 - верхний отдел, 19 - средний, 20 - нижне-средний, 21 - девонская, 22 - нижний; силурийская система: 23 - верхний отдел, 24 - нижний; 25 - ордовикско-силурийская системы, 26 - нижне-среднердовикский отделы; 27 - палеозойская эратема; 29 - венд-кембрийская системы; 30 - протерозойская акротема. 31 - отражающие горизонты и их индексы; 32 - тектонические нарушения.

Биокалькаренины представляют породу серого, темно-серого цвета с неровной субгоризонтальной и кривой слоистостью, состоящую на 80-85% из переотложенных обломков различной фауны, в том числе окатанных фораминифер, обломков известняков. Присутствуют редкие обломки кварца, углистая крошка, обрывки углефицированного растительного детрита. Цементом служит крупнокристаллический кальцит, либо мелкозернистый. Оолитовые известняки буровато-серые массивные.

Границы между пластами известняков и биокалькаренинов постепенные и резкие, с поверхностями размыва, подчеркнутыми скоплениями дисперсного черного органического вещества.

Аргиллиты, образующие редкие прослои в нижней половине толщи, светло-серого, зеленовато-серого цвета, пластинчатые, слюдистые хлорит-монтмориллонитового состава, содержат скопления алевритовых обломков кварца. Аргиллиты, образующие прослои в верхней половине толщи, темно-серые, зеленовато-серые, алевритистые и коричневые массивные известковистые. Мощность отложений верхнего карбона на данной территории варьируется от 44 м до 59 м.

#### *Нижний отдел пермской системы*

Пермская система в пределах рассматриваемого участка выделена только в объеме нижнего отдела, в котором выделяют продуктивный ассельский и артинский-кунгурский ярусы (Рисунок 2.3).

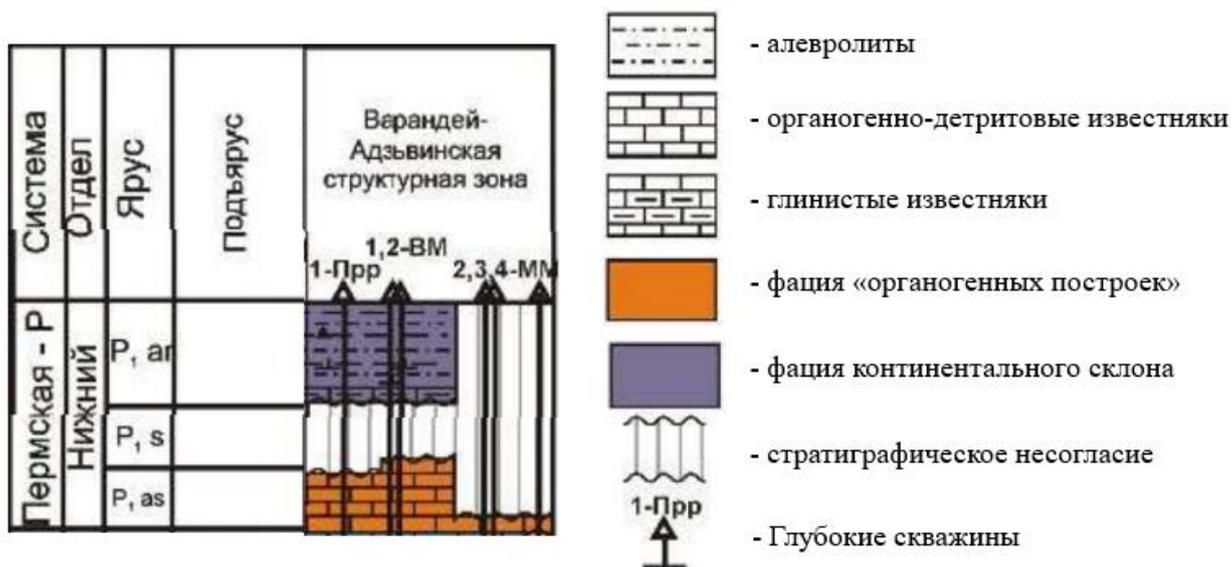


Рисунок 2.3 – Типовой стратиграфический разрез исследуемого участка

На исследуемой области ассельский ярус перекрывается артинско-кунгурскими отложениями, между которыми есть поверхность несогласия, обусловленная эрозией отложений Сакмарского яруса нижней перми.

Ассельский ярус представлен известняками рифогенных фаций – биогенными известняками и продуктами их переотложения – биокалькаренитами. Верхняя часть ассельских отложений представлена коричневато-серыми, органогенно-обломочными, криноидно-мшанковыми известняками, для которых процент органогенных фрагментов варьируется от 75 до 80. В разрезе так же отмечаются остатки раковин брахиопод и единичные кораллы, а также частичная ангидритизация.

В отдельных участках встречены кавернозные, хрупкие, рыхлые, кремовые от бежевых до светло-серых, мелко-кристаллические, органогенно-детритовые, брекчиевидные, твёрдые известняками, в составе биогемного материала которых преобладают мшанки, кораллы и фораминиферы. Реже известняки белые, светло-серые, коричневато-серые, органогенно-обломочные, с редкими прослоями оолито-обломочных разностей.

В целом, рассматриваемая толща выполнена биокластовыми грейнстоунами, которые отлагались в условиях высокоэнергетической

карбонатной платформы, с близко-расположенным водорослевым биогермом. Нижняя часть формация представлена пакстоунами, отлагавшимися при относительно слабом энергетическом режиме.

Согласно данным литологии, с привлечением микроскопического описания шлифов в отложениях нижней перми можно четко выделить пять различных в литогенетическом плане пластов, которые возможно проследить по данным геофизических исследований скважин: 1а, 1б<sub>1</sub>, 1б<sub>2</sub>, 1с, 2а.

Артинский и кунгурский ярусы, при общем терригенно-карбонатном составе, в западных районах сложен преимущественно известняками, мергелями с прослоями глин. При этом на востоке резко возрастает доля глин, алевролитов и песчаников. Алевропесчаники серые, зеленовато-серые, полимиктовые с глинистым и глинисто-карбонатным цементом, слюдистые. Аргиллиты голубовато-серые, пиритизированные, слюдистые. Алевролиты серые полимиктовые. В целом, для исследуемой территории отложения артинского и кунгурского ярусов представляют собой непроницаемую покрывку, с нефтепризнаками в своей нижней части.

## **2.2. Тектоника**

В тектоническом строении исследуемой плиты выделяют фундамент и осадочный чехол. Осадочный чехол сложен отложениями палеозоя и мезокайнозоя. В строении осадочного чехла принимают участие три структурных этажа, резко различающихся составом слагающих формаций и историей геотектонического развития: нижний (ордовикско-среднедевонский), средний (верхнедевонско-триасовый) и верхний (юрско-кайнозойский).

Разрез исследуемого участка расположен в пределах среднего структурного этажа, который охватывает отложения, заключённые между региональными предфранским и предъюрским несогласиями, отражающими соответственно герцинскую и киммерийскую фазы тектогенеза.

Исследуемый участок расположен в области сочленения двух крупных элементов II порядка: Варандей–Адзвинской и Восточно-Печорской структурных зон.

Синеклизная стадия, включающая отложения от верхнего девона до нижнего карбона, характеризуется унаследованным развитием основных тектонических элементов в условиях активного погружения.

Инверсионная стадия характеризуется значительной перестройкой структурных планов Тимано-Печорского бассейна. Инверсия начинает активно проявляться в конце карбона - начале перми и приводит к образованию на месте авлакогенов положительных структур, таких как вал Сорокина, а на месте жестких блоков фундамента – прогибов. Завершается инверсионная стадия в позднем триасе и фиксируется глубоким предсреднеюрским размывом. В этот период под воздействием тангенциальных напряжений со стороны Урала - Новой Земли в результате взбросовых и взбросо-надвиговых дислокаций по древним разломам произошел завершающий этап формирования инверсионных структур.

Для рассматриваемого района характерно развитие крупных сдвиговых деформацией субширотного простирания (левосторонний сдвиг), образующей так называемую «цветковую структуру» (flower structure), которая в плане проявляется в виде серии разрывных нарушений северо-западного направления, ориентированных под углом к направлению перемещения. Составным элементом этой серии является и указанный выше глубинный разлом. На крайнем юге прослежены субширотные нарушения, параллельные сдвигу. В разрезе сдвиг представляет собой систему разломов, веерообразно расходящихся вверх (Рабей И.В. и др., 2000).

### 2.3. Нефтегазоносность

Согласно схеме нефтегазогеологического районирования, исследуемый участок расположен в акваториальном продолжении Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна, в пределах Варандей-Адзвинской и Хорейверской нефтегазоносных областей. В осадочном чехле бассейна выделяют пять нефтегазоносных комплексов: силурийско-нижнедевонский карбонатный, среднедевонско-франский терригенный, доманиково-турнейский карбонатный, ниже-средневизейский терригенный, верхневизейско-нижнепермский карбонатный, верхнепермский терригенный и триасовый терригенный.

#### *Верхневизейско-нижнепермский НГК.*

Комплекс повсеместно распространен на территории Тимано-Печорского НГБ, сложен в основном карбонатными породами: известняками и их доломитизированными разновидностями. Его кровля залегает на глубинах 2-4 км. Мощность достаточно выдержана и составляет около 500-600 м. Для комплекса характерно широкое развитие органогенных построек

Залежи нефти в отложениях комплекса обнаружены в пределах акватории на месторождениях Приразломное, Варандей-море-1, Медыньское-море-2 и Долгинское. Залежи газоконденсата открыты на Поморском и Северо-Гуляевском месторождениях. Коллекторами являются порово-трещиноватые окско-нижнесерпуховские карбонаты, протвинско-верхнекаменноугольные органогенно-детритовые и ассель-сакмарские известняки, а покрышкой – артинско-кунгурская глинистая толща и ангидриты тарусско-стешевского возраста. Нефтематеринскими породами являются верхневизейско-нижнепермские известняки и верхнедевонские битуминозные карбонаты (доманик).

В пределах изучаемой территории рассматриваемый продуктивный интервал представлен карбонатным резервуаром – **Горизонт-І.**

Высокопористый **Горизонт-I** (ассельский ярус нижней перми) состоит из совокупности трех относительно тонких продуктивных пластов **Ia, Ib, Ic**, среди которых пласты **Ib** и **Ic** распространены регионально и выделяются во всех разрезах. Пласт **Ib** обычно встречается, как правило, в присводовых частях структуры выдержан по мощности и фильтрационно-емкостным свойствам. Параметры пласта **Ic** варьируют в более широких пределах.

Верхний пласт **Ia** развит мозаично и в пределах некоторых структур отсутствует, предположительно из-за его размыва. Пласт представлен переслаиванием высоко и низкопористых известняков. В отдельных скважинах мощность пласта резко возрастает, за счет продуктов размыва карбонатных построек.

Как правило, нефтяные залежи контролируются ловушкой комбинированного типа (Рабей И.В. и др., 2000). Залежи приурочены к пористым органогенно-детритовым известнякам. В их строении в разных соотношениях участвуют водоросли, мшанки, брахиоподы, криноидеи, иглокожие и единичные кораллы. В таких известняках развиты преимущественно коллекторы порового и каверно-порового типов с развитием кавернозности по первичным седиментационным порам, за счет чего известняки характеризуются сложным строением порового пространства (Рыжов А.Е., Виценовский М.Ю., Сауткин Р.С., 2012). Покрышкой служат преимущественно глинистые отложения артинского и кунгурского ярусов.

### 3. Седиментологическая типизация ассельской продуктивной формации

Метод комплексирования данных очень полезен в построении статических и динамических моделей резервуара. Интерпретируя характеристики резервуара, можно подсчитать запасы, предсказать поведение потока флюида с большой вероятностью и точностью. В иностранной практике для этих целей используют понятие «*Rocks typing method*», для простоты понимания в работе применяется термин «рок-типирование».

В настоящий момент существует несколько методов рок-типирования, которые, опираясь на геологические и петрофизические свойства коллектора, позволяют выявлять роктипы в карбонатных резервуарах. При этом не все методы удобоваримы для использования с таким типом коллектора, поэтому эксперты продолжают исследования в области интерпретации свойств карбонатных разрезов, с экспериментируя с использованием тех или иных методов рок-типирования.

Суть метода классификации горных пород (типирование пород) состоит в том, что нам необходимо сопоставить данные анализа керна с петрофизическими данными, полученными из скважины, при этом, сравнение характеристик позволит провести корреляцию по всему разрезу: выявить пропластки с одинаковыми характеристиками и литологией. В последствии, это позволит более эффективно подбирать режим разработки для залежи и с большой вероятностью предсказывать её режим работы. Существует несколько методов рок-типирования (Рисунок 3.1.):

В данной работе при интерпретации разреза были использованы следующие методы: Гидравлических единиц потока (*Hydraulic Flow Unit - HFU*), Метод выделения типов горных пород, основанный на геометрии порового пространства (*Pore Geometry Structure - PGS*).

Главной задачей при выполнении работы стало определение наиболее подходящего метода рок-типирования из выше названных для использования в контексте рассматриваемого месторождения Печора.

Далее будет представлен литературный обзор каждого метода и показана его реализация в рамках работы.



Рисунок 3.1 – Графическая схема методологии рок-типирования

При разработке типовой модели продуктивных осадочных комплексов использованы данные по разведочным скважинам Печорского нефтяного месторождения.

Первоначальным важнейшим этапом исследований являлась диагностика структурно-генетических типов (литогенетических типов) карбонатных пород по данным керна и ГИС. Для уточнения полученных результатов использовались результаты профильных измерений естественной радиоактивности, разбивки по продуктивным пластам.

В основу настоящего обобщения положены определения литогенетических типов, основанные на седиментологической интерпретации данных камерального послыоного описания керна скважин, вскрывших породы основных продуктивных пластов, данные микрофациального (литолого-

фациального анализа на микроуровне) анализа и детального петрографического описания пластов.

В результате анализа перечисленных материалов были восстановлены обстановки карбонатного осадконакопления, существовавшие в Печорском море в позднепалеозойские эпохи осадконакопления. Для уточнения условий седиментации использованы классификации Дж. Л. Уилсона (1975); Р.Дж. Данхема (1962), Е. Флэгеля (1972), основанные на количественных соотношениях в осадке илового и зернистого компонента.

В рамках принятой для этой территории терминологии продуктивных горизонтов и пластов выделение литогенетических типов пород основана на следующей номенклатуре: - карбонатная часть разреза – пласты **Ia, Ib1, Ib2, Ic, Па** (нижняя пермь, ассельский ярус). В качестве стратиграфического каркаса приняты стратиграфические разбивки по разведочным скважинам месторождения Печора.

Согласно М.Г. Латышевой (1991) карбонатные коллекторы выделены по показаниям нейтронных и акустических методов. Косвенными качественными признаками коллекторов в карбонатных породах являлись низкие показания на кривой гамма-каротажа ГК (GR), наличие радиального градиента сопротивлений и т. д. Для исключения тонких плотных низкопористых или глинистых прослоев использованы данные всего имеющегося комплекса ГИС: микрометоды - микрокаротаж, боковой микрокаротаж (MINV, MNOR, MLL), боковой каротаж - (LL3), нейтронный (NGLD, CNC), акустический (DTP), плотностной (ZDEN) методы.

Прямыми качественными признаками наличия коллектора в скважинах месторождения являются проникновение фильтрата промывочной жидкости (ПЖ) в пласты с образованием глинистой корки. Также к прямым качественным признакам наличия коллекторов отнесен факт получения притоков пластовых флюидов при опробовании и испытании пластов.

На основе анализа имеющегося материала представляется возможным построение седиментационно-емкостной модели ассельской формации.

### 3.1. Седиментологическая характеристика продуктивного Горизонта-1

Основой для классификации карбонатного материала и выделения литогенетических типов пород послужили классификационные схемы Дж. Р. Данхэма и Дж. Уилсона, поскольку являются наиболее проработанными и часто реализуемыми при типизации карбонатного материала. В целом, определение литотипов производится на основе комплексирования данных схем. Изученный фактический материал, предоставленный для настоящего обобщения, сведен в табличную форму (Таблица 3.1). Коды выделенных фаций базируются на Международной номенклатуре Р.Дж. Данхема (Dunham, 1962) и приведены в Таблице 3.2.

Таблица 3.1 – Послойное седиментологическое описание по скважине  
Печора-1

Глубины (MD)	Литологическое описание микрофаций согласно детальному послойному литологическому описанию керна материала по выделенным стратиграфическим пластам	Определение породы согласно Международной номенклатуре (Dunham, 1962, с изменениями и дополнениями)
1	3	4
2410,30	Известняк биоморфный полифитовый с водорослево-микритовым выполнением каркаса, с фрагментами микростилолитовых швов, пористый	Полифитовый водорослевый баундстоун (бафлстоун) (ТАВ)
2410,40	Известняк биоморфный, полифитовый, с водорослево-микритовым выполнением каркаса, с фрагментами микростилолитовых швов г/з, среднесортированный биокластический, со скелетом, сложенным криноидеями и водорослями при наличии мшанок, прослоями известняк полифитовый биоморфный	Интракластическая водорослевая фация (IA), представленная: криноидным водорослевым грейнстоуном (CrAG), криноидным водорослевым пакстоуном (CrAP), в отдельных прослоях биоморфный мшанковый полифитовый баундстоун (BB)
2412,1	Известняк полифитовый биоморфный с водорослево-микритовым выполнением каркаса, с фрагментами микростилолитовых швов, пористый	Полифитовый водорослевый баундстоун (бафлстоун) (ТАВ)
2413.60	Известняк с/з, к/з плохо сортированный, сцементированный карбонатными илами и водорослевыми фитобиогермными известняками. Порода разбита на отдельные очень крупные сцементированные блоки. Крапчатость и брекчирование присутствует повсюду. Зерна скелета в большинстве случаев	Интракластическая водорослевая фация (IA), представленная: криноидным водорослевым грейнстоуном (CrAG), криноидным водорослевым пакстоуном (CrAP) и биоморфным мшанковым полифитовым баундстоуном (BB)

	водорослевые с включением фораминифер, брахиопод, мшанок, криноид, гастропод, остракод, кораллов и губок	
2415,30	Известняк полидетритовый, среднесортированный, биокластический с микритовым сгустково-комковатым и спаритовым цементом, г/з, участками биоморфной структуры, пористый, со скелетом, сложенным криноидеями и водорослями при наличии мшанок	Полидетритовый пак-грейнстоун (CrP/CrAG), участками мшанково-полифитовый баундстоун (бафлстоун) (BB)
2415,40	Известняк полифитовый, с микритовым неясно сгустково-комковатым цементом, полифитово-мшанковой структуры, участками биоморфной трубчато-ветвистой структуры. Биокласты: фрагменты скелетов иглокожих (преимущественно криноидеи, редко иглы морских ежей), мшанок, обломки трубочек синезеленых и зеленых водорослей; редко фрагменты раковин брахиопод и крупных фораминифер (фузулинид), единичны фрагменты слоевищ красных водорослей (?); незначительное количество мелкого цельнораковинного материала представлено мелкими фораминиферами, кальцисферами и единичными остракодами	Полидетритовый грейн-пакстоун (DG/P), полифитово-мшанковый баундстоун (BB)
2416,00	Известняк полидетритовый (биомор-фный?) с микритовым сгустково-комковатым и спаритовым цементом, пористый	Полидетритовый пак-грейнстоун (DP/G)
2417,3	Известняк биоморфный, мшанково-полифитовый с микритовый и спаритовым цементом с биоморфной ветвисто-трубчатой структурой, сформирован трубками синезелёных и зеленых водорослей, веточками мшанок; короткими пластинами палеоаплезин (?). Биокласты: фрагменты криноидеи, мшанок, водорослей, раковин крупных фораминифер (фузулинид), раковинный детрит, единичные мелкие обломки (?) слоевищ красных водорослей, раковины различных мелких фораминифер и кальцисферы	Полифитово-мшанковый баундстоун (BB)
2419,1	Известняк полифитовый, в прослоях биоморфный, мшанково-полифитовый с зернистым выполнением каркаса при участии микритового неясно комковато-сгусткового и спаритового цемента, пористый; г/з, среднесортированный, биокластический, со скелетом, сложенным криноидеями и водорослями при наличии мшанок и фораминифер, биокласты представлены брахиоподами, двустворчатými моллюсками, губками	Криноидный водорослевый, биокластический грейнстоун (CrAG), с подчиненными прослоями пакстоуна (CrAP), мшанково-полифитовый баундстоун (бафлстоун) (BB)
2420,60	Известняк биоморфный микрокодиевый	Баундстоун микрокодиевый

		(МСВ)
2422,20	Известняк граноморфный детритовый, криноидно-мшанковый со спаритовым цементом, с микростилолитовыми швами, слабо пористый, м/з, в среднем хорошо сортированный, с фрагментами дырчатых мшанок, водорослями, брахиоподами, остракодами, фораминиферами	Криноидно-мшанковый грейнстоун (CrBG)
2423,60	Известняк детритовый микрокодиевый с микритовым матриксом, слабо пористый с фрагментами известняка биоморфного микрокодиевого	Микрокодиевый вак-пакстоун, (MCW/P) с фрагментами микрокодиевого баундстоуна (МСВ)
2423,80	Известняк детритовый микрокодиевый с микритовым матриксом, слабо пористый и фрагмент известняка биоморфного микрокодиевого (контакт). Известняк т-м/з, хорошо сортированный, биокластический, почти всегда состоящий из фрагментов криноидей, слоистый, со следами ряби и волнистыми текстурами. Крайне нерегулярно встречаются линзы обломков криноидей	Микрокодиевый вакстоун / пакстоун, (MCW/P) с фрагментами микрокодиевого баундстоуна (МСВ)
2425,5	Известняк биоморфный коралловый с микритово-спаритово-детритовым выполнением каркаса, биогермной текстуры, сложенный кустистой колонией табулят	Коралловый баундстоун (CRB)
2426,3	Известняк биоморфный микрокодиевый, с микритовым выполнением межкаркасных пространств, пористый, очень м/з, сложенный главным образом перекристаллизованными автохтонными кораллами; в биокластах гл. образом - мшанки, криноидеи, водоросли	Микрокодиевый баундстоун (МСВ)
2427,70	Известняк биоморфный микрокодиевый с микритовым выполнением межкаркасных пространств, пористый	Микрокодиевый баундстоун (МСВ)
2428,30	Известняк биоморфный полифитовый с граноморфным, в сочетании с микритом и спаритом, выполнением каркаса, пористый; с/з биокластовый, с грубыми, сцементированными плоскостями отслоения, биокласты представлены криноидеями, водорослями и фораминиферами. Также присутствуют мшанки, брахиоподы, двустворчатые моллюски и остракоды	Полифитовый баундстоун (бафлстоун) – полидетритовый пакстоун (DP)
2428,7	Известняк биоморфный микрокодиевый, с микритовым выполнением межкаркасных пространств, пористый, очень м/з известковый баундстоун, сложенный главным образом перекристаллизованными автохтонными кораллами. Биокласты: главным образом мшанки, криноидеи, водоросли	Баундстоун микрокодиевый (МСВ)
2430,3	Известняк биоморфный, слабо доломитистый,	Микрокодиевый баундстоун

	микрокодиевый, с участками микритовой структуры, с включениями тонко-, с/з, биокластических известковые пропластков оолитовых (грейнстоуны) известняков, в которых криноидеи и водоросли сменяют друг друга как преобладающий тип зерен; для локальных включений типичны микритовые зерна. Другие биокласты представлены фораминиферами, мшанкам, брахиоподами и двустворчатыми моллюсками. Редко встречаются одиночные кораллы.	(МСВ), с прослоями криноидного водорослевого грейнстоуна (CrAG)
2431,50	Известняк полидетритовый с микритовым матриксом	Полидетритовый вак-пакстоун (DWP), с фрагментами микрокодиевого баундстоуна (СВ)
2432,70	Известняк биоморфный микрокодиевый, с участками микритовой структуры, с включениями детритовых зерен, пористый	Микрокодиевый баундстоун (МСВ)
2433,30	Известняк массивный, пелитоморфно-микрористаллический неясно комковато-сгустковый с включениями детритовых зерен, слабо пористый	Пеллетово-детритовый вакстоун (PIDW)
2433,50	Известняк пелитоморфно-микрористаллический, неясно комковато-сгустковый с включениями детритовых зерен, слабо пористый, очень м/з с нерегулярным переслаиванием, с преобладанием фрагментов мшанок	Пеллетово-детритовый вакстоун (PIDW)
2434,70	Известняк биоморфный полифитовый с граноморфным, в сочетании с микритом и спаритом, выполнением каркаса, пористый	Полифитовый баундстоун (бафлстоун) (ТАВ)
2435,1	Известняк биоморфный полифитовый, в сочетании с микритовым и спаритовым выполнением каркаса, пористый, с/з биокластовый, с грубыми, сцементированными плоскостями отслоения; криноидеи, водоросли и фораминиферы являются основными составляющими зерен, также присутствуют мшанки, брахиоподы, двустворчатые моллюски и остракоды	Баундстоун полифитовый (ТАВ) с криноидным водорослевым грейн-пакстоуном (CrAG/P)
2436,70	Известняк полидетритовый с микритовым и спаритовым цементом, с участками биоморфной структуры	Полидетритовый пакстоун (DP), участками полифитовый баундстоун (ТАВ)
2437,0	Известняк полидетритовый, с микритовым и спаритовым цементом, участками биоморфной структуры, слабо пористый, тонко- и с/з биокластовый известковые грейнстоуны, залегающие под тонкими, очень м/з пакстоунами/грейнстоунами со следами ходов илоедов. Типичны водоросли, водорослевая масса и микритовые известняки. Биокласты включают криноидеи, мшанки, фораминиферы, брахиоподы, двустворчатые моллюски и губки.	Полидетритовый грейн-пакстоун (DG/P)

2437,6-2438,0	Известняк биоморфный полифитовый с детритово-спаритовым выполнением межкаркасных пространств, Пористый, биогермной текстуры	Полифитовый баундстоун (бафлстоун) (ТАВ)
2438,00	Известняк биоморфный полифитовый, с/з биокластовый, в структуре в составе зерен преобладают водоросли и криноидеи, также часто встречаются водорослевые массы, микритовые зерна и фораминиферы. Вверх по разрезу известковые грейнстоуны/пакстоуны перекрываются грубозернистыми и крупнозернистыми грейстоунами	Криноидный водорослевый грейнстоун (CrAG) / пакстоун (P)
2439,60	Известняк полидетритовый со спаритовым цементом, с участками фитоморфной структуры (?), с/з биокластовый, В составе зерен преобладают водоросли и криноидеи, также в составе зерен часто встречаются водорослевые массы, микритовые зерна и фораминиферы, пористый. Мшанки, брахиоподы, двустворчатые моллюски и одиночные кораллы встречаются редко	Полидетритовый грейнстоун (DG)
2439,4	Известняк полидетритовый со спари-товым цементом, с участками фито-морфной структуры (?), с/з биокла-стовый, В составе зерен преобладают водоросли и криноидеи, также в составе зерен часто встречаются водорослевые массы, микритовые зерна и фораминиферы, пористый. Мшанки, брахиоподы, двустворчатые моллюски и одиночные кораллы встречаются редко	Полидетритовый грейнстоун (DG)
2440,9	Известняк граноморфный, полидетритовый с микритовым и спаритовым цементом, пористый, с/з биокластовый. Биокласты сложены главным образом криноидеями, фораминиферы и часто встречающимися водорослями. Присутствуют мшанки и двустворчатые моллюски. Известняк (грейнстоун) залегает под известняком брахиоподовым для которого типично <i>наличие брахиопод в естественном положении (брахиоподовая банка)</i>	Полидетритовый пакстоун/ грейнстоун (CrAG)
2442,50	Известняк детритовый фораминиферово-криноидный с микритовым неясно комковато-сгустковым и локально развитым спаритовым цементом.	Фораминиферово-криноидный грейн-пакстоун (FCrG/P)
2442,8	Известняк детритовый фораминиферово-криноидный с микритовым неясно комковато-сгустковым и локально развитым спаритовым цементом, слабо пористый. Известняк от м/з до с/з биокластического со слабо выраженным уменьшением размеров частиц вверх по разрезу. Биокласты представлены главным	Фораминиферово-водорослево-криноидный грейн-пакстоун (FACrG/P)

	образом фораминиферами и широко распространенными водорослями и криноидеями, встречаются брахиоподы и мшанки	
2445,80	Известняк биоморфный полифитовый с зернисто-спаритово-микрито-вым выполнением каркаса, с/з биокластовый с рябью в кровле. Биокласты представлены главным образом водорослями (типичные <i>dasycladacean</i> ), с криноидеями	Водорослевый ( <i>Dasycladacean</i> ) грейнстоун (ADG)
2447,40	Известняк граноморфный криноидно-мшанковый со спаритовым цементом, с микростилолитовыми шва-ми, слабо пористый	Криноидно-мшанковый грейнстоун (CrBG)
2447,60	Известняк граноморфный криноидно-мшанковый со спаритовым цементом, с микростилолитовыми шва-ми, с фрагментами преимущественно сцементированных криноидей слабо пористый	Криноидно-мшанковый грейнстоун (CrBG)
2447,80	Известняк к/з, биоморфный полифитовый с граноморфно-спаритовым выполнением каркаса, пористый, с преобладанием фораминифер и водорослей, часто встречаются мшанки и криноидеи	Фораминиферовый баундстоун (бафлстоун) (FAB) / грейнстоун (FAG)
2449,00	Известняк граноморфный пеллетово-полидетритовый со спаритовым цементом, пористый	Пеллетово-полидетритовый грейнстоун (PIDG)
2450,60	Известняк очень м/з до м/з биокластический, состоящий главным образом из фрагментов криноидов, граноморфный пеллетово-полидетритовый со спаритовым цементом, слоистый, со следами ряби и ходами илоедов, пористый	Пеллетово-полидетритовый грейнстоун (PIDG)
2452,40	Известняк с/з, к/з биокластический, биоморфный полифитовый, состоящий в основном из криноидей и водорослей, часто встречаются фораминиферы, мшанки, брахиоподы и двустворчатые моллюски, с граноморфно-спаритовым выполнением каркаса, пористый	Полидетритовый грейнстоун (DG), участками водорослевый баундстоун (TAB)
2455,4	Известняк с/з, биокластовый, граноморфный, в основном состоящий из водорослей, комков водорослей, микритовых зерен и криноидей. Встречаются фораминиферы, мшанки, брахиоподы и двустворчатые моллюски, пеллетово-криноидный с микритовым и спаритовым цементом, пористый	Пеллетово-криноидный грейнстоун / пакстоун (PICrG/P)
2457.00	Известняк граноморфный пеллетово-криноидный с микритовым и спаритовым цементом, в основном состоящий из водорослей, комков водорослей, микритовых зерен и криноидей. Встречаются	Полидетритовый грейнстоун (DG)

	фораминиферы, мшанки, брахиоподы и двустворчатые пористый	
2460,40	Известняк биоморфный к/з, среднесортированный, биокластовый, в основном состоящий из фораминифер и мшанок, с распространением криноидей. Также встречаются водоросли, брахиоподы и двустворчатые моллюски. Возможно наличие сдвиговых нарушений, мшанково-полифитовый с граноморфным, в сочетании с микритом и спаритом, выполнением каркаса	Мшанково-полифитовый баундстоун (бафлстоун) (BB)
2462,80	Известняк м/з, биокластовый, биоморфный, содержащий обычно вкрапления мшанок; также встречаются водоросли, криноидеи, остракоды и брахиоподы, мшанково-полифитовый с граноморфным, в сочетании с микритом и спаритом, выполнением каркаса, микритовый с полидетритовой составляющей, с участками биоморфной структуры (?)	Мшанково-полифитовый баундстоун (бафлстоун) (BP), вакстоун (BW), участками тубифитовый (?) баундстоун (TAB)
2463,8	Известняк м/з, пелитоморфный, микритовый с полидетритовой составляющей, с участками биоморфной структуры (?), содержащий обычно вкрапления мшанок. Также встречаются водоросли, криноидеи, остракоды и брахиоподы	Полидетритовый вакстоун (DW), участками тубифитовый (?) баундстоун (TAB)
2465,30	Известняк граноморфный полидетритовый со спаритовым цементом, пористый	Полидетритовый грейнстоун (DG)
2465,60	Известняк полидетритовый, тонко-слоистый, с биокластами, представленными главным образом вкрапление мшанок, несмотря на частое присутствие криноидей и водорослей. Другие биокласты содержат остракоды, фораминиферы, брахиоподы и двустворчатые моллюски	Тонкое переслаивание м/з и с/з биокластовых известковых пакстоунов, реже вакстоунов, и от грейнстоунов до грейнстоунов /пакстоунов (?BAG/P) Многие из горизонтов грейнстоунов показывают измельчение частиц вверх по разрезу

Таблица 3.2 – Коды выделенных фаций

Код фации	Название фации, по слагающему ее материалу
Md	Фация мадстоунов
<b>Фации вакстоунов</b>	
DW	Фация детритовых (биокластовых) вакстоунов
DWP	Фация полидетритовых вак/пакстоунов
DCrW	Фация детритовых (биокластовых) криноидных вакстоунов
MCW/P	Фация микрокодиевых вак/пакстоунов
PIDW	Фация пелоидно-детритовых (биокластовых) вакстоунов
<b>Фации пакстоунов</b>	
BAp	Фация мшанково-водорослевых пакстоунов
BP	Фация мшанковых пакстоунов
CrAP	Фация криноидно-водорослевых пакстоунов
CrP	Фация криноидных пакстоунов
DCrP	Фация детритовых (биокластовых) криноидных пакстоунов
NdP	Фация фораминиферовых (Nodosariid) пакстоунов
DCrP	Фация детритовых (биокластовых) криноидных пакстоунов
DP	Фация полидетритовых пакстоунов
<b>Фации грейнстоунов</b>	
AG	Фация водорослевых грейнстоунов
AMG	Фация пеллоидных водорослевых грейнстоунов
BAG	Фация мшанково-водорослевых грейнстоунов
CrAG	Фация криноидных водорослевых грейнстоунов
CrBG	Фация криноидных мшанковых грейнстоунов
DG	Фация детритовых (биокластовых) грейнстоунов
DG/P	Фация детритовых (биокластовых) грейнстоунов/пакстоунов
FBG	Фация фораминиферо-мшанковых грейнстоунов
OnG	Фация онколитовых грейнстоунов
PIDG	Фация пеллетово-полидетритовых грейнстоунов
<b>Фация интракластовых разностей</b>	
IA	Фация интракластовых разностей
<b>Фации баундстоунов</b>	
BB	Фация мшанковых баундстоунов
MCD	Фация микрокодиевых баундстоунов
TAB	Фация трубчатых (таблитчатых) водорослевых баундстоунов

Карбонатные породы ассельского возраста представлены известняками; доломитизация если имеется, проявляется ограниченно. Структурное разнообразие пород весьма значительно. В общем виде выделены четыре группы пород, отличающихся по своей структуре: известняки микрокомковато-

сгустковые с органогенным, включая водорослевый, детритом, известняки органогенно-обломочные с микрозернистым и яснокристаллическим цементом, известняки детритово-полифитные и известняки биогермные. В свою очередь в некоторых группах описаны самостоятельные разновидности. В результате проведенного анализа керновых данных общее количество литотипов составило 9 единиц:

- известняки тонко-микрозернистые с криноидно-мшанковым детритом;
- известняки органогенно-обломочные криноидно-мшанковые, с тонко-микрозернистым цементом;
- известняки органогенно-обломочные криноидно-мшанковые, с яснокристаллическим цементом;
- известняки органогенно-обломочные фораминиферово-водорослевые с яснокристаллическим цементом;
- известняки микрокомковато-сгустковые водорослевые с органогенным детритом;
- известняки детритово-полифитные;
- известняки биогермные тубифитовые;
- известняки биогермные микрокодиевые;
- известняки биогермные водорослевые.

### **3.2. Макрофации карбонатных отложений ассельской формации по интерпретации литогенетических типов стандартных микрофаций Дж. Уилсона**

При разработке типовой модели продуктивных осадочных комплексов использованы данные по разведочным скважинам, учтены данные по сейсморазведке региона и геолого-геофизической изученности объекта исследования.

Первоначальным важнейшим этапом выделения макрофаций карбонатных отложений являлась диагностика структурно-генетических типов (литотипов) карбонатных пород по данным керна и ГИС. Для этих целей была использована генетическая классификационная схема Дж. Уилсона (1980), в которой автор приводит зональность фаций в стандартном профиле карбонатонакопления с привязкой структурно-текстурных особенностей пород к определённой фации (Рисунок 3.2).

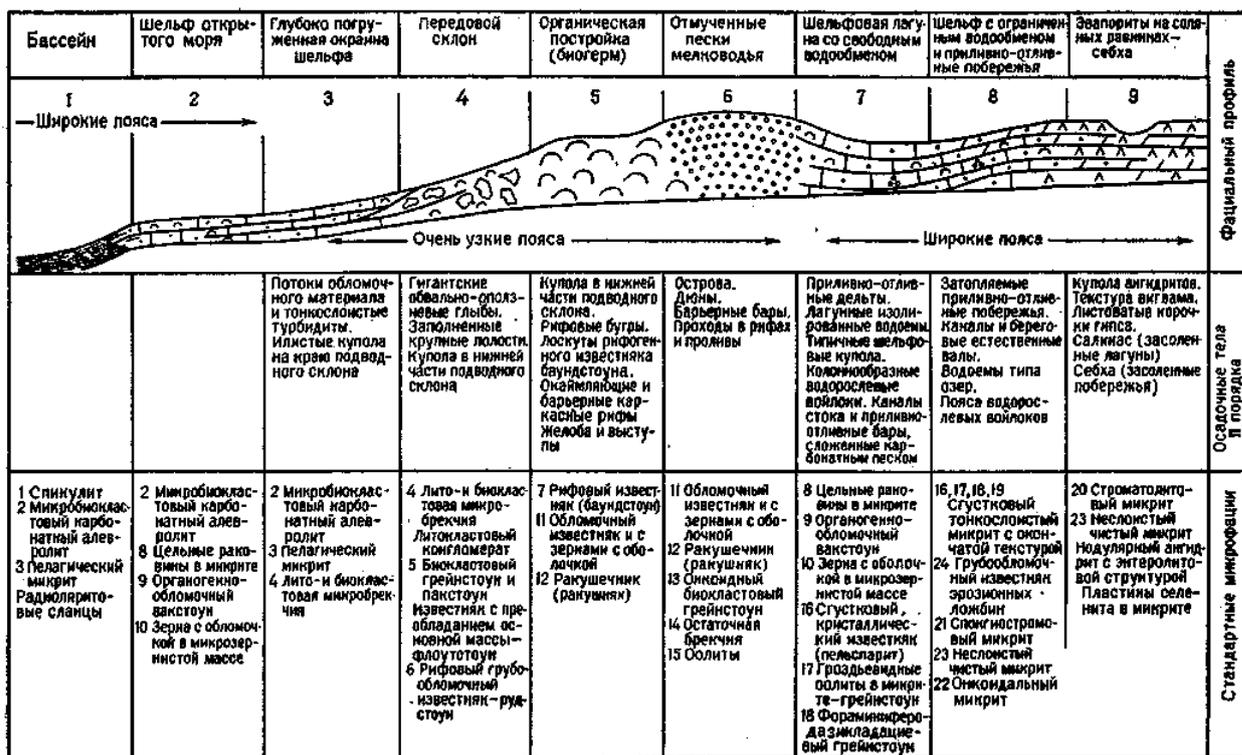


Рисунок 3.2 – Схематический профиль карбонатного шельфа с интерпретацией стандартных фациальных поясов Дж. Уилсона (1980)

Каждой фациальной зоне соответствует набор или одна стандартная микрофация (СМФ), который определяет основные типы карбонатных пород (известняков). Дж. Уилсон выделил 24 стандартные микрофации, которым соответствует определённый набор структурно-текстурных признаков карбонатного материала.

В данной работе определение СМФ по карбонатному разрезу позволяет восстановить седиментолого-фациальный профиль исследуемой территории в нижнепермскую эпоху.

### 3.2.1. Литогенетический тип – Wackstone

Литогенетический тип Вакстоун с однородной текстурой, пелитоморфно-микрорксталлической неясно комковато-сгустковой с граноморфной составляющей структурой представлен фотографией прозрачного микрошлифа (Рисунок 3.3). Кальцит составляет породу на 99%, при этом основная масса породы сложена однородным фитогенным микритовым кальцитом. До 80 процента объёма породы представлено плохосортированными скелетными зёрнами, в составе которых преобладают фрагменты скелетов мшанок и иглокожих. Детритовые зёрна (40% от объёма зёрен) состоят из фрагментов трубчатых водорослевых образований, обломком раковин крупных фораминифер. Нескелетные зёрна представлены пеллетами и крупными водорослевыми желваками.

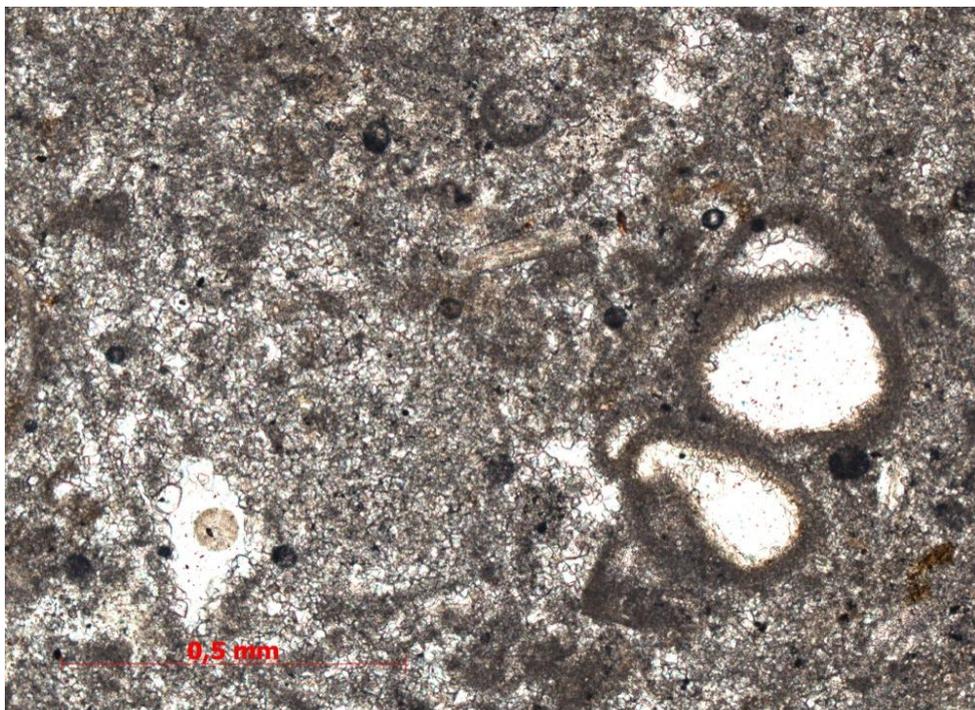


Рисунок 3.3 – Фотография микрошлифа литогенетического типа Вакстоун

При анализе пустотного пространства по данным компьютерной томографии (ортогональных срезов, объёмной и сеточной моделей (Рисунки 3.4, 3.5, 3.6)), интерпретировать пустотное пространство можно в диапазоне 1-2%, при коэффициенте расчленённой пористости равным 0,16 %. Пористость можно считать вторичной, поровые каналы образованы за счёт процесса выщелачивания.

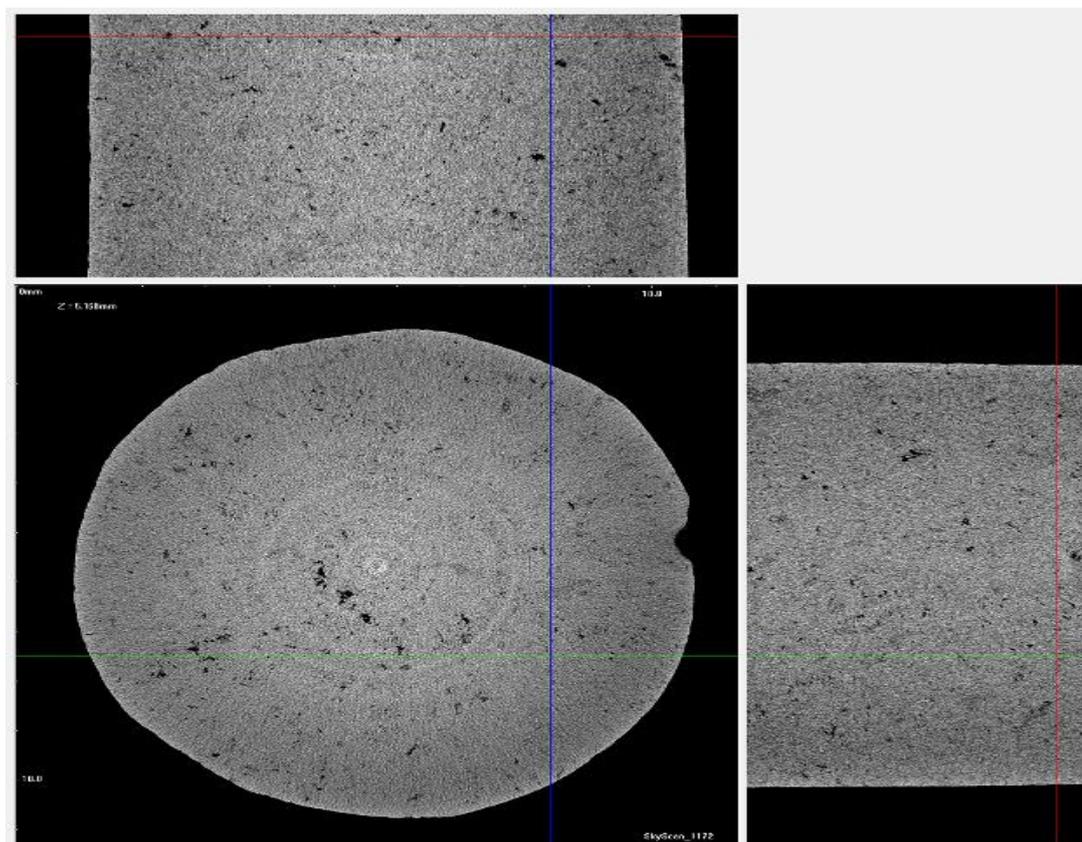


Рисунок 3.4 – Фотография ортогонального рентгеноплотностного среза  
Вакстоуна

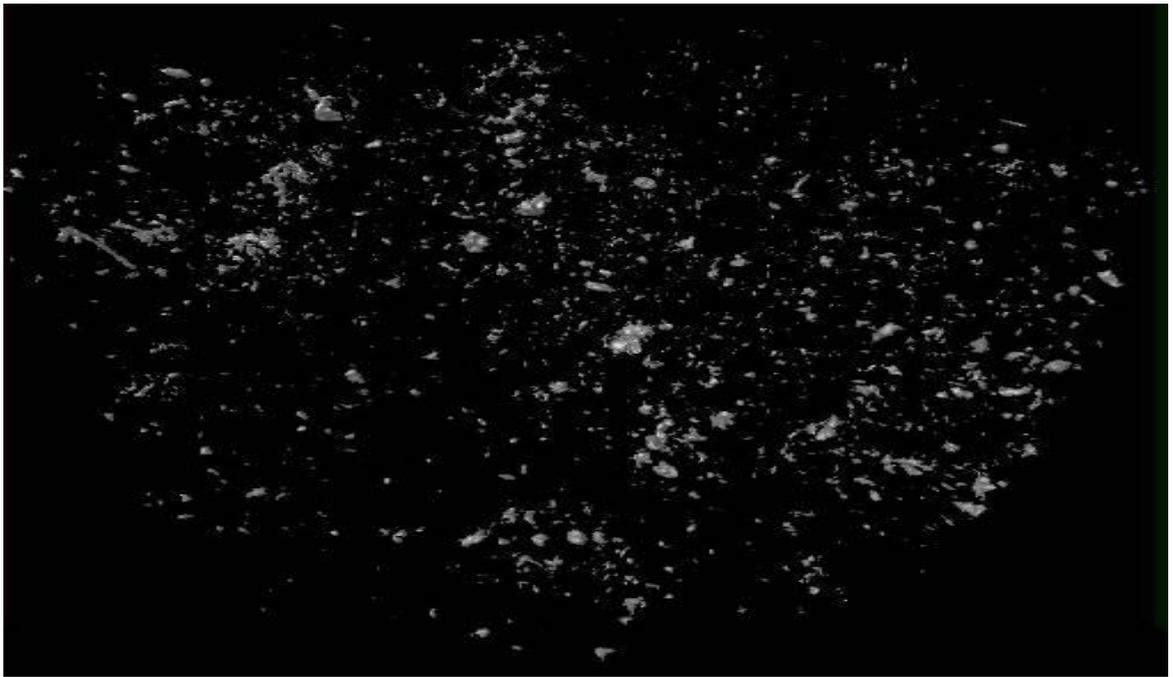
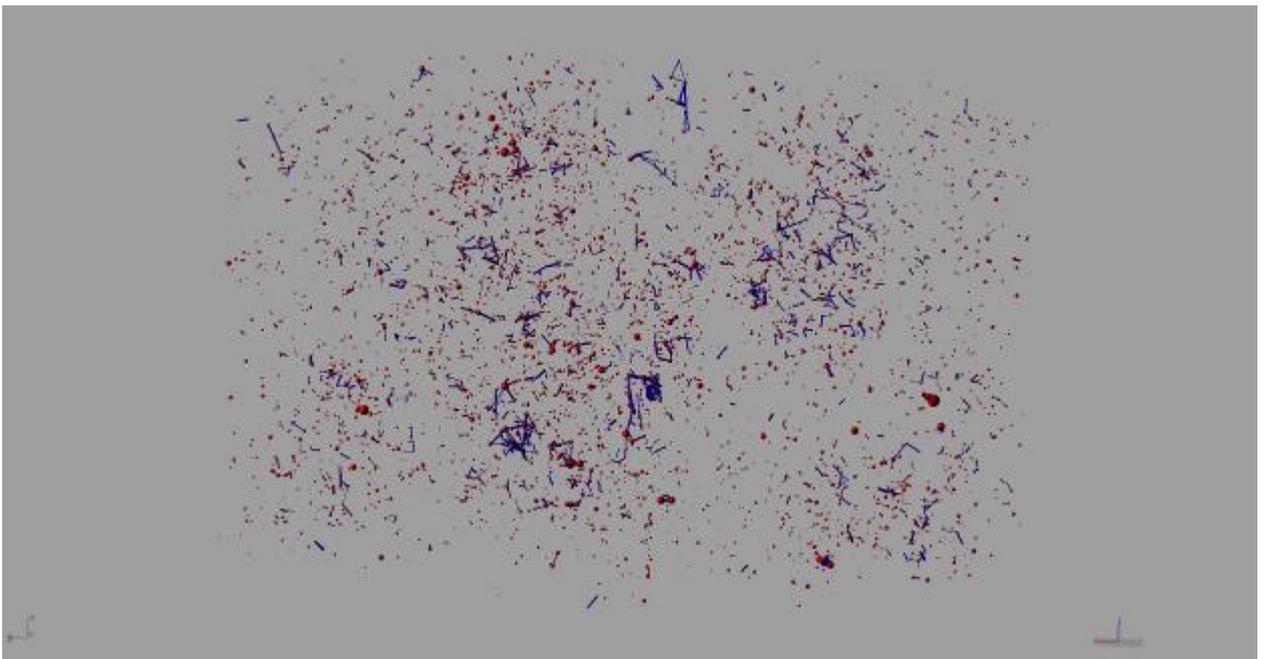


Рисунок 3.5 – Объёмная модель распределения пустот Вакстоуна



3.6 – Сеточная модель порового пространства Вакстоун

### **3.2.2. Литогенетический тип – Packstone**

Литогенетический тип Пакстоун, текстуру которого можно описать как однородную с элементами неясно слоистой и биогермной, с

граноморфной в сочетании с микритовой и биоморфной структурами, представлен на фотографии прозрачного микрошлифа (Рисунок 3.7). Порода практически нацело сложена кальцитом (99%), в шлифе которой выявляется известняк детритовый микрокодиевый и биоморфный микрокодиевый с микритовым выполнением межкаркасных промежутков. Детритовый известняк занимает до 70% объёма породы и имеет зернистый каркас, сложенный продуктами колониальной постройки микрокодий в микритовом матриксе. Крупные детритовые зёрна (20-30% всех зёрен) представлены остатками иглокожих, мшанок и крупных фораминифер.

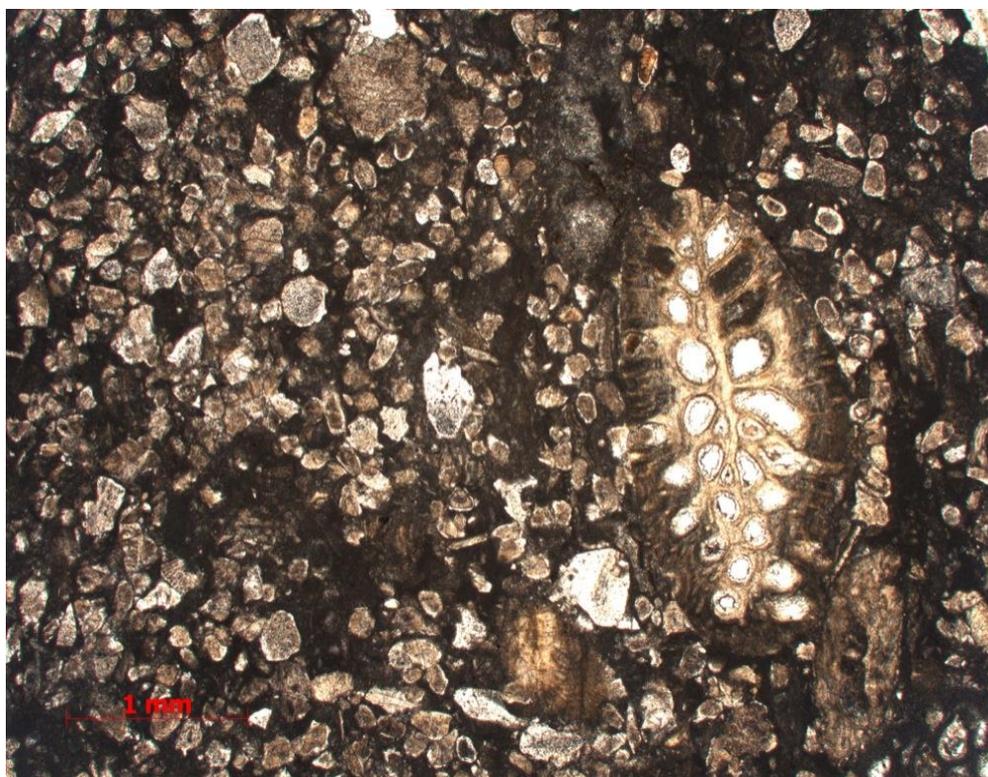


Рисунок 3.7 – Фотография микрошлифа литогенетического типа Пакстоун

При анализе пустотного пространства по данным компьютерной томографии (ортогональных срезов, объёмной и сеточной моделей (Рисунки 3.8, 3.9, 3.10)), объём пустотного пространства составил 2%, при коэффициенте расчленённой пористости равным 1,2% и представлен

первичными внутризерновыми порами, а также кавернами выщелачивания и первичными межзерновыми порами в меньшей степени.

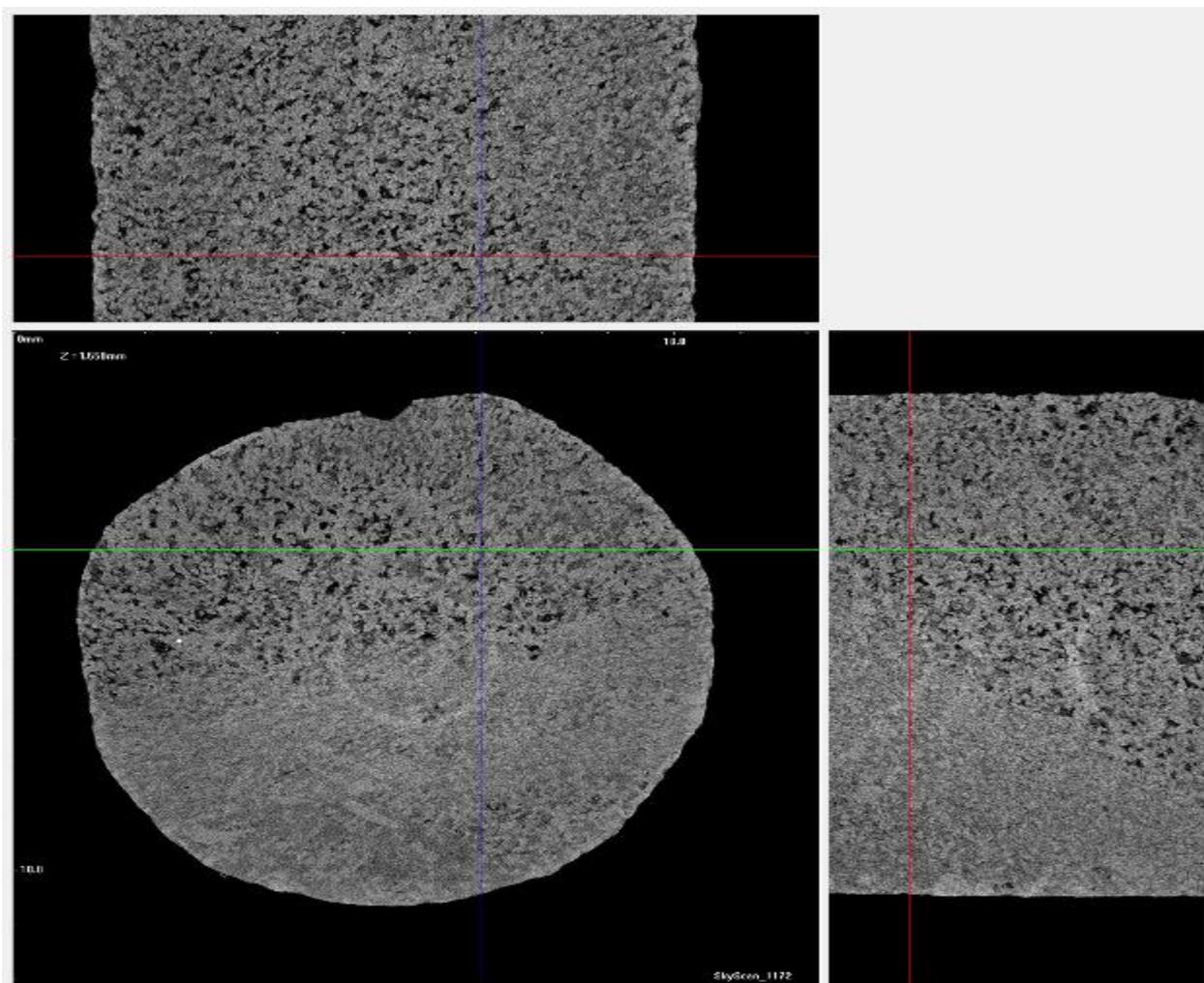


Рисунок 3.8 - Фотография ортогонального рентгеноплотностного среза Пакстоуна

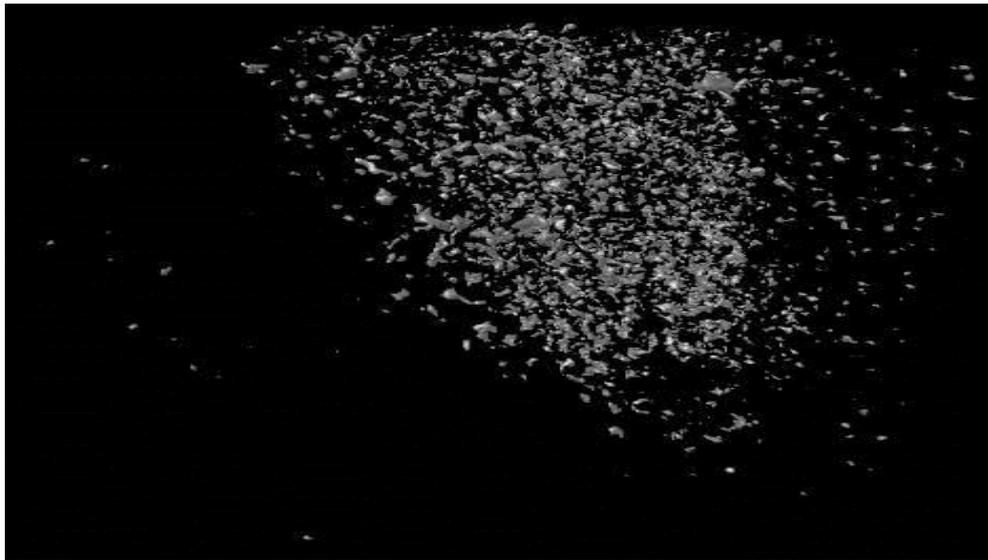


Рисунок 3.9 – Объёмная модель распределения пустот Пакстоуна

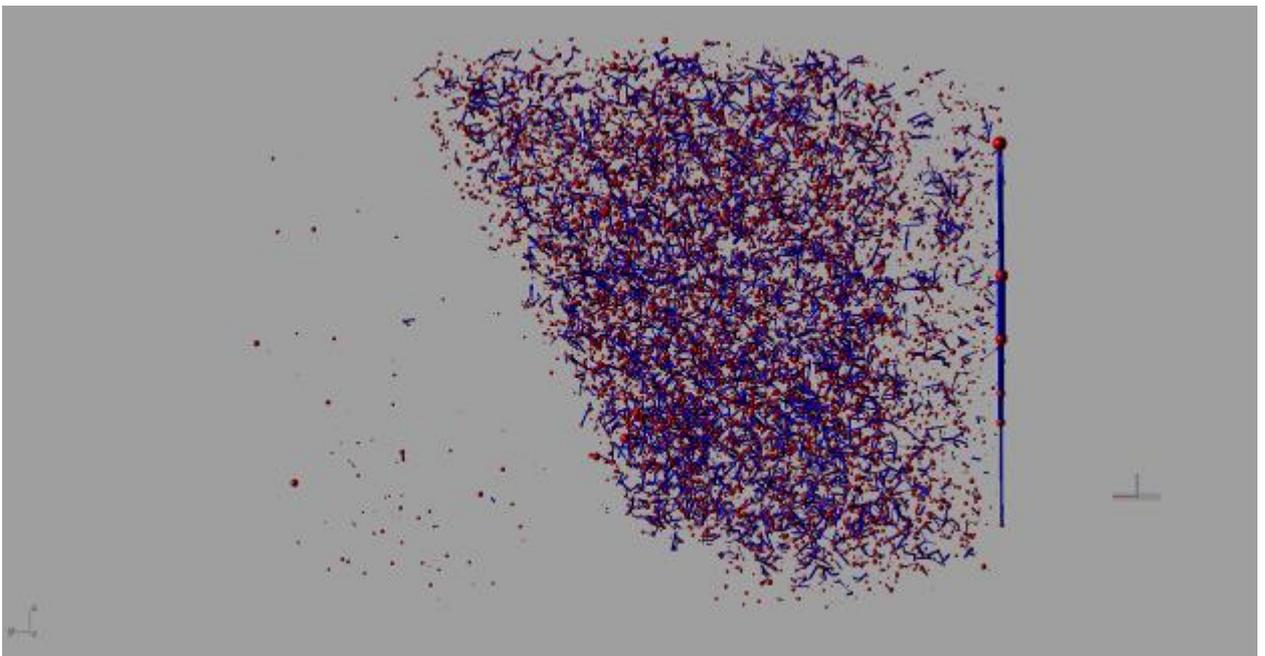


Рисунок 3.10 – Сеточная модель пустотного пространства Пакстоуна

### 3.2.3. Литогенетический тип – Grainstone

Литогенетический тип Грейнстоун с однородной текстурой, граноморфной, в цельнокристаллическом цементе структурой, представлен фотографией прозрачного микрошлифа (Рисунок 3.11). Практически нацело образец сложен кальцитом (97-99%). Основа породы – слабоуплотнённый

зернистый каркас, сформированный скелетными (75%), реже нескелетными зёрнами (25%), которые представлены фрагментами скелетов иглокожих (кринодеи, морские ежи), мшанок, брахиопод, трубками синезелёных водорослей, мшанок. Нескелетные зёрна представлены мелкими пеллетами. Отмечаются следы жизнедеятельности сверлящих и обволакивающих цианей.

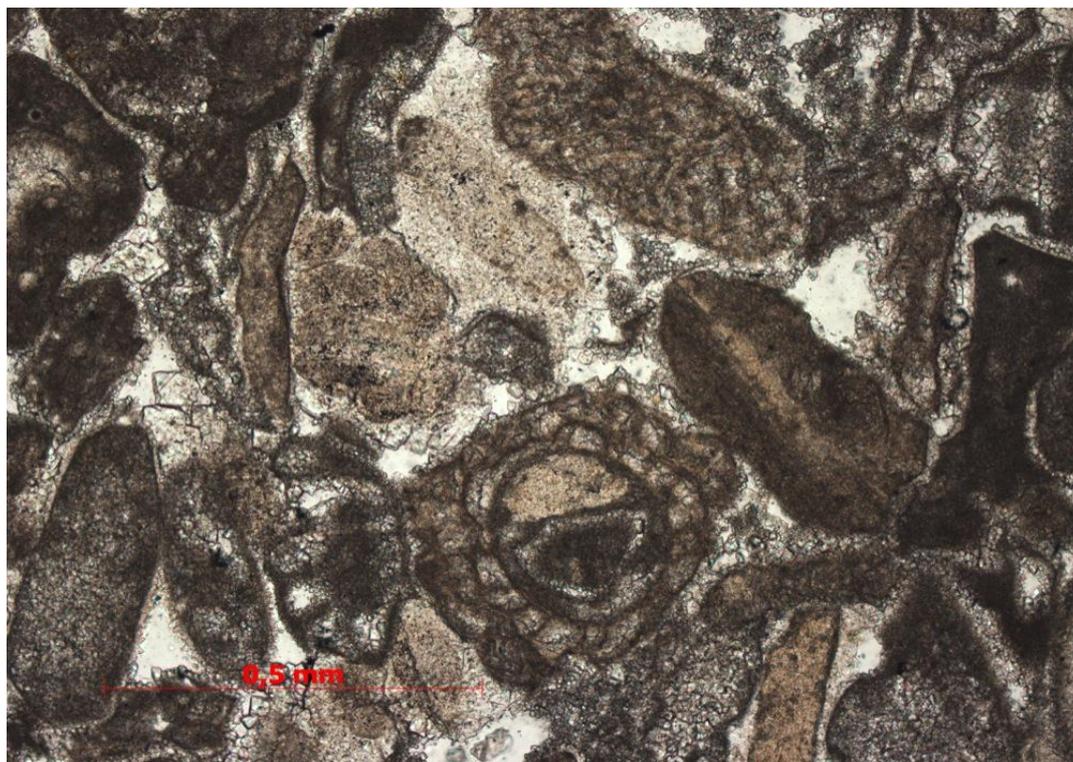


Рисунок 3.11 – Фотография микрошлифа литогенетического типа Грейнстоун

Пустотное пространство (проанализированное по данным компьютерной томографии (Рисунки 3.12, 3.13, 3.14)) составляет 10-15% и связано с остаточными первичными межзерновыми порами, подвергнутыми процессам выщелачивания. Зёрна связаны микро-тонкокристаллическим кальцитовым, реже крупнокристаллическим регенерационным цементом.

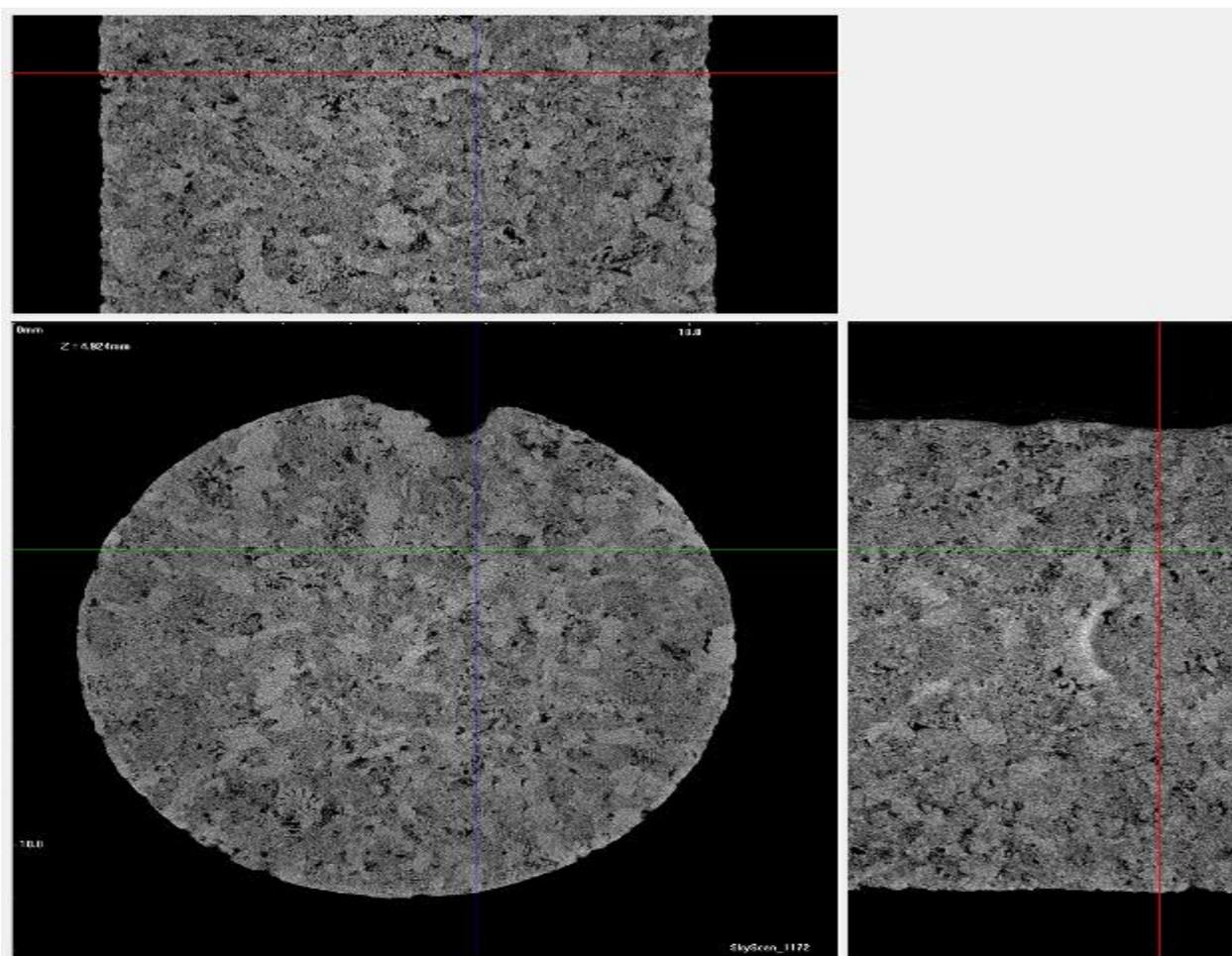


Рисунок 3.12 – Фотография ортогонального рентгеноплотностного среза (Грейнстоун)

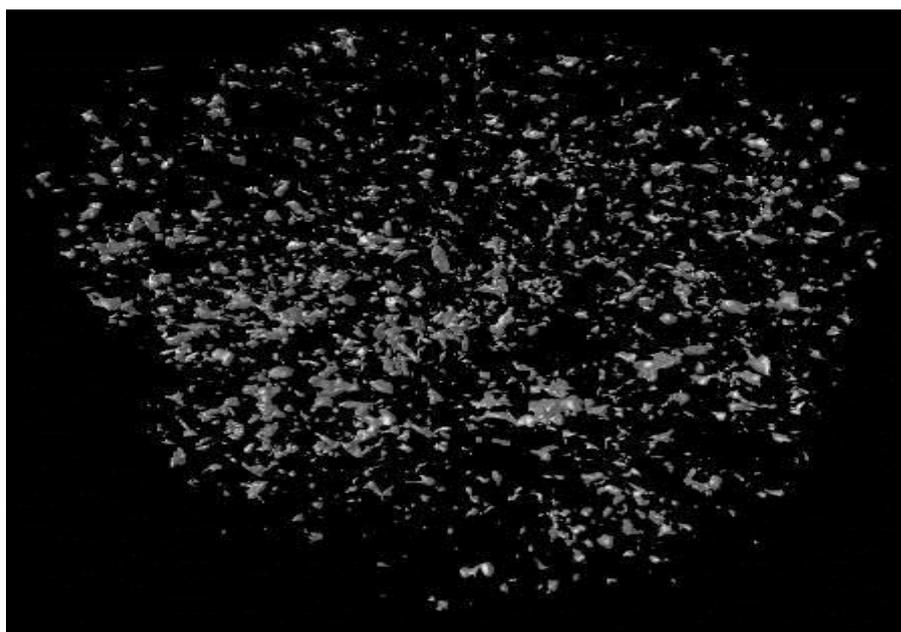


Рисунок 3.13 – Объёмная модель пустотного пространства Грейнстоуна

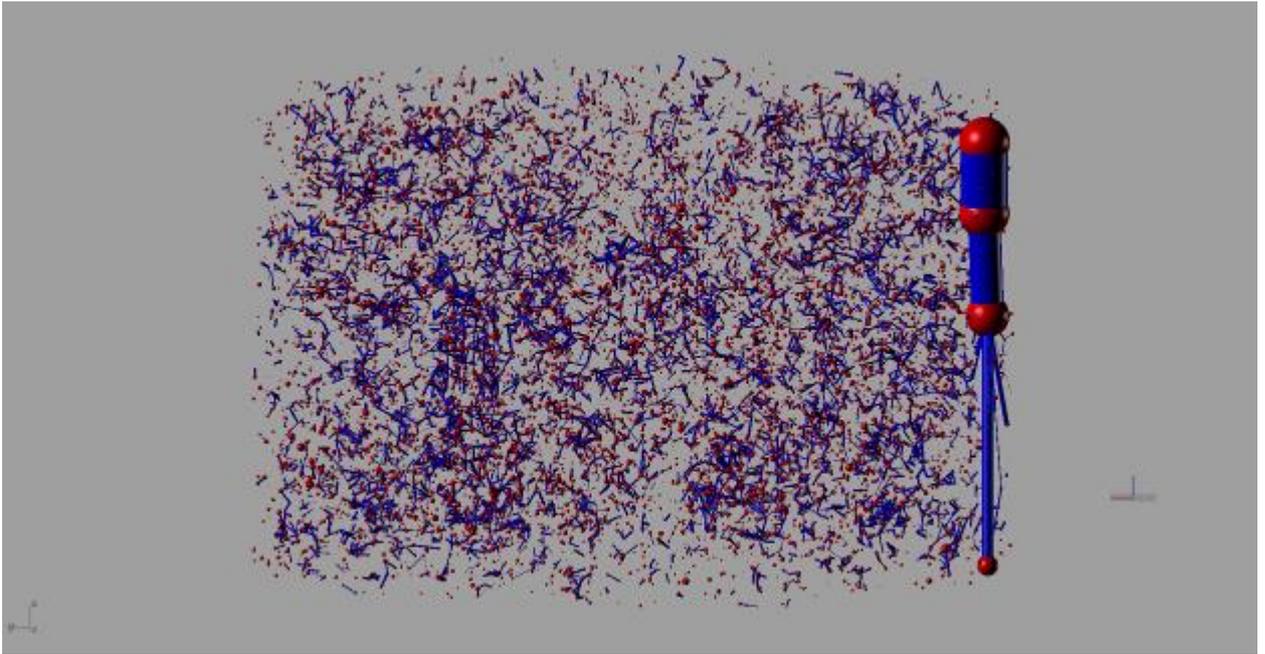


Рисунок 3.14 – Сеточная модель пустотного пространства Грейнстоуна

#### 3.2.4. Литогенетический тип – Boundstone

Литогенетический тип Баундстоун представлен образцами водорослевой, микрокодиевой и палеоаплезиновой структур с преобладанием неоднородной биогермной текстуры. Наибольший объём баундстоунов представлен образцами, каркас которых сложен трубками сине-зелёных водорослей (Рисунок 3.15). При этом, практически нацело сложена кальцитом (96-98%). Основная часть породы – биоморфный каркас, сформированный трубочками сине-зелёных водорослей. Межкаркасные пространства заполнены скелетными и реже нескелетными зёрнами с плохой сортировкой. Скелетные зёрна составляют около 90% объёма всех зёрен, с преобладанием фрагментов скелетов иглокожих, мшанок, раковин крупных фораминифер. Нескелетные зёрна представлены мелкими микритовыми комками, пеллетами и единичными оолитами.

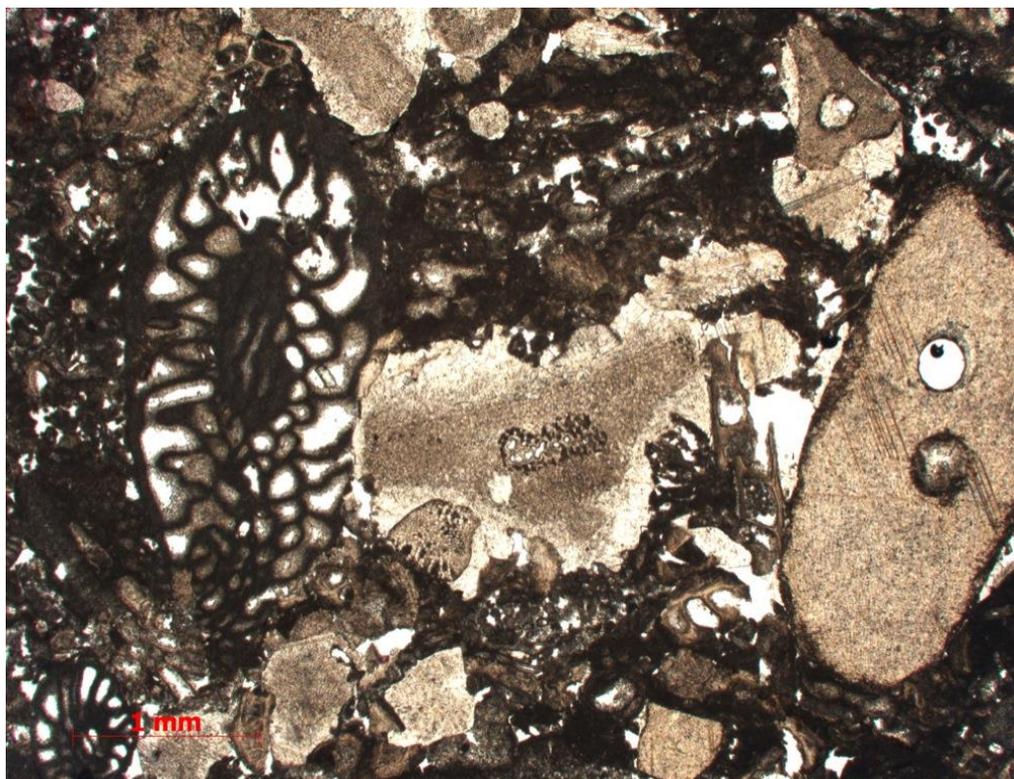


Рисунок 3.15 – Фотография микрошлифа литогенетического типа  
Баундстоун

Поровое пространство составляет 10-15% от общего объёма и, в основном, представлено первичными межзерновыми порами с различной степенью выщелачивания (по интерпретации данных компьютерной томографии (Рисунки 3.16, 3.17, 3.18)). Во вторичных порах есть признаки перекристаллизации и доломитизации.

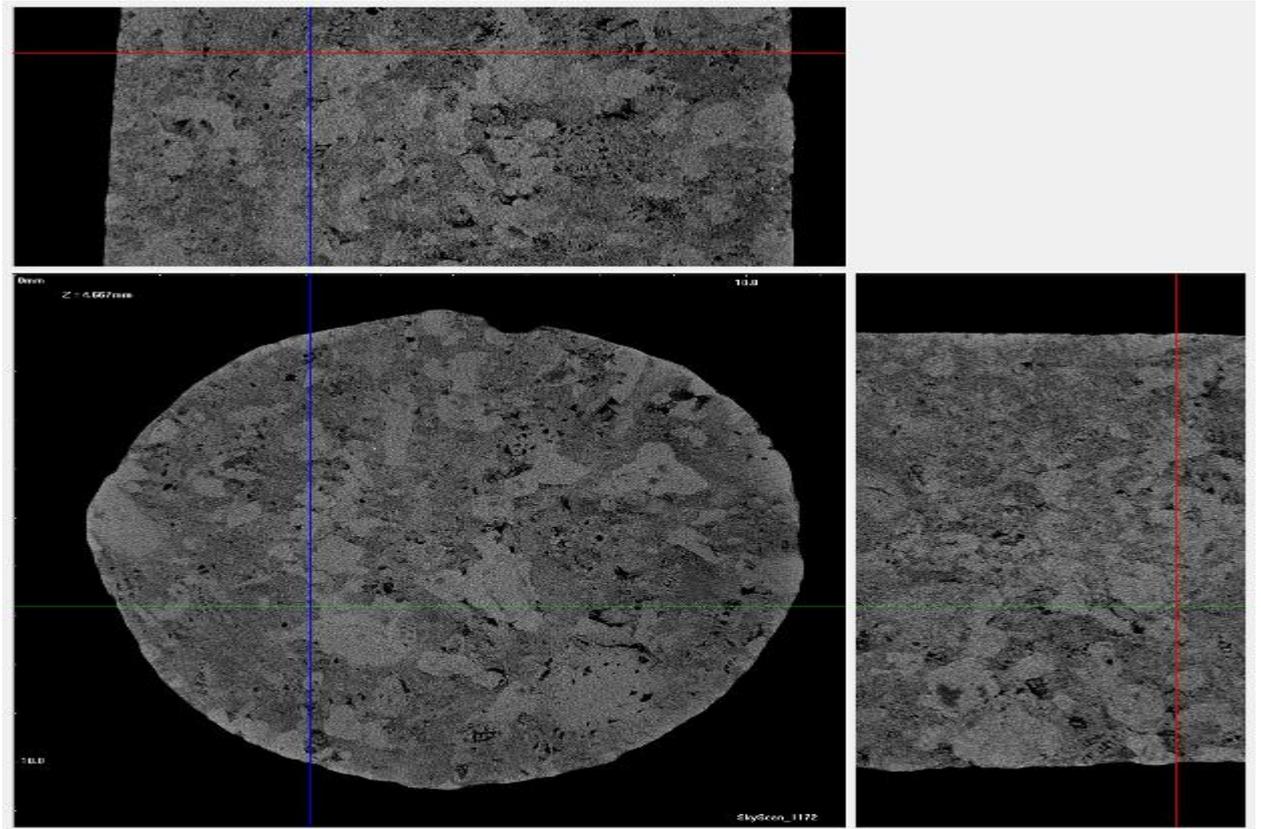


Рисунок 3.16 – Фотография ортогонального рентгеноплотностного среза Баундстоуна

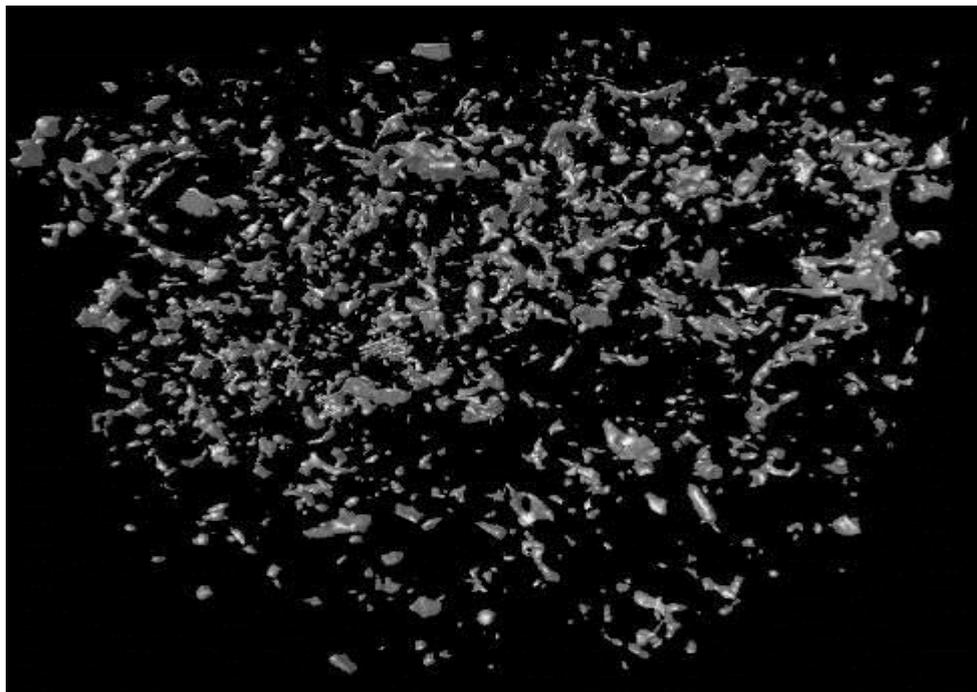


Рисунок 3.17 – Объёмная модель пустотного пространства Баундстоун

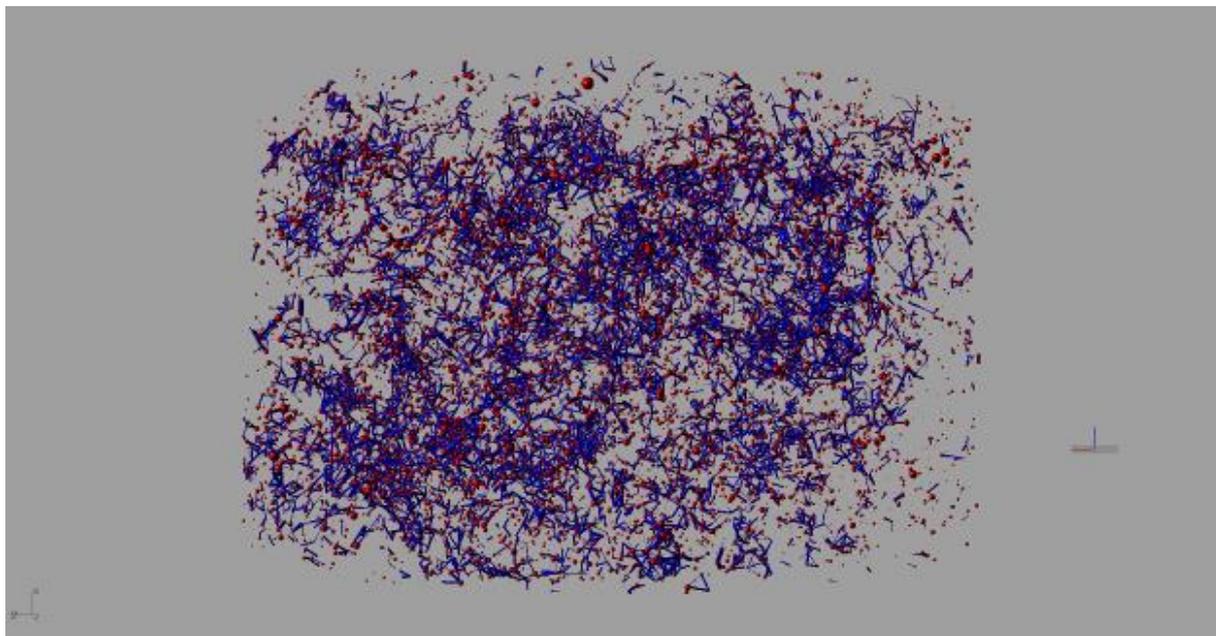


Рисунок 3.18 – Сеточная модель пустотного пространства Баундстоун

### **3.3. Условия формирования продуктивных пластов в нижнепермскую эпоху осадконакопления**

Изученный седиментологический материал позволяет предположить следующую палеогеографическую обстановку. На протяжении раннепермской эпохи осадконакопления в пределах рассматриваемой территории существовал обширный полого погружавшийся рамп, в пределах которого шло формирование широких и протяженных фациальных зон, распределенных по площади в зависимости от рельефа морского дна. На перегибах склона к более глубокопогруженным зонам в условиях волнового перемешивания вод получили развитие узкие лито-, биокластические и оолитовые отмели.

Микрофаунистический анализ, проведенный на основании описаний шлифов по скважинам с отбором керн, показал преимущественное развитие

биокластической седиментации, что четко характеризует достаточно высокую волновую активность водного бассейна в придонных участках. Морфологическими аналогами подобного бассейна являются шельф Юкатана (северо-западная часть Мексиканского залива), побережье Персидского залива (Burchette, Wright, 1996).

Согласно биономическим областям моря организмы, населяющие ископаемые толщи (моллюски, иглокожие, кишечнополостные, черви, мшанки и др.), обитали в условиях мелководной сублиторальной области, постоянно покрытой водой, с сильными движениями воды, изменчивой температурой и обилием света.

Выявленные в керне скважин организмы, представляют собой бентосные формы, тесно связанные с дном. Большинство из них относятся к сидячему или прикрепленному бентосу. Это многочисленные морские филоидные, сине-зеленые водоросли, палеоаплезины (водные беспозвоночные типа стрекающих, гидрозои), кораллы (ругозы), морские лилии, колониальные морские, в большинстве прикрепленные формы мшанок, плеченогие (брахиоподы), бентосные фораминиферы, некоторые моллюски. Из них много колониальных форм, прикрепление которых осуществлялось при помощи корневидных выростов, прирастания створкой, биссусом и т.д. Также встречены вертикальные трубчатые ходы червеобразных организмов. Согласно палеоэкологическим данным, выявленный устойчивый биоценоз позволяет предположить малые глубины (не более 10 – максимум 30 м.) его обитания.

Описанные в породах структурно-текстурные признаки свидетельствуют о значительном влиянии на процесс формирования и наращивания аккреционной призмы приливно-отливной деятельности. Согласно результатам исследований современных прибрежных карбонатных тел, описанных в литературе многими авторами (Lloyd, Ginsburg, 1969; Ginsburg, 1972; Ginsburg, Folk, 1973; Hardie, 1975; Hardie, 1977; Jarnes, 1983; Pratt, Jarnes, 1986 и др.) под названием перилиторальных (peritidal), т.е.

образованных в зоне приливно-отливных механизмов, формирование описываемых осадочных систем происходило в пределах обширных, полого-погружающихся приливно-отливных береговых склонов, имеющих сложный рисунок фациальной зональности.

Согласно региональным данным, опубликованным в многочисленной научной литературе, карбонатные отложения нижней перми отвечают нижнепермскому макроциклиту, формирование которого в Печорском бассейне отвечает условиям тектонической активизации эпибайкальской плиты, связанной с коллизионными процессами в Уральском палеоокеане (Жемчугова, 2001). Формирование складчатой орогенной области предопределило усложнение фациальной зональности в мелководной шельфовой зоне.

В условиях мелководных шельфовых равнин в ассельский век формировались парасиквенсы с преимущественно биокластическими, биокластическо-иловыми, водорослевыми, лито- и биокластическими известняками.

Ассельский резервуар (P1a), развитый в пределах восточной части Печорского шельфа, представлен двумя фациальными типами отложений - крайне мелководным биостромным массивом в центральной части исследуемого района и обрамлявшими его мелководными образованиями склонов отмели, в пределах которых накапливались преимущественно органогенно-обломочные и микрокомковато-сгустковые известняки.

Локально в центральной зоне в основании разреза развиты мелководные биогермные, в том числе палеоаплизиновые, известняки, свидетельствующие об изначально более мелководных участках. Это была обширная отмель, где в условиях лучшей освещенности шло более активное формирование карбонатного материала. При этом волнение в подобных мелководных условиях гасилось каркасообразующими организмами. Пластинчатая структура скелетов палеоаплезин идеально приспособлена

противостоять волнению и одновременно предохранять образующийся под ним осадок от размыва (Кузнецов, 2018).

На пологих южных склонах этой отмели были обильно распространены организмы, в том числе временами и биогермообразователи, но в целом преобладало формирование органогенно-обломочных разностей.

Условия зоны, обрамляющей отмельную, были значительно более тиховодны, что наглядно проявляется в количестве микрозернистого материала в виде распространения микросгустковых известняков и органогенно-обломочных пород с микрозернистым цементом.

Со временем общее повышение уровня моря привело к затуханию формирования известняков биогермной структуры и кровельная часть ассельского разреза по всей площади вновь представлена разнообразными органогенно-обломочными с микрозернистым цементом и комковато-сгустковыми известняками. При регрессивном этапе развития территории над локальными структурами, выраженными приподнятиями в рельефе дна бассейна, идет формирование более мелководных отложений, мощность которых в результате активной генерации карбонатного материала будет увеличиваться. В максимальном виде это проявилось в образовании биостромного массива.

В основании нижних парасиквенсов залегают маломощные прослои зернистых известняков (grainstones), характеризующие высокий гидродинамический уровень среды седиментации. Их сменяют иловые полидетритовые карбонатные и глинисто-карбонатные разности, отражающие трансгрессивный этап в развитии толщи. В их составе развиты преимущественно иловые разности известняков. В биокластическом материале главную роль играет мелкий детрит мшанок, брахиопод и криноидей, водорослевый детрит практически отсутствует. Затем фиксируются преимущественно водорослевые осадки, которые интенсивно перемыты и выщелочены в кровле парасиквенсов. Линзами развиты прослои

биогермного типа, сложенные остатками пластинчатых водорослей (маломощные массивы рифогенных известняков типа баундстоун).

В ассельском веке в региональном плане район исследований располагался в пределах шельфа обширного эпиконтинентального моря. Малое количество в карбонатных породах силикокластики позволяет полагать значительную удаленность от суши, откуда мог бы поставляться обломочный материал. Обилие и разнообразие фауны, в том числе стеногалинной, свидетельствует о том, что в изучаемом районе это было море средне океанической солености, а присутствие бентосных водорослей указывает на фотическую зону их существования и небольшие глубины. Наличие в ряде случаев цементации вадозного типа в виде менискового и каплевидного цемента отмечает кратковременные осушения, т.е. еще раз подтверждает мелководность данного участка бассейна, а также формирование биогермных палеоаплизинных построек, для которых были необходимы мелководные условия с интенсивной аэрацией воды (не более 10 м).

Таким образом, в ассельское время происходило накопление детритовых известняков, в основании которых залегают криноидно-мшанковые, микрокомковато-сгустковые и тонко-микрозернистые известняки с тем или иным количеством тонко-перебитого карбонатного детрита, с прослоями известняков биогермной структуры. Для разреза характерна частая смена фациальных типов вверх по разрезу.

Известняки биогермные представлены разнообразными биогермостроителями (палеоаплизинами, водорослями, микрокодиями и тубифитесами). Две последние группы, как организмы не совсем ясного систематического положения скорее всего нужно рассматривать обособленными группами и выделять из общего термина «водоросли». При этом, как правило, собственно водорослевые известняки вверх по разрезу постепенно сменяются микрокодиевыми и палеоаплизинными. Завершают разрез известняки органогенно-обломочные с микрозернистым и

микрокомковато-сгустковым цементом с ограниченным и не обязательным присутствием известняков биогермных.

Основными каркасостроителями данных карбонатных построек являлись гидроидные полипы *Paleoaplysina*, которые доминируют в мелководном карбонатном сообществе.

Формы, составляющие род *Palaeoaplysina* были установлены впервые в России, где они образуют основные биогермы раннепермского возраста. Благодаря некоторому их сходству со страмотопорами, эти организмы часто относят к гидроидным. Согласно описаниям, они образуют тонкие пластины или таблички в несколько сантиметров длиной с внутренними ветвистыми трубочками, ячеистым скелетом и внешними отростками. Пластинки находятся в микритовой основной массе, в скоплениях обломков в грейнстоунах вместе с пластинчатыми водорослями, а также в баундстоунах, образованных Tubiphytes.

Купола, сложенные Palaeoaplysina достигают в высоте нескольких десятков метров и сотен метров в поперечнике. Они могут нагромождаться или примыкать друг к другу. Купола из Palaeoaplysina известны на Западном Урале (как нефтяные резервуары), в Айдахо, Юконе и на обеих сторонах Свердрупского прогиба в обнажениях на о-ве Элмира. Подобно Tubiphytes, эти организмы известны в верхнепенсильванских слоях, но более обычны для нижнепермских образований. Они являются представителями мелководных шельфовых сообществ и лучше всего развиваются в пределах куполов на окраинах прогибов с карбонатными или терригенными остатками Ассоциирующие с ними фораминиферы и водоросли обычно обнаруживаются в верхнепалеозойских карбонатах. Многочисленные оолиты в таких постройках указывают на мелководье. Купола Palaeoaplysina также переслаиваются с обломочными породами в большей части прогибов. Они распространены в северных областях обеих полушарий, и их отсутствие в хорошо изученных верхнепалеозойских образованиях США указывает на то,

что они являются представителями бореальной фауны пермско-пенсильванского возраста.

В основании палеоаплезинового покрова залегает, как правило, пеллетовый известняк. Пустоты между пластинами палеоаплезин выполнены микритовым известняком с трубчатыми формами фораминифер *ToIurammina*. Верхняя часть построек сильно трещиноватая, подвергнутая брекчированию, что свидетельствует о многократных эрозионных перерывах.

Илистые осадки, отлагавшиеся над палеоаплезинами, были местообитанием зеленых и сине-зеленых водорослей (*Tubiphytes*). Для данного биоценоза характерно мелкофораминиферовое сообщество (*Neotuberitina*, *Globivalvulina*, *Tetrataxis*), а также фузулиниды. Верхняя часть циклитов сложена переслаиванием доломитизированных и биокластических известняков с микритовым цементом.

Обломочный органогенный материал представлен остатками мшанок, криноидей фрагментами и целыми раковинами фораминифер. Видовой состав фораминиферового сообщества (*Rugosochusenella paragregaria* (Raus.), *Pseudofusulina paramoelleri* Raus., *Sphaeroschwagerina tx gr. fusiformis* Krot., *S. cf. vulgaris* Scherb., *S. vulgaris timanica* Raus. et Scherb. и пр.). Обширные отмельные пространства являлись ареной накопления биокластических грейнстоунов (grainstones) в мелководной и хорошо аэрируемой подвижной среде.

Карбонатные тела малой размерности, выделяемые на ассельском стратиграфическом уровне в литологическом плане представляют собой слоистые вакстоуны (wackstone) с редким детритом крупных фаунистических остатков, представленных одиночными кораллами, криноидеями, мшанками, брахиоподами и др. Чаше такие тела сложены мшанками в ассоциациями с водорослями, палеоаплезинами и сопровождаются намывными карбонатными «песками», которые представляют собой тонкоперетертые карбонатные разности до уровня песчаников мелко-среднезернистых

фракций (grainstones) возможно штормового генезиса, сформированных на небольших глубинах (до 30 м.).

Подобные породы по данным (по данным Горожанина, Горожаниной, 2017) составляют основание ассельских рифовых массивов в карьере Шахтау, около г. Стерлитамак. Такие рифы состоят из каркаса слоевищ палеоаплезин или водорослей, скрепленных пелитовым карбонатным матриксом (mudstones-wackestones). В биоценозе присутствуют брахиоподы, образующие скопления типа «карбонатной «банки».

Формирование подобных биогерм связано, по мнению многих карбонатчиков, с улавливаемым карбонатного ила в местах скопления палеоаплезин или водорослей, закрепившихся на намывных криноидных песках в условиях среднего шельфа (от 10 м реже до 30 м. глубиной). Особенности этих тел являются, как правило, небольшие размеры, часто не превышающие первые метры и ассоциации с перекрывающими криноидными песками, содержащими продукты перемыва построек (слоевищ палеоаплезин, обрывки водорослей).

По мнению А.И. Антошкиной, это не что иное, как скелетные холмы, которые генетически связаны с формированием их в условиях подводных течений в виде намывных холмов, состоящих из разрушенных фрагментов каркасостроителей (пример – иловые холмы на реке Кожим (Северный Урал, разрез асселя).

Многие исследователи относят эти образования к рифовому типу. Серия рифовых холмов, характеризующихся одним или несколькими видами каркасостроителей с различными вспомогательными группами организмов, являющихся основой крупных построек на рампе. Биоценозы послойно не прослеживаются в изученных разрезах, так как их последовательность во времени и в пространстве вряд ли была регулярной. Возможно, существовали и более мелкие карбонатные постройки, выполняющие функцию уловителей карбонатного ила. Они диагностируются по пеллоидному материалу, карбонатного матрикса, скрепляющего веточки палеоаплезин и др.

водорослевых форм. Схематический разрез через идеализированную позднепалеозойскую постройку представлен на Рисунке 3.19.

Скорее всего, в пределах рассматриваемой территории развит достаточно редко определяемый резервуар биостромного типа. Рифовая природа карбонатных тел, кроме литологических и фаунистических показателей обычно устанавливается по морфологии - наличию холмовидного выпуклого массива, в то время как биостромы обычно не выражены в рельефе и мощностях. Их идентификация возможна при, если не 100 процентном, то весьма значительном выносе керна и детальном литологическом исследовании. Вместе с тем можно говорить, что для резервуаров подобного биостромного типа имеется ряд общих черт, отличающих их от синхронных вмещающих отложений иного фациального облика. Здесь, во-первых, как правило, развиты породы с более высокими значениями коллекторских параметров и, во-вторых, вертикальный разрез более однородно или монотонно построенный, соответственно резервуар приобретает черты массивного.

Обычно при литологическом описании подобные карбонатные тела часто диагностируются как баундстоуны (boundstones), соответственно вся последовательность карбонатных пород, сформированных в условиях плоского шельфа или рампа, начинает считаться рифовой. Если подобные биогермы диагностируются в апикальной (т.е сводовой) части тектонической структуры, то при интерпретации сейсмических профилей здесь можно выделить наличие перспективной рифогенной постройки (Горожанин, Горожанина, 2017).

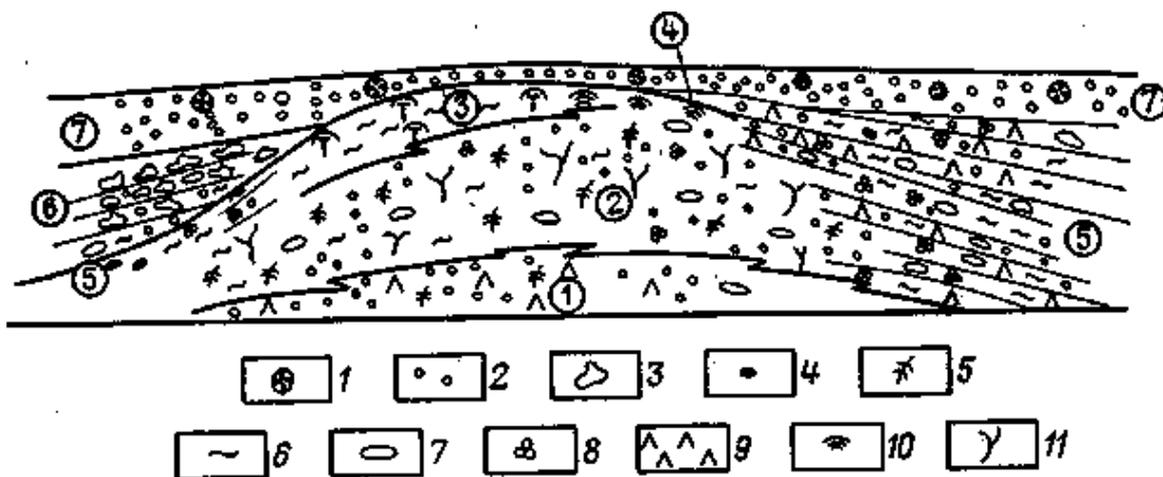


Рисунок 3.19 – Схематический разрез через идеализированную карбонатную раннепермскую постройку:

1) базальные биокластические микритовые скопления, 2) микритовое ядро водорослевых пластин 3) гребневые баундстоуны из фораминифер и прикрепляющихся водорослей, Tubiphytes, 4) органогенные поверхностные слои, 5) фланговые слои с обломками трубчатых фораминифер, 6) редко встречающиеся морские обвальные брекчии склонов, 7) венчающие слои -мелководные грейнстоуны с раковинами гастропод (Уилсон Дж.Л. 1980)

Судя по общерегиональной палеогеографической ситуации, подобные типы резервуаров могут быть развиты и на других приподнятых структурах Печорского шельфа. Ловушки таких залежей практически исключительно структурные при полном отсутствии или с минимальным влиянием палеогеоморфологического и латерального литологического экранирования.

К началу позднепермской эпохи осадконакопления карбонатная седиментация в пределах Печорского бассейна практически затухает. Карбонатные комплексы нижней перми в своем строении отвечают преимущественно рамповой модели осадконакопления.

## **4. Комплексование петрофизических и седиментологических данных с целью типизации коллектора**

### **4.1. Метод комплексования данных (Rock-typing method)**

Метод комплексования данных очень полезен в построении статических и динамических моделей резервуара. Интерпретируя характеристики резервуара, мы можем подсчитать запасы, предсказать поведение потока флюида с большой вероятностью и точностью. В иностранной практике используют понятие «Rock typing method». В дальнейшем, в работе мы будем употреблять термин «рок-типирование», для простоты понимания и описания.

Существует несколько методов рок-типирования, которые, опираясь на геологические и петрофизические свойства коллектора, позволяют выявлять роктипы в карбонатных резервуарах. При этом не все методы удобоваримы для использования с таким типом коллектора, поэтому эксперты продолжают исследования в области интерпретации свойств карбонатных разрезов, экспериментируя с использованием тех или иных методов рок-типирования.

Суть метода классификации горных пород (типирование пород) состоит в том, что нам необходимо сопоставить данные анализа керна с петрофизическими данными, полученными из скважины, при этом, сравнение характеристик позволит провести корреляцию по всему разрезу: выявить пропластки с одинаковыми характеристиками и литологией. В последствии, это позволит более эффективно подбирать режим разработки для залежи и с большой вероятностью предсказывать её режим работы.

Использование данного принципа интерпретации скважинных данных и данных керна продиктовано временем: в современных реалиях доля карбонатного коллектора растёт, притом в России эта тенденция также наблюдается. В связи с этим, возрастает необходимость в исследовании применимости данной методологии в условиях наших месторождений, поскольку в нашей стране реализация данного метода недостаточно велика,

поскольку сам метод был разработан западными коллегами и применялся, в большинстве своём, за рубежом.

В данной работе при интерпретации разреза были использованы следующие методы: Hydraulic Flow Unit (HFU), Pore Geometry Structure (PGS) (Lucia, F.J., 1987).

#### 4.2. Реализация метода гидравлических единиц потока (Hydraulic flow unit – HFU)

Целью данной методики является идентификация и определение характеристик горных пород с помощью гидравлических единиц потока (HFU), концепция которых основана на подобии геометрических размеров поровых каналов. Параметрами, применяемыми в данном исследовании, являются: пористость, проницаемость по Кликенбергу, структура и минеральная составляющая кластической и карбонатной породы в керне. Также, в методе присутствует допущение: все зёрна, слагающие коллектор – округлые и однородные. Значения индикатора зоны потока (FZI) приурочены к определённому группе HFU. Сам же параметр FZI (Flow Zone Indicator) объединяет геологические атрибуты из текстуры и минералогии на основе определения гидравлических единиц потока (HFU). Далее рассмотрим типизацию горных пород методом HFU, основанную на концепции уравнения проницаемости Козени-Кармен:

$$\sqrt{\frac{k}{\phi}} = \left[ \frac{\phi}{1-\phi} \right] \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{F_s \cdot \tau \cdot S_g}} \right] \quad (4.1)$$

Затем это уравнение было модифицировано для типирования пород:

$$RQI = 0.314 \sqrt{\frac{k}{\phi}}$$

(4.2)

Индекс качества коллектора (RQI) - параметр уравнения Козени-Кармен, который учитывает поровую геометрию, коэффициент проницаемости и нормализованный коэффициент пористости (3):

$$\phi_z = \left( \frac{\phi}{1-\phi} \right) \quad (4.3)$$

После этого преобразуем уравнение (2), используя уравнение (3):

$$FZI = \frac{RQI}{\phi_z} \quad (4.4)$$

Формула (4.4) позволяет провести расчёты параметра FZI для искомой выборки и провести привязку значений FZI к параметру HFU (комплексировать данные по выборке).

Формула (4.4) позволяет провести расчёты параметра FZI для искомой выборки и провести привязку значений FZI к параметру HFU (комплексировать данные по выборке).

В данной концепции индикатор зоны потока рассчитывался по фильтрационно-емкостным параметрам, полученным при реализации в скважине ядерно-магнитных исследований (набор данных по пористости) (Permadi, P. dan Susilo, A., 2009).

Проницаемость с учётом эффекта Клинкенберга также входила в набор исходных данных и определялась на полноразмерных образцах керна параллельно и перпендикулярно слоистости. Набор данных по пористости и проницаемости представлен на Рисунке 4.1.

После подготовки выборки, начинаем процедуру расчёта FZI по формулам, представленным выше. Результаты расчета представлены в Таблице 4.1.

Well	DEPTH	DESCRIP	PLAST	PORV	PORK	POREFF	PORGEL	PRGEL	PRKLIK
X-12	2402,64	Известняк	P1as	4,89	4,89			0,07	0,05
X-12	2402,77	Известняк	P1as	9,84		7,97		1,34	1,04
X-12	2402,88	Известняк	P1as	15,18				1,77	1,41
X-12	2402,93	Известняк	P1as	15,52		13,16		1,62	1,28
X-12	2402,93	Известняк	P1as	15,29				1,71	1,35
X-12	2403,02	Известняк	P1as	14,38				1,45	1,14
X-12	2403,02	Известняк	P1as	13,4				1,05	0,8
X-12	2403,53	Известняк	P1as	2,52				0,01	0
X-12	2403,62	Известняк	P1as	2,36				0,01	0
X-12	2403,78	Известняк	P1as	6,31				0,14	0,1
X-12	2403,9	Известняк	P1as	13,33				0,88	0,67
X-12	2404,04	Известняк	P1as	11,25				0,47	0,38
X-12	2404,11	Известняк	P1as	10,51				0,36	0,28

Рисунок 4.1– Данные по керну (используются колонки с помеченными жёлтыми значениями)

Таблица 4.1 – Расчёт параметра FZI для исходной выборки

Well	Глубина, м	$K_{\text{klikenberg, mD}}$	$\varphi_{\text{eff, \%}}$	$\varphi_{\text{eff, v/v}}$	$\text{sqr}(k/\varphi)$	RQI	Porosity index	FZI
X-12	2410,4	16,12	10,5	0,11	12,39	3,89	0,12	33,16
X-12	2415,6	8,90	8,3	0,08	10,36	3,25	0,09	35,92
X-12	2423,8	10,03	13,5	0,14	8,62	2,71	0,16	17,34
X-12	2428,7	131,68	12,8	0,13	32,07	10,07	0,15	68,61
X-12	2433,5	3,16	4,1	0,04	8,78	2,76	0,04	64,46
X-12	2435,1	12,15	13,9	0,14	9,35	2,94	0,16	18,18
X-12	2437	3,58	11,4	0,11	5,60	1,76	0,13	13,68
X-12	2439,6	61,04	14,2	0,14	20,73	6,51	0,17	39,34
X-12	2440,9	24,84	15,3	0,15	12,72	4,00	0,18	22,04
X-12	2445,8	11,60	14,1	0,14	9,06	2,84	0,16	17,28
X-12	2449,2	10,00	12,1	0,12	9,11	2,86	0,14	20,87
X-12	2452,4	46,32	13,7	0,14	18,40	5,78	0,16	36,44
X-12	2460,4	4,42	9,1	0,09	6,97	2,19	0,10	21,85
X-12	2465,6	136,00	12,6	0,13	32,90	10,33	0,14	71,90
X-12	2470,4	3,13	4,0	0,04	8,84	2,78	0,04	66,65

После расчёта, выборку по пористости, проницаемости и полученным параметрам FZI сортируем по возрастанию. Это необходимо для того, чтобы разбить числовые значения по группам, которые будут характеризовать одинаковые гидродинамические кондиции образцов в этих группах.

Далее строим логарифмический график зависимости пористости от проницаемости (Рисунок 4.2), эти значения на самом плоте группируются согласно принятому разбиению на группы. Проведённые тренды, позволяют получить степенную зависимость «poro-perm», которую можно интерпретировать с точки зрения гидродинамического потенциала группы: чем выше коэффициент перед  $x$ ком (a), тем более высокими фильтрационно-емкостными свойствами обладает группа пород.

Коэффициент корреляции ( $R^2$ ) во всех случаях больше 0,75, что говорит о высокой корреляционной зависимости пористости и проницаемости и правильном подборе функции тренда.

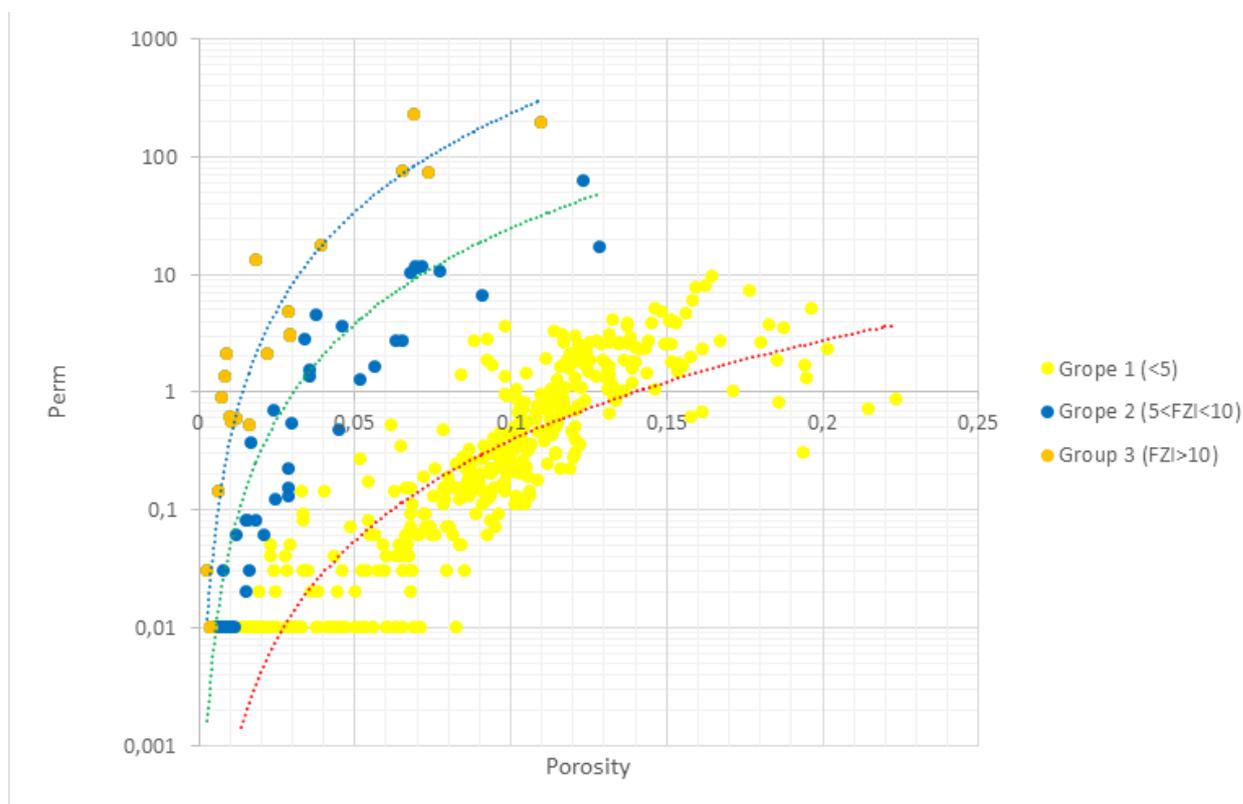


Рисунок 4.2 – График зависимости пористости от проницаемости с выделенными группами FZI

### 4.3. Реализация метода «рок типирования» на основе интерпретации геометрии порового пространства (pore geometry structure method (PGS))

В методе PGS используется график корреляции между значением поровой геометрии и поровой структуры. Значения параметров геометрии поры (ось Y) и структуры поры (ось X) определяется следующими выражениями:

$$\text{Pore geometry} = \sqrt{\frac{k}{\varphi}} \quad (4.5)$$

$$\text{Pore structure} = \frac{k}{\varphi^3} \quad (4.6)$$

Геометрия поры – параметр, являющийся представлением гидродинамической единицы; Структура поры – вариативный параметр, который характеризует гидравлическую проводимость среды (гидропроводность) и показывает влияние на структуру пор геологических процессов. Данная корреляция была выведена из концепции фрактальной проницаемости, сам метод был разработан Wibomo и Permadi в 2013 году. Ими были предложены корреляционные кривые для типизации пород (Рисунок 4.3):

Rock Type	Rock Type Equation
RT-1	$\sqrt{\frac{k}{\varphi}} = 0.5534 \left(\frac{k}{\varphi^3}\right)^{0.405}$
RT-2	$\sqrt{\frac{k}{\varphi}} = 0.4886 \left(\frac{k}{\varphi^3}\right)^{0.385}$
RT-3	$\sqrt{\frac{k}{\varphi}} = 0.4314 \left(\frac{k}{\varphi^3}\right)^{0.355}$
RT-4	$\sqrt{\frac{k}{\varphi}} = 0.3809 \left(\frac{k}{\varphi^3}\right)^{0.345}$
RT-5	$\sqrt{\frac{k}{\varphi}} = 0.3363 \left(\frac{k}{\varphi^3}\right)^{0.325}$
RT-6	$\sqrt{\frac{k}{\varphi}} = 0.1804 \left(\frac{k}{\varphi^3}\right)^{0.225}$

Рисунок 4.3 – Уравнения регрессии для каждого типа породы по методу PGS

Для реализации метода PGS в контексте нашей работы, мы последовательно рассчитали параметры «Pore geometry» и «Pore structure», используя выборку значений по пористости и проницаемости (Рисунок 4.4):

K(mD)	k/phi <sup>3</sup>	(k/phi) <sup>0.5</sup>
3,44	509,5338	4,2663
3,63	370,3952	4,1186
1,99	272,5511	3,2028
145,89	3778,1172	20,7756
20,87	1147,2424	8,9081
29,1	795,2043	9,3622
39,8	1030,7016	10,8513
1,67	391,3487	3,2087
21,77	2252,7843	10,1097
27,24	2153,4725	10,8125
10,84	1060,8405	7,0678
11,52	647,9343	6,6436
30,63	1914,0152	11,0249
17,4	1393,4304	8,6603
2,16	296,2923	3,3376
4,9	486,2222	4,7629
3,97	405,0878	4,3071

Рисунок 4.4 – Расчёт параметров для метода PGS

Далее, мы создаём кросс-плот, на котором указываем корреляционные прямые, ограничивающие рок-типы (Рисунок 4.5), после этого выносим полученную ранее выборку из PGS параметров на получившийся кросс-плот.

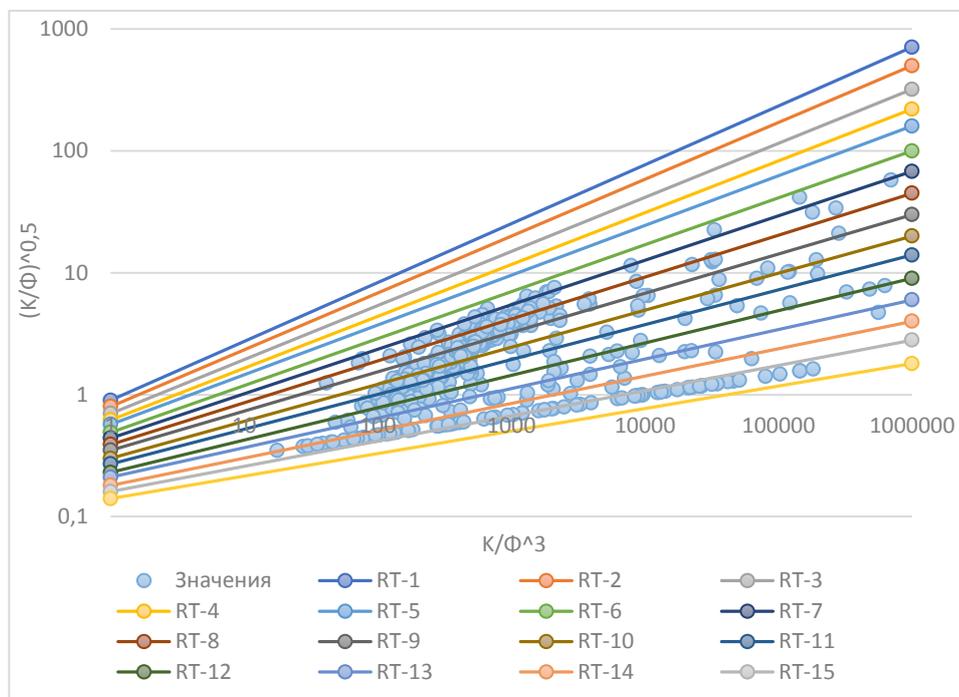


Рисунок 4.5 – Кросс-плот типирования пород по методу PGS

Рок-типы выделенные по методу PGS, более полно отражают изменения фильтрационно-емкостных свойств каждого образца. Ранее выделенные литогенетические типы по классификациям Данхэма могут быть распределены по диапазонам рок-типов PGS в диапазоне нескольких интервалов (Wibowo, A.S. and Permadi, P., 2013). Разбиение литогенетических типов по интервалам базируется на выделении в отдельно взятом рок-типе наиболее распространённого литогенетического типа (Таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Выделение рок-типов по методу PGS

<b>Литотип по Данхэму</b>	<b>Рок-тип по PGS</b>
Баундстоун (водорослевый)	RT 12-15
Баундстоун (микрокодиевый)	RT 12-13
Грейнстоун	RT 10-11
Пакстоун	RT 7-9
Вакстоун	RT 5-7

#### **4.4. Привязка полученных литогенетических типов по методу HFU к капиллярным кривым**

В распоряжении у нас имеются данные по кривым капиллярных давлений (ККД) для 72-ух образцов. Весь набор капиллярных кривых был разделён согласно литологии, выделенной по методу HFU с привязкой к классификации Данхэма, чтобы выделить какие-либо зависимости в поведении ККД при изменении литологии. Для каждого литотипа, была выбрана одна типовая кривая капиллярного давления и выведена на общий кросс-плот для последующего анализа (Рисунок 4.6).

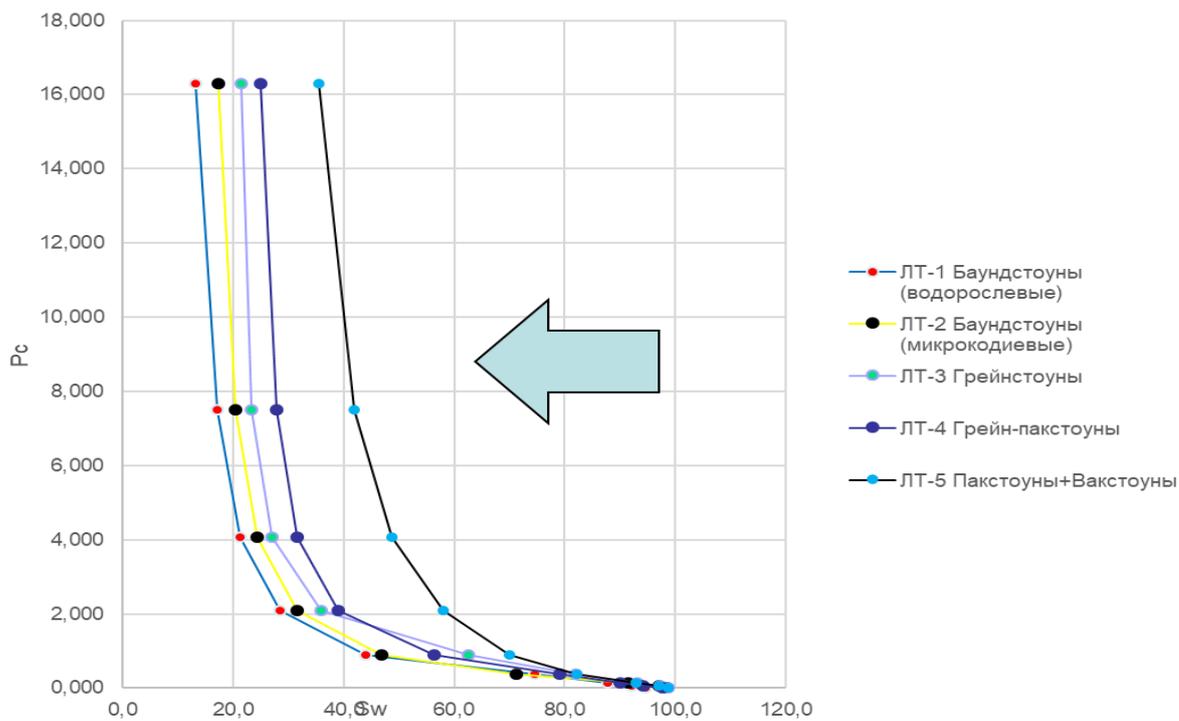


Рисунок 4.6 – Распределение кривых ККД и их соответствие литологии и значениям FZI

Проанализировав полученные кросс-плоты можно говорить о зависимости между значением FZI и кривыми ККД: при увеличении фильтрационно-емкостных свойств, кривая капиллярного давления смещается влево, одновременно с этим увеличивается её кривизна.

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выпускной квалификационной работы представлен расчет сметной стоимости работ по изготовлению шлифов. Сметная стоимость рассчитывается согласно нормативным правовым документам:

1) методика составления временных проектно-сметных нормативов на геологоразведочные работы (Методика ВПСН);

2) сборник сметных норм на геологоразведочные работы за 1992 год выпуск №7 (ССН-92, Вып.7);

3) сборник норм основных расходов на геологоразведочные работы за 1993 год выпуск №7 (СНОР-93, Вып.7).

В составе центральных и экспедиционных лабораторий производственных геологических объединений (ПГО), а также в ряде случаев лабораторных полевых партий организуют шлифовальные мастерские.

Мастерские готовят препараты (шлифы) из горных пород для изучения их под микроскопом в проходящем свете в соответствующих петрографических и литологических лабораториях.

Прозрачные шлифы – тонкие пластинки – срезы, для исследования в проходящем свете (согласно пункту 13.1 главы 13 ССН-92, Выпуск 7).

Петрографические прозрачные шлифы из горных пород изготавливают путем обработки образцов пород на шлифовальных станках различных марок с применением вращающихся дисков, стеклянных плит, шлифовальных абразивных материалов, алмазных отрезных кругов и др.

Тонкая шлифовка – доводка полированных шлифов осуществляется вручную на стеклянных плитах. Тонкая полировка – доводка шлифов осуществляется на полировальных станках. Качество изготовленных

прозрачных и полированных шлифов проверяется под микроскопом (13.2 пункт, глава 13 ССН-92, Выпуск 7).

Исходя из главы 13 ССН-92 Выпуск 7 «Классификация горных пород и руд по категориям сложности изготовления из них прозрачных и полированных шлифов» имеющиеся образцы для изготовления прозрачных и полированных шлифов относятся к I категории сложности работ.

### 5.1.1. Расчет затрат времени и труда на лабораторные работы

Нормы времени на изготовление прозрачных и полированных шлифов приведены в таблице 5.1 (Таблица 13.3 главы 13 ССН-92, Вып. 7).

Расчет затрат времени ( $N_i$ ) по каждому виду работ производится по формуле 1, данные расчетов приведены в таблице 5.2:

Таблица 5.1 – Нормы времени на изготовление из горных пород и руд прозрачных и полированных шлифов (в бригадо/час)

Номер нормы	Наименование работ	Единица измерения	Норма
1780	Изготовление прозрачных шлифов с применением способа холодной цементации и цементации с нагревом образцов (на электроплитке) для I категории сложности.	прозрачный шлиф	0,28

$$N_i = H_{Bp} \times K \times V_i; \quad (5.1)$$

где  $H_{Bp}$  — норма времени на выполнение единицы i-го вида проектируемых работ;

$K$  — поправочный коэффициент, учитывающий изменение затрат времени в связи с отклонением условий от нормализованных;  $V_i$  — объем i-го вида работ.

Таблица 5.2 – Расчет затрат времени на изготовление из горных пород прозрачных шлифов

Вид работ	Ед. измер.	Объем работ	Норма на единицу (в бригадочасах)	Поправ. Коэф-т (К)	Затраты времени (в бригадочасах)
Изготовление прозрачных шлифов	шлиф	34	0,28	1,20	11,56
Всего:					11,56

По данным таблицы 2 был произведен расчет времени на изготовление одного прозрачного шлифа:  $0,28 \times 1,2 = 0,34$  (в бригадо-часах).

Расчет затрат времени на изготовление общего объема шлифов:  $34 \times 0,34 = 11,56$ .

#### 5.1.2. Расчет материальных затрат на лабораторные работы

В соответствии с пунктом 3 Методики ВПСН стоимость лабораторных исследований составляет следующие виды затрат:

- 1) Основная заработная плата;
- 2) Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- 3) Материалы;
- 4) Амортизация.

Расчет заработной платы осуществляется с учетом районного коэффициента, который для Томской области составляет 1,3. Рассчитывается для двух шлифовальщиков и одного подсобного рабочего при пятидневной рабочей неделе и восьмичасовом рабочем дне (Таблица 5.3).

#### Расчет страховых взносов в социальные внебюджетные фонды

Страховые отчисления в социальные внебюджетные фонды производятся согласно Федеральному закону от 2 декабря 2013 г. № 322-ФЗ «О бюджете Фонда социального страхования Российской Федерации на 2014

год и на плановый период 2015 и 2016 годов”. На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов, равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона № 212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Лабораторные работы по изготовлению прозрачных и полированных шлифов относятся к 11 классу профессионального риска, ставка отчисления на Страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний составляет 1,1%.

Таблица 5.3 – Основная заработная плата

№ п/п	Наименование должностей	Кол-во человек	Оклад за месяц (в рублях)	Оклад за 1 день (в рублях)	Район. коэф-т (для Томска)	Итого зарплата (в рублях)
1.	Шлифовщик горных пород IV разряда	1	25000	1086	1,3	1412
2.	Шлифовщик горных пород II разряда	1	15000	652		848
3.	Подсобный рабочий I разряда	1	10000	108		140
	Итого по зарплате:					<b>2400</b>

Таблица 5.4 – Страховые отчисления в социальные внебюджетные фонды (за 1 день)

№ п/п	Вид отчисления	Общая сумма зарплаты (в рублях)	Ставка отчисления (в %)	Итого по каждому виду отчисления (в рублях)
1	2	3	4	5
1.	Пенсионный фонд	<b>2400</b>	20,0	480,00
2.	Фонд социального страхования		2,9	69,6
3.	Фонд обязательного медицинского страхования		3,1	74,4
4.	Страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний		1,1	26,4
	Итого:		<b>27,1</b>	<b>650,4</b>

Материалы. Перечень основного оборудования, применяемого при изготовлении прозрачных и полированных шлифов, согласно таблице 13.7 главы 13 ССН-92, Вып. 7, приведен в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Перечень лабораторной посуды, реактивов и материалов, применяемых при изготовлении прозрачных и аншлифов (согласно таблице 13.9 главы 13 ССН-92, Вып. 7 и таблице 2 СНОР-93, Вып.7)

№ п/п	Наименование	Единица измер.	Колво	Сметная стоимость (в рублях)	
				За единицу товара	Всего
1	2	3	4	5	6
<b>Лабораторная посуда</b>					
1.	Банки стеклянные с крышками 0,1-0,2 л	штука	2	177,0	354,0
2.	Бутыль 20 л	штука	1	765,0	765,0
3.	Колбы плоскодонные 1000 мм	штука	1	600,0	600,0
4.	Стаканы фарфоровые N 7, 1000 мм	штука	1	231,0	231,0
5.	Чаши кристаллизационные ЧКТ-90, d=310 мм, выс. 90 мм	штука	1	436,0	436,0
<b>Реактивы</b>					
6.	Натрий углекислый, ч.д.а.	кг	0,1	43,80	4,38
7.	Окись алюминия, ч.д.а.	кг	0,1	100,0	10,0
8.	Окись (III) железа, осч.ч.	кг	0,1	65,0	6,5
9.	Окись хрома (III), ч.д.а.	кг	0,1	372,0	37,2
10.	Окись хрома (II), ч.д.а.	кг	0,1	400,0	40,0
11.	Пихтовое масло	кг	0,1	580,0	58,0
12.	Спирт-ректификат, осч.	л	0,5	35,0	17,5
13.	Этиленгликоль, ч.д.а.	кг	0,1	265,0	26,5
<b>Материалы</b>					
14.	Канифоль таловая кристаллическая	кг	0,1	38,0	3,8
15.	Микрошлифопорошок K36, N M-5	кг	0,1	79,0	7,9
16.	Микрошлифопорошок K36, N M-7	кг	0,1	110,0	11,0
17.	Микрошлифопорошок K36, N M-10	кг	0,1	150,0	15,0
18.	Микрошлифопорошок K36, N M-14	кг	0,1	200,0	20,0
19.	Микрошлифопорошок K36, N M-20	кг	0,1	240,0	24,0
20.	Микрошлифопорошок K36, N M-28	кг	0,3	733,0	220,0
21.	Стекла покровные, 24x24 мм	шт	12	363,0	4356,0
22.	Стекла предметные	шт	12	10,0	120,0
23.	Шеллак	кг	0,1	560,0	56,0
24.	Шлифовальное зерно K39 N 50-16	кг	0,1	47800,0	4780,0
25.	Шлифовальный порошок K37 N 12-10	кг	0,1	800,0	80,0
<b>Материалы для оформления результатов проведенных работ</b>					

26.	Блокнот малого размера	шт	1	53,0	53,0
27.	Карандаш механический	шт	2	24,0	48,0
28.	Линейка чертежная, 20 см	шт	1	7,0	7,0
29.	Ручка шариковая	шт	3	25,0	75,0
	Итого:				<b>12332,78</b>

### Амортизация

Расчет амортизации производится только для оборудования (таблица 5.6). Норма амортизации вычисляется линейным методом по формуле 2 (Налоговый кодекс часть 2, глава 25 статья 259 п.1):

$$\frac{1}{n} \times 100\%; \quad (5.2)$$

где  $n$  — срок службы оборудования.

Таблица 5.6 — Амортизация основного оборудования лаборатории

№ п/п	Наименование	Цена за единицу, принятая в СНОР (в рублях)	Срок службы	Ежемесячные амортизационные отчисления (в рублях)
1	2	3	4	5
1.	Кварцевоотрезной станок	56050	10 лет	467,1
2.	Микроскоп поляризационный ПОЛАМ Л-211	139000	5 лет	579,2
3.	Станок камнерезный алмазный КРС-110	78693	10 лет	655,8
4.	Станок шлифовальный СШН- 1	57800	10 лет	481,7
5.	Станок настольно-сверлильный одношпиндельный НС-12А	60000	10 лет	500,0
6.	Шкаф сушильный вакуумный (с вакуумметром термopарным) ШСВ-45к	176000	10 лет	1466,7
	Итого:			<b>4150,5</b>

## 5.2. Общая стоимость работ

Общая сметная стоимость работ представлена таблицей по форме СМ 4 (Таблица 5.7).

Таким образом, на изготовление шлифов необходимо 19533,68 рублей. Основную часть затрат составляют материалы, необходимые в лабораторию. Для изготовления одного шлифа потребуется затратить 574,52 рубля.

В результате расчетов получено, что стоимость исследования составила

19533,68 рублей, контрагентные расходы в данном случае отсутствуют.

Таблица 5.7 – Сметные нормы по статьям основных расходов на проведение комплекса лабораторных исследований

Статьи расхода	Сметная стоимость (в рублях)	Источник принятой нормы
1	2	3
Основная заработная плата	2400	ССН-92, Вып.7, гл.13; СНОР-93, Вып.7
Страховые взносы в социальные внебюджетные фонды	650,4	ФЗ №322 от 2 декабря 2013 г. «О бюджете ...»
Материалы	12332,78	ССН-92, Вып.7, гл.13; СНОР-93, Вып.7
Амортизация	4150,5	Налоговый кодекс, ч.2, гл. 25, ст. 259, п.1
Всего:	<b>19533,68</b>	

Как видно из диаграммы распределения затрат на исследовательские работы (Рисунок 5.1), основную долю составляют затраты на материалы (63%), остальные услуги и виды работ являются менее затратными.



Рисунок 5.1 — Диаграмма распределения затрат на исследовательские работы

Высокая стоимость изготовления шлифов объясняется тем, что их изготовлено небольшое количество, но при этом было необходимо использование дорогостоящей лабораторной посуды, реактивов и материалов [65].

## 6. Социальная ответственность

Целью данной магистерской диссертации является применение искусственной нейронной сети для типизации геолого-геофизического разреза. Данная работа выполнялась с применением методов машинного обучения. Для ее выполнения рабочее место должно состоять из следующих компонентов: рабочий стол, стул, персональный компьютер, с расположенным монитором на столе.

Данная работа выполнялась в учебной аудитории 19-го корпуса ТПУ №240. Учебное помещение с 9-ю рабочими местами имеет длину в 6.5 метров и ширину в 5 метров. Принципиальная схема рабочего помещения представлена на Рисунке 6.1.



Рисунок 6.1 – Принципиальная схема рабочего помещения

Персональные компьютеры, расположенные в данном помещении, располагаются на столах, принципиальная схема рабочего места будет рассмотрена далее в разделе. Компьютеры оборудованы процессором AMD Phenom™ II X2 555 Processor 3.2 ГГц, операционной памятью 5 Гб, видеоадаптером ATI Radeon HD 4250. Монитор компьютера BENQ GW2470 имеющий диагональ 24 дюйма, работающий с настройками 70% яркости и 50% параметра контрастности цветов. Установленный монитор работает с частотой 60 Гц при разрешении 1920x1080 FHD.

В данном разделе магистерской диссертации производится анализ рабочего места и рабочей зоны на соответствие требования законодательства РФ в области охраны и организации труда. Для этого необходимо проанализировать опасные и вредные факторы, возникающие при работе, а также разработать необходимый комплекс мер и мероприятий, для снижения негативного влияния, оказываемого на человека, общество и природу.

### **6.1. Производственная безопасность**

В ходе выполнения данной магистерской диссертации использовался персональный компьютер. При работе с компьютером возникают вредные и опасные производственные факторы, которые приведены в Таблице 6.1.

Часто при постоянной работе с компьютером у работника возникает ряд профессиональных заболеваний, вызванными вредными факторами производства. Так наиболее характерными профессиональными заболеваниями, возникающих у работников, чей труд связан с каждодневным обращением с компьютером, являются: миопия глаз (близорукость), астенопия, синдром сухого глаза, остеохондроз, гиподинамия, туннельный синдром, аллергия и нервные расстройства [51]. Влияние приведенных

вредных факторов подрывает здоровье работника, влияя не только на физические показатели человека, но также и на его психосоматическое состояние. В совокупности данные вредные производственные факторы могут привести к производственной травме, что в целом говорит о имеющейся угрозе для жизни и здоровья человека.

Таблица 6.1 – Факторы, возникающие при работе с ПК

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
- Анализ входной информации в виде каротажных диаграмм - Создание программы позволяющей производить классификацию - Произведение анализа результатов -Создание отчетности	1) недостаточное освещение; 2) нарушение параметров микроклимата; 3) ионизирующие излучения; 4) умственное перенапряжение и монотонность работы.	1) поражение электрическим током; 2) статическое электричество; 3) короткое замыкание.	1)СанПиН 2.2.4.548-96; 2)СанПиН 2.2.4.5482013–96 3)СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; 4) СП 52.13330.2011; 5)ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ; 6)СНиП 2.01.02-85. 7)Противопожарные нормы.

## 6.2. Вредные факторы

### 6.2.1 Освещение

Типизация геолого-геофизического разреза подразумевает постоянную работу с каротажными диаграммами. Визуализация каротажных кривых необходима для произведения классификации и выявления реперных горизонтов в разрезе. Работа связана с постоянным напряжением зрительных органов. Как уже было сказано при анализе совокупности имеющихся вредных факторов, возникающих при работе, типичными заболеваниями являются болезни органов зрения. Для сдерживания и снижения влияния данного фактора необходимым условием является

достаточное освещение рабочего место. Правильное освещение не только снизит напряжение глаз при работе, но и как следствие этого снижения увеличит производительность.

Помещение аудитории №240 19-го корпуса ТПУ спроектировано без окон. Таким образом доступа естественного освещения в аудитории нет. Согласно СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» [52] в таких помещениях допускается работа не выше IV категории точности (средняя точность). Поэтому в рабочем помещении используется лишь искусственное освещение. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340—03 искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения [53]. На Рисунке 6.2 приведена схема освещения рабочего помещения, в котором установлены светильники типа ARS/R 418 размером 500x500x40 мм, каждый укомплектован четырьмя люминесцентные лампы типа Philips TL-D, каждая мощностью 18 Вт.

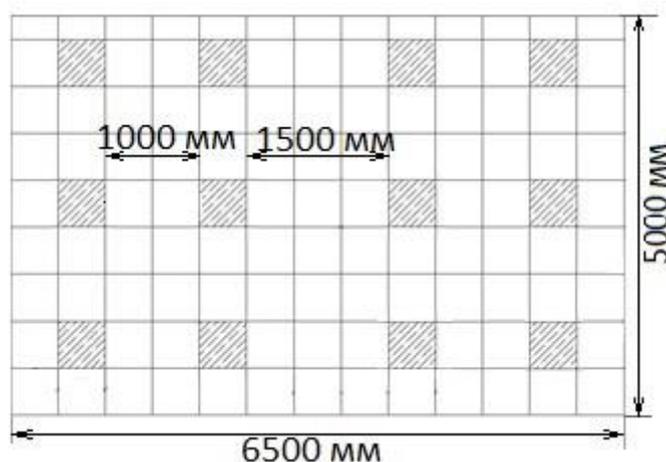


Рисунок 6.2 – Схема освещения помещения

Помещение имеет размерность: длина 6.5 м, ширина – 5 м, высота – 2,91 м, высота стола – 0,76 м, суммарное количество ламп составляет 48 штук. Согласно [52] норма освещённости рабочих поверхностей в

помещениях для работы с дисплеями и видеотерминалами принимается  $E_n = 400$  лк.

Фактическая освещенность определяется по формуле:

$$E_{\phi} = \frac{N \cdot n \cdot \Phi_{\text{ст}} \cdot \eta}{S \cdot K_3 \cdot Z}, \quad (6.1)$$

где  $N$  – число светильников;  $n$  – число ламп в светильнике;  $\Phi_{\text{ст}}$  – световой поток люминесцентных ламп, лм;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока, %;  $S$  – площадь освещаемого помещения,  $\text{м}^2$ ;  $K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника;  $Z$  – коэффициент неравномерности освещения.

Для определения коэффициента использования светового потока необходимо найти индекс помещения. Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)}, \quad (6.2)$$

где  $h$  – высота от ламп до рабочей поверхности,  $A$  – ширина, а  $B$  – длина.

Рассчитаем индекс:

$$i = \frac{6,5 \cdot 5}{(2,91 - 0,76) \cdot (6,5 + 5)} \approx 1,31. \quad (6.3)$$

При  $i = 1,31$ , коэффициенте отражения светлых стен  $\rho_c = 50\%$  и светлого потолка  $\rho_n = 70\%$ , коэффициент использования светового потока, согласно [52],

равен  $\eta = 0,48$ . Коэффициент неравномерности освещения  $Z$  для люминесцентных ламп примем  $Z = 1,1$ . Коэффициент запаса в случае офисных помещений составляет  $K_3 = 1,2$ . Световой поток используемых люминесцентных ламп составляет 1200 лм. Рассчитаем фактическую освещенность:

$$E_{\phi} = \frac{12 \cdot 4 \cdot 1200 \cdot 0,48}{6,5 \cdot 5 \cdot 1,2 \cdot 1,1} \approx 644,48 \text{ лк}. \quad (6.4)$$

Рассчитаем отклонение от нормы  $\Delta E$ :

$$\Delta E = \frac{750-644,48}{750} \cdot 100 \approx 14,1\% \quad (6.5)$$

Так фактическая освещенность на 14,1 % ниже, чем нормативное значение для помещений, предназначенных для работ средней точности, при условии постоянной работы в нем. Учитывая, что при периодической работе с постоянным пребыванием норма составляет 500 лк, можно указать на соответствие освещенности учебной аудитории требуемому уровню. При необходимости обеспечения постоянной работы в таком помещении необходимо поменять люминесцентные лампы на лампы, генерирующие больший световой поток, либо установить дополнительные источники освещения.

Данное рабочее место, используемое на время написания магистерской диссертации, соответствует нормативным требованиям освещенности.

### **6.2.2. Микроклимат**

Одной из важнейших характеристик пригодности рабочей зоны для выполнения работ определенной категории является микроклимат

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ под микроклиматом производственных помещений принято понимать метеорологические условия внутренней среды помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения [24].

Данные характеристики микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса между человеком и окружающей его средой, а также поддерживать оптимальное или допустимое тепловое состояния организма. СанПиН 2.2.4.5482013-96 содержит основные нормативные требования, применяемые к показателям микроклимата и их сочетаниям.

Нормы указанного СанПиНа разработаны на основе исследований теплообмена и теплопереноса, а также теплового состояния человека, находящегося в микроклиматических камерах. Данные камеры моделируют условия производственных помещений. Также СанПиН 2.2.4.5482013-96 содержит результаты клинических и санитарно-эпидемиологических исследований [55]. В Таблице 6.2 приведены оптимальные и допустимые показатели микроклимата на рабочих местах в помещениях.

Таблица 6.2 – Допустимые и оптимальные показатели микроклимата

Период года	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	опт.	доп.	опт.	доп.	опт.	доп.
Холодный	21 – 23	22 – 24	30 – 50	65	не более 0,2	не более 0,2
Теплый	22 – 24	23 – 27	30 – 50	60	не более 0,2	не более 0,2

Так как учебная аудитория № 222 учебного корпуса №19 ТПУ не имеет окон, поступление воздуха в помещение происходит только по средствам вентиляционной системы. Необходимые меры по улучшению воздушной среды в рабочем помещении:

- 1) правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха;
- 2) отопление помещений.

В учебной аудитории с объемом 94.6 м<sup>3</sup> подается объём наружного воздуха в размере 45 м<sup>3</sup>/час на человека. В условиях отсутствия естественной вентиляции, подача воздуха и контроль температуры входящего воздуха осуществляются с помощью центральной системы подачи и кондиционирования воздуха. В зимний период в рабочем помещении предусмотрена система водяного центрального отопления со встроенными нагревательными элементами и терморегуляторами. Таким образом, данное рабочее место с точки зрения микроклиматических условий

полностью соответствует нормативным требованиям законодательства РФ в сфере охраны и организации труда.

### **6.2.3. Ионизирующие излучения**

Под ионизирующими излучениями понимают такие виды лучистой энергии, которые, попадая в определенные среды или проникая через них, производят в них ионизацию, т.е. превращают атомы и молекулы в ионы.

В настоящее время используемые жидкокристаллические мониторы производят настолько низкое ионизирующее излучение, что оно является ничтожно малым и практически не превышает естественный уровень излучения. Однако дешевые низкокачественные и бракованные мониторы могут быть источниками излучения, превышающего допустимые нормы, в данном случае необходимо использовать качественные исправные мониторы, желательно, известных торговых марок.

Согласно СанПиН 2.6.1.2523-09 [56] для отнесения условий труда при обращении с техногенными и природными источниками излучения на производстве к допустимым, максимальная потенциальная эффективная доза не должна превышать 5 мЗв/год, а максимальная эквивалентная доза в хрусталике глаза, коже, кистях и стопах не должна превышать 37,5, 125 и 125 мЗв/год, соответственно.

Также СанПиН 2971-84 [57] устанавливает правила защиты от воздействия электрических полей и устанавливает предельно допустимый уровень напряжённости электрического поля 0.5 кВ/м внутри зданий. Согласно ГОСТ 27016-86 [58] плотность потока ультрафиолетового излучения дисплея не должна превышать показания в 10 Вт/м<sup>2</sup>, а доза рентгеновского излучения при расстоянии в 5 см от экрана монитора - не больше 0,03 мкР/с.

Для снижения негативного влияния, оказываемого ЖК-монитором необходимо применить следующие меры:

- 1) выключать монитор в случае ненужности (перерыв или конец рабочего дня);
- 2) применять специальные защитные экраны и/или покрытия;
- 3) строго соблюдаются общие правила работы за компьютером;
- 4) рабочее место должно быть убрано, а помещение проветриваемо;
- 5) применять устройства увлажняющие и/или ионизирующие воздух.

Анализируя рабочее помещение, а именно учебную аудиторию № 240 учебного корпуса №19, следует сделать вывод о соответствии данного помещения требуемым нормам в части защиты от ионизирующего излучения.

### **6.3. Психосоматические аспекты работы**

Выполнение данной магистерской диссертации связано с использованием компьютера. Разрабатываемый метод типизации геологогеофизического разреза также неотрывно связан с вредным воздействием электронной техники. Специалистам геологам и геофизикам сейчас необходимо затрачивать гораздо большее время работы за компьютером при решении задачи типизации без применения алгоритмов машинного обучения. Негативное влияние оказывается не только на физическую активность человека. Очень часто монотонный труд и длительное напряжение глаз вызывает головные боли. Частое напряжение тела при работе за компьютером, неправильно подобранная офисная мебель вызывает зажатость артерий, сосудов и как следствие уменьшение притока свежей крови в органы. Часто от перенапряжения возникают головные боли, возникает стрессовые состояния, может ухудшаться сон. Монотонность

работы без применения методов машинного обучения приводит к снижению концентрации внимания. Данные негативные факторы уменьшаются при использовании для решения задачи типизации геолого-геофизических разрезов методов машинного обучения. Методы машинного обучения позволяют ускорить процесс работы, при уменьшении участия человека. Нет необходимости в монотонном сравнении кривых каротажей человеком. Однако негативное воздействие электронной техники остаются, сохраняется и возникающая на этом фоне усталость, а также стресс работника.

Чтобы снизить негативное воздействие необходимо соблюдать составленный в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [53] распорядок рабочего дня. Распорядок рабочего дня при работе с компьютером включает промежутки отдыха в рабочее время, что позволяет уменьшить нагрузку органов зрения, а также снижению стрессовых ситуаций. Следует отметить, что согласно ТОО Р-45-084-01 [60] по характеру работы, такой вид деятельности, как типизация геолого-геофизических разрезов, относится к группе «Б». Данная группа накладывает ограничение по суммарному числу считываемых или вводимых знаков за рабочую смену (не более 40000 знаков за смену).

Так при 8-ми часовой рабочей смене сотрудник обязан сделать перерывов на 70 минут в течении дня, а при 12-ти часовой смене на 120 минут. При этом перерывы должны быть через 1,5 - 2,0 часа от начала рабочей смены и через 1,5 - 2,0 часа после обеденного перерыва продолжительностью 20 минут каждый или продолжительностью 15 минут через каждый час работы. Продолжительность работы за компьютером без перерывов не должна превышать двух часов.

## **6.4. Опасные факторы**

### **6.4.1. Поражение электрическим током**

При работе с компьютером возникает опасность поражения электрическим током пользователя. Необходимо, чтобы каждый работник соблюдал правила требования безопасности при работе на ПК, установленные [60]. Данные правила устанавливают следующие требования:

- 1) держать рабочее место в чистоте и порядке;
- 2) перед началом работы убедиться в подключении оборудования к электросети;
- 3) проверить правильность подключения и отсутствия оголенных соединений, проводов;
- 4) убедиться в наличии заземления блока питания;
- 5) использовать антистатические салфетки для обработки монитора компьютера.

Также работнику запрещается:

- 6) прикасаться к задней панели блока питания, при включенном питании;
- 7) переключать разъемы интерфейсного оборудования при включенном питании;
- 8) допускать попадания влаги на поверхность монитора, блока питания, клавиатуры и принтеров;
- 9) производить самостоятельный ремонт и вскрытие техники;
- 10) работать за компьютером при снятых защитных кожухах системного блока;
- 11) отключать оборудование от сети и выдергивать вилку держась за шнур.

Помещение, где расположено рабочее место пользователя ПЭВМ, относится к помещениям без повышенной опасности ввиду отсутствия следующих факторов:

- 1) сырость (относительная влажность воздуха превышает 75%);
- 2) токопроводящая пыль;
- 3) высокая температура (превышает 35 °С);
- 4) токопроводящие полы;
- 5) возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и металлическим корпусам электрооборудования.

Электрический ток имеет три вида воздействия на организм человека: термический, электролитический, биологический. Последствиями воздействия электрического тока на организм являются: электрический удар, электрическая травма, прекращение работы сердца, остановка дыхательных процессов. Таким образом, воздействие электрическим током может привести не только к различного рода травмам, но и к летальному исходу. Именно поэтому электрический ток является одним из опаснейших факторов воздействия.

Особенно необходимо отметить обязательность проведения организационно-технических инструктажей безопасности для сотрудников. Следует заключить, что рабочее место соответствует требованиям законодательства РФ в области охраны и организации труда в части защиты от поражения электрическим током.

#### **6.4.2. Статическое электричество**

Одной из часто возникающих проблем при работе за ПК связанных с электрическим током, является статическое электричество. Статическое электричество – это физическое явление, связанное с возникновением свободного электрического заряда на поверхности или внутри диэлектрических материалов. В процессе работы компьютер, как электронный прибор генерирует электростатическое поле, при этом в зону

действия электростатического поля попадают периферийные устройства и монитор, с которыми взаимодействует пользователь. Наэлектризованные полем частички пыли способны оседать на поверхности кожи и в тканях дыхательных путей человека, что способно вызвать изменение ионного состава тканей. Длительное воздействие электростатических полей вызывает повышенную утомляемость и раздражительность человека.

Именно для защиты от электростатического поля необходимо наличие заземления блока питания, также необходимо протирать монитор специальными антистатическими салфетками, устанавливать защитные экраны. Не менее важно, держать рабочее место в чистоте, для избегания наэлектризованности частичек пыли.

Таким образом, рабочее место соответствует требованиям законодательства РФ в области охраны и организации труда в части защиты от влияния статического электричества.

### **6.4.3. Короткое замыкание**

Наиболее опасным при работе с ПЭВМ является возникновение короткого замыкания. Короткое замыкание – представляет собой соединение двух точек электрической цепи с различными значениями потенциала, не предусмотренное конструкцией устройства и нарушающее его нормальную работу. При возникновении короткого замыкания сила тока возрастает мгновенно и достигает высоких значений, что приводит к быстрому росту тепловыделения, расплавлению частей электронного устройства и электрических проводов, что приводит к возникновению пожара.

Наиболее частой причиной короткого замыкания является нарушение изоляции электроприборов. В свою очередь это может быть вызвано: перенапряжениями сети, прямыми ударами молнии, старением

оборудования и изоляции, механическими повреждениями, неправильным уходом или эксплуатацией устройства, несоблюдением техники безопасности при работе и др.

Для предотвращения возникновения короткого замыкания и снижения вероятности пожара, а также получения работником электротравмы, электрооборудование должно быть оборудовано защитным заземлением (занулением), защитными кожухами, предупредительными указателями в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации. Устройства, подключенные в сеть высокого напряжения, должны быть подключены не напрямую, а только через сетевые фильтры или розетки с заземляющей шиной. Электронно-вычислительная техника должна быть подключена с использованием сетевых фильтров, которые нивелируют импульсные скачки тока в сети, перегрузки и предотвращают короткое замыкание.

Согласно законодательству РФ в области охраны и организации труда, в части защиты от короткого замыкания рабочее место соответствует предъявляемым требованиям.

## **6.5. Экологическая безопасность**

Типизация геолого-геофизических разрезов как таковая не имеет негативного воздействия на окружающую среду, так как является интеллектуальной деятельностью. Однако средства, используемые для ее достижения, могут быть рассмотрены, как наносящие такой вред.

В качестве промышленных отходов выступают: бумага и пластик. К бумажным отходам могут быть отнесены записки, пометки, документация, образовавшаяся в ходе выполнения проекта. Пластиковые отходы могут образовываться при поломке техники. НИ ТПУ осуществляет сбор и

передачу бумажных отходов сторонним компаниям для переработки и повторного использования. Пластиковый мусор требует более сложных манипуляций, часть отходов может содержать вредные вещества, поэтому их необходимо утилизировать, только в сертифицированных центрах по переработке вторичного сырья.

Люминесцентные лампы осветительных приборов должны быть подвергнуты особому процессу транспортирования и утилизации, согласно ГОСТ 6825-91 [61]. Утилизировать такого рода отходы имеет право компания, обладающая лицензией на осуществление такой деятельности.

### **6.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Согласно определению чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка сложившаяся на определенной территории, возникшая в результате аварии, природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [62]. По своему типу ЧС могут быть классифицированы как: техногенные, природные, экологические, биологические и антропогенного характера.

Наиболее вероятно при работе с ПЭВМ возникновение ЧС техногенного характера, такие как пожары и взрывы. Пожарная безопасность, как единый комплекс мер по обеспечению безопасности и предотвращению ЧС, является особенно важным аспектом деятельности предприятий.

Согласно [63], рабочее помещение относится к категории В, согласно наличию в нем электронной техники. Источниками повышенной пожароопасности являются:

- 1) электрооборудование без защиты от короткого замыкания;
- 2) неисправная аппаратура;
- 3) нарушение правил эксплуатации оборудования.

Профилактические меры необходимые для снижения вероятности возникновения пожара, а также снижения угрозы жизни и здоровью работников при возникновении ЧС:

- 1) первичный и повторный инструктаж персонала и разработка планов эвакуации;
- 2) проверка наличия схем эвакуации и первичных средств пожаротушения;
- 3) периодические проверки исправности электротехнического оборудования;
- 4) периодические проверки эвакуационных выходов;
- 5) профилактическое отключение оборудования;
- 6) установка средств пожарной сигнализации;
- 7) использование негорючих материалов;
- 8) установка устройств ограничения распространения огня в помещениях;
- 9) установка стационарных систем тушения;
- 10) ревизия и контроль состояния систем тушения и защиты от огня.

При возникновении пожара необходимо, в первую очередь, незамедлительно сообщить о пожаре в единую службу спасения, также предпринять меры по эвакуации людей в соответствии с планом эвакуации. Только в случае, если отсутствуют прямые угрозы здоровью и жизни людей произвести попытку самостоятельного тушения возникшего возгорания с применением средств первичного пожаротушения. Необходимо строго понимать какое средство можно применить для тушения конкретного типа

возгорания. Так тушение электрических приборов приведет к удару электрическим током и усугубит сложившуюся ЧС. При потере контроля ситуацией, необходимо срочно эвакуироваться согласно плана эвакуации и ждать приезда пожарной службы. Важно встретить пожарную бригаду, сообщить ей имеющуюся информацию о источнике возгорания, о местонахождении людей в здании, о наличии взрывоопасных материалах, а также о конструкции здания (проходы, тупики и т.д.).

Рассматриваемое помещение в данном случае оборудовано пороговой пожарной сигнализацией, автоматическими противопожарными системами, пожарными гидрантами и огнетушителями. Знаки пожарной безопасности нанесены и четко различимы, схемы эвакуации присутствуют. В целом рабочее место соответствует нормам пожарной безопасности.

## **6.7. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Трудовой кодекс РФ является основополагающим документом в регулировании отношений между работодателем и работником, в части оплаты труда, трудового распорядка, а также особенности регулирования труда женщин, детей, людей с ограниченными способностями.

Для обеспечения комфортных условий труда и безопасности сотрудников в соответствии с нормами законодательства РФ, необходимо обеспечить рациональную организацию трудовой деятельности персонала, что включает в себя:

- 1) длительность рабочей смены не должна превышать 8 часов;
- 2) запрещена непрерывная работа за компьютером более 2 часов;
- 3) необходимо наличие, как минимум, 2 регламентируемых перерывов (20 минут после 1,5 – 2 часов работы, либо по 15 минут после каждого рабочего часа);

4) длительность работы с ПЭВМ не должна превышать 6 часов за рабочую смену;

5) длительность обеденного перерыва должна составлять не менее 40 минут.

ГОСТ Р ИСО 9241-1-2007 [64] регламентирует вопросы эргономичности рабочей зоны и рабочих мест. В свою очередь в ГОСТ Р ИСО 9241-2-2009 [34] устанавливаются требования к конфигурации рабочих станций, которые имеют цель обеспечить комфортные условия для работы сотрудника, а также безопасность выполняемой работы.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [53] устанавливает норму полезной площади помещений для сотрудников различного рода служб. Так на работников, чья профессиональная деятельность связана с использованием МЭВМ должно приходиться не менее 4 м<sup>2</sup> полезной площади рабочего помещения.

Вопрос организации рабочего места сотрудника, работающего с ПК, является основополагающим в организации комфорта и безопасности работы. Так при оборудовании рабочего места сотрудника монитор должен располагаться на расстоянии в 60–70 см от глаз работника. Особое внимание должно быть уделено рабочему креслу, так как сотрудник проводит в нем большую часть рабочей смены оно должно обеспечивать правильную осанку и обеспечивать комфортность при работе.

Конструкция рабочего кресла, входящего в состав рабочего места должна создавать поддержку правильной позиции спины при работе, а также позволять менять позу, для обеспечения снижения напряжения мышц спины и плечевого пояса. Рабочее место должно обеспечивать удобство и безопасность при работе, также оно должно быть регулируемым для соответствия индивидуальным требованиям работника, ввиду его биометрических параметров (рост, вес, рабочая рука и др.). Пример рабочего

места, используемого при создании данной магистерской диссертации приведен на рисунке 6.3.

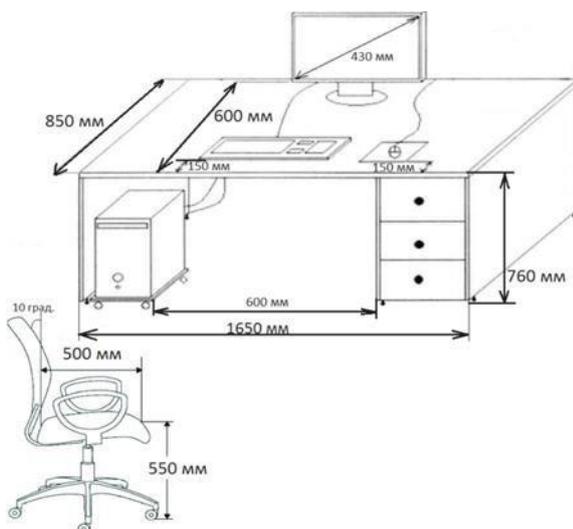


Рисунок 6.3 – Основные характеристики используемого рабочего места

Данное рабочее место соответствует приведенным в разделе нормам и законодательным актам и в целом удовлетворяет предъявляемым требованиям по обеспечению комфорта и безопасности работников.

## Заключение

В ходе написания магистерской диссертационной работы был изучен наработанный материал в области классификации карбонатных пород. В литературном обзоре рассмотрены основные классификационные схемы, выделены наиболее релевантные для выполнения типизации пород на литогенетические типы. Основываясь на современном опыте классификации карбонатных пород для выделения литогенетических типов в разрезе палеозойских отложений Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна использована классификация Данхэма.

Анализ и интерпретация исходных данных, представленных микрошлифами по скважинам, петрофизическими исследованиями скважин, а также данными компьютерной томографии, позволили выделить четыре основных литогенетических типа: баундстоун, грейнстоун, пакстоун, вакстоун. Для каждого из них определен характерный набор текстурно-структурных, фильтрационно-емкостных и седиментологических свойств.

Для проверки корреляции между литологией и фильтрационно-емкостными параметрами выделенных литотипов были рассчитаны петрофизические коэффициенты (гидравлические единицы потока), что позволило в свою очередь также типизировать породы на четыре класса.

Для более детального анализа привязки фильтрационно-емкостных параметров к литологии использовался метод рок-типирования на основе интерпретации геометрии и структуры порового пространства. В результате были определены интервалы значений коэффициентов пористости и проницаемости для каждого структурного класса, полученного по классификации Данхэма.

Анализ и интерпретация седиментологических данных позволили определить тип природного резервуара – как слоистой биостромной постройки, формировавшейся в условиях крайне мелководного шельфа при участии приливно-отливной деятельности.

В результате исследований установлено, что стандартные методы исследования, такие как сеймопрофилирование, геофизические исследования скважин, петрофизические интерпретации разреза по всему стволу скважины, не могут детализировать разрез, что является проблемой для большого карбонатных формаций. Согласно проведенным исследованиям, рассматриваемый слоистый резервуар сложен набором литогенетических типов отложений, каждый из которых формировался в условиях, отличных от других пород и соответственно обладает набором специфических характеристик, которые могут быть установлены при изучении микрошлифов, детализации петрофизических параметров, методами компьютерной томографии. Именно эти данные должны лежать в основе построения комплексных геолого-геофизических моделей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агафонова Г.В., Михайлова М.В. Литофациальные особенности нижнепермских нефтегазоносных рифогенных отложений на севере Тимано-Печорской провинции // Рифогенные зоны и их нефтегазоносность. М.: ИГиРГИ, 1991. с. 157–165.
2. Агафонова Г.В. Седиментогенез, литогенез и строение нижнепермских карбонатных отложений севера Печорской синеклизы: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геол.-минерал. Наук. – М.: МГГА, 2000. – с. 26.
3. Антошкина А.И. Рифообразование в палеозое (север Урала и сопредельные области). Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 304 с.
4. 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.
5. Бакиров, А.А., Мальцева, А.К. Литолого-фациальный и формационный анализ при поисках и разведке скоплений нефти и газа. – М.: Недра, 1985. – 160 с.
6. Беляков С.Л. Нижнепермские структурные элементы Тимано-Печорского региона // Геотектоника, 1994. - №1. – с. 38-48.
7. Бро Е.Г., Десятков В.М., Преображенская Э.Н., Патрунов Д.К. Нефтегазоносные рифогенные образования в палеозойских отложениях на шельфе Баренцева моря // Геологическое строение и нефтегазоносность Арктических морей России. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 1994. – с. 6-13.
8. Вискунова К.Г., Супруненко О.И., Преображенская Э.Н. Прогноз литолого-фациальной зональности ассель-сакмарских отложений Печорского моря в связи с их нефтегазоносностью // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. – Вып.4. – с. 147-156.

9. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (новая серия). Объяснительная записка / Под ред. Б.Г. Лопатина. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2003. – 203 с.
10. Данилевский С.А., Склярова З.П., Трифачев Ю.М. Геофлюидалные системы Тимано-Печорской провинции. – Ухта, 2003. – 298 с.
11. Дзюбло А.Д., Зонн М.С. Строение разрезов и нефтегазоносность визейско-нижнепермского нефтегазоносного комплекса Долгинского вала в акватории Печорского моря // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2004. - №9. – с. 18-23.
12. Жемчугова В.А. Верхний палеозой Печорского нефтегазоносного бассейна (строение, условия образования, нефтегазоносность). – Сыктывкар: КНЦ УрО РАН, 1998. – 160 с.
13. Жемчугова В.А. Карбонатные комплексы палеозоя Печорского нефтегазоносного бассейна (строение, условия формирования, прогноз природных резервуаров) / Автореф. дисс. доктора геол.-мин. наук. Сыктывкар, 2000. 42 с.
14. Жемчугова В.А. Природные резервуары в карбонатных формациях Печорского нефтегазоносного бассейна. М.: Изд-во МГГУ, 2002. 243 с.
15. Кириная В.Н., Смехов Е.М. Карбонатные породы – коллекторы нефти и газа. – М.: Недра, 1981. – 255 с.
16. Кремс А.Я., Вассерман Б.Я., Матвиевская Н.Д. Условия формирования и закономерности размещения залежей нефти и газа. М.: Недра, 1974. 332 с.
17. Кузнецов В.Г. Геология рифов и их нефтегазоносность. М., «Недра», 1978. 304 с.
18. Кузнецов В.Г. Карбонатные породы. Состав, строение, происхождение, методы изучения. – М., 1999.
19. Кузнецов В.Г. Палеозойское рифообразование на территории России и смежных стран. – М, 2000 – 228 с.

20. Кузнецов В.Г. Природные резервуары нефти и газа карбонатных отложений. - М.: Недра, 1992, с. 320.
21. Кузнецов В.Г. Строение природных резервуаров различных типов карбонатных формаций // Нефтегазоносность карбонатных формаций. - М.: ИГиРГИ, 1987, 37-49 с.
22. Меннер В.Вл. Литологические критерии нефтегазоносности палеозойских толщ Северо-Востока Русской платформы. М.: Наука, 1989. 133 с.
23. Никонов Н.И. и др. Тимано-Печорский седиментационный бассейн. Атлас геологических карт (литолого-фациальных, структурных и палеогеологических) / Н.И. Никонов, В.И. Богацкий, А.В. Мартынов и др. Ухта: ТП НИЦ, 2000. 64 с.
24. Оленова К.Ю. Коллекторские свойства органогенных карбонатных пород различной структуры (нижняя пермь Колвинский мегавал). /1 Рифы и карбонатные псефитолиты: Материалы Всероссийского литологического совещания. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2010. с. 131-132.
25. Оленова К.Ю. Литология и условия образования нижнепермских карбонатных отложений северной части Колвинского мегавала (Тимано-Печорская плита) /1 Концептуальные проблемы литологических исследований в России: материалы 6-го Всероссийского литологического совещания. - Казань: Казан. ун-т, 2011. -Том II. с. 118-122.
26. Оленова К.Ю. Нижнепермские отложения северной части Колвинского мегавала (Тимано-Печорская плита) - литология, условия образования, строение резервуаров нефти и газа. /1 Молодые в геологии нефти и газа: Материалы Всероссийской научно практической конференции молодых ученых и специалистов. – М., ФГУП «ВНИГНИ», 2011. с. 58-59.
27. Оленова К.Ю. Строение и коллекторские свойства биогермов перми северной части Колвинского мегавала //Нефть, газ и бизнес. - М., 2010, №1. с. 64-66.

28. Оленова К.Ю. Строение и коллекторские свойства биогермов рифовых массивов северной части Печоро-Колвинского мегавала // Материалы V Всероссийского литологического совещания «Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли». - Екатеринбург, 2008.
29. Седиментологическое моделирование карбонатных осадочных комплексов/ Сост. и общ. ред. Н.К. Фортунатовой. – М.: РЭФИА, 2000. – 239 с.
30. Теодорович Г.И. О классификации кремнисто-карбонатно-глинистых пород // Разведка и охрана недр. – 1958ю - №6 – с. 7-21.
31. Теплов Е.Л. и др. Природные резервуары нефтегазоносных комплексов Тимано-Печорской провинции / Е.Л. Теплов, П.К. Костыгова, З.В. Ларионова и др. М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, ГУП РК ТПНИЦ. СПб: ООО «Реноме», 2011. 286 с.
32. Тимонин Н.И. Печорская плита: история геологического развития в фанерозое. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 240 с.
33. Уилсон Дж.Л. Карбонатные фации в геологической истории. Пер. с англ. – М: Недра, 1980. – 463 с.
34. Фортунатова Н.К., Карцева О.А., Баранова А.В., Агафонова Г.В., Офман И.П. Атлас структурных компонентов карбонатных пород. ВНИГНИ, Москва, 2005 г., 440 с.
35. Фортунатова Н.К. Генетические типы и седиментационные модели карбонатных отложений // Совет. Геология. – 1985. - №1. – с. 32-45.
36. Фортунатова Н.К., Ильин В.Д. Методы прогнозирования и поисков нефтегазоносных рифовых комплексов. –М.: Недра, 1988. – 201 с.
37. Фортунатова Н.К. Седиментологические основы изучения карбонатных толщ: Учеб. пособие / МГГА. – М., 1997 – 87 с.
38. Щеколдин Р.А. Литология. Структурная геология / Конспекты лекций [сайт]. URL: <https://www.r-schekoldin.com/445645255>

39. Amaefule, J.O., Altunbay, M., Tiab, D., Kersey, D.G., dan Keelan, D.K. (1993): Enhanced Reservoir Description: Using Core and Log Data to Identify Hydraulic (Flow) Units and Predict Permeability in Uncored Intervals/Wells, Paper SPE 26436 presented at the 68th Annual Technical Conference and Exhibition of the SPE held in Houston, Texas, October 3 – 6.
40. Archie, G.E. (1952): Classification of Carbonate Reservoir Rocks and Petrophysical Consideration, Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, vol. 36, no. 2, 278 – 298.
41. Cool-water carbonates. Special Publication SEPM № 56 / Eds James N.P., Clarke J.A.D., Scholle P.A. Tulsa, 1997. 440 p.
42. Dunham R.J. Classification of carbonate rocks according to their depositional texture // Am. Assoc. Petrol. Geol. Memoir № 1. Classification of carbonate rocks / Ed. W.E. Ham. – 1962. – P. 108–121.
43. Embry, Ashton F.; Klovan, J. Edward (1971-12-01). "A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, N.W.T". Bulletin of Canadian Petroleum Geology. 19 (4): 730–781. ISSN 0007-4802.
44. Flugel E. Microfazische untersuchungen on der Alpinen Triassic. Methoden und Problemen. – // Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. – 1972. – Bd. 21. – S. 9–64.
45. Folk R.L. Practical petrographic classification of limestones // Bull. Am. assoc. petrol. geol. – 1959. – Vol. 43. – P. 1–38.
46. Kosir A. Microcodium Revisited: Root Calcification Products of Terrestrial Plants on Carbonate-rich Substrates // Journal of Sedimentary Research. 2004. V. 74. № 6. P. 845– 857.
47. Lees A., Buller A.T. Modern temperate-water and warm-water shelf carbonate sediments contrasted // Mar. Geol. 1972. V. 13. P. M67-M73.
48. Lucia, F.J., 1987, Rock Fabric, Permeability, and Log Relationships in an Upward-Shoaling, Vuggy Carbonate Sequence: The University of Texas at Austin Bureau of Economic Geology, Geological Circular 87-5, 22 p.

49. Permadi, P. dan Susilo, A. (2009): Permeability Prediction and Characteristics of Pore structure and Geometry as Inferred From Core Data, Paper SPE 125350 presented at SPE/EAGE Reservoir Characterization and Simulation Conference held in Abu Dhabi, UEA, October 19 – 21.
50. Wibowo, A.S. and Permadi, P. 2013. A Type Curve for Carbonates Rock Typing. Paper IPTC 16663 presented at The International Petroleum Technology Conference held in Beijing, China. March 25-28.
51. Савельев В.А. «Компьютерные» болезни и их профилактика / Компьютер пресс. – 2006. – №6. – С. 66-72.
52. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение / М.: Минстрой России, 2016. – 103 с.
53. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2003, - 19 с.
54. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Минздрав СССР, 1988. – 20 с.
55. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 11 с.
56. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2009. –70 с.
57. СанПиН 2971-84. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты, - М.: Минздрав СССР, 1984. – 8 с.
58. ГОСТ 27016-86. Дисплеи на электронно-лучевых трубках. Общие технические условия. – М.: Госстандарт СССР, 1986. –12 с.

59. ТОИ Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере. – М.: Стандартинформ, 2001. – 4 с.
60. ГОСТ 6825-91. Лампы люминесцентные трубчатые для общего освещения. – М.: Госстандарт СССР, 1991. – 242 с.
61. ГОСТ Р 22.0.02-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2016. – 10 с.
62. Свод Правил 12.131330.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: МЧС России, 2009. – 35 с.
63. ГОСТ Р ИСО 9241-1-2007. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDTS). Общее введение. – М.: Стандартинформ, 2008. – 13 с.
64. ГОСТ Р ИСО 9241-2-2009. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDTS). Требования к расположению рабочей станции и осанке оператора. – М.: Стандартинформ, 2010. – 46 с.
65. СН 92-01-92-2021 Сборник сметных норм на геологоразведочные работы. Сборник №7. Лабораторные исследования полезных ископаемых и горных пород. – Комитет по геологии и использованию недр при правительстве Российской Федерации, 2014.

## Приложение А

(обязательное)

### The development history of the carbonate rock classification methodology

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ91	Суворов Антон Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД	Чернова О.С.	д.г. – м.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Уткина А.Н.	к.филос.н.		

### **Problem formulation**

There are many approaches to systematize the lithological and petrophysical parameters of rocks. The classification of rocks into lithological and petrophysical types allows us to distinguish the differences of rocks depending on their structural and textural features, mineralogical composition, epigenetic phenomena and reservoir properties. In general, the logo is a set of rocks with similar filtration-reservoir and lithological-petrophysical properties, as well as a similar genesis of the formation of the void space.

At the present stage of development of the oil and gas industry, a large number of fields in Russia are represented by sections with a carbonate reservoir. In recent years, a large volume of core material has been accumulated, represented by carbonate differences, while the main problem remains the reference classification of this type of reservoir.

A carbonate reservoir is a complexly constructed rock, which is characterized by a variety of structural and textural features, which are characterized by a large number of types of void space, as well as anisotropy of properties associated with their high degree of heterogeneity. On the territory of Russia, the carbonate type of the section was identified in the Timan-Pechora, Volga-Ural, Caspian and East Siberian oil and gas provinces.

There are a large number of works by geological scientists, the purpose of which was the classification of carbonate differences, in particular, limestones. Until now, there is no clear classification scheme that would most fully reflect the entire set of existing lithotypes.

### **Russian classification experience**

Most of the carbonate reservoirs of oil and gas are associated with calcareous-dolomite rocks, for which there are many classification schemes. In general, at the start of their development, they operated with two provisions:

- 1) these rocks consist of 50% or more of carbonate material;
- 2) in limestones, calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) prevails, in dolomites – calcium and magnesium carbonates ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ).

At the same time, the schemes could be divided into three types:

- 1) formal or descriptive (based on the analysis of the features characteristic of carbonate rocks in their current state, without interpretation from the genesis);
- 2) purely genetic (accounting for the formation of carbonate material and its post-sedimentation changes);
- 3) mixed formal-genetic.

The systematization of carbonate deposits began with the first type of schemes. One example of such a classification scheme belongs to V. Kind and S. Okorokov [1933], according to which the analysis of lime-magnesia-clay raw materials was carried out (Figure 1).

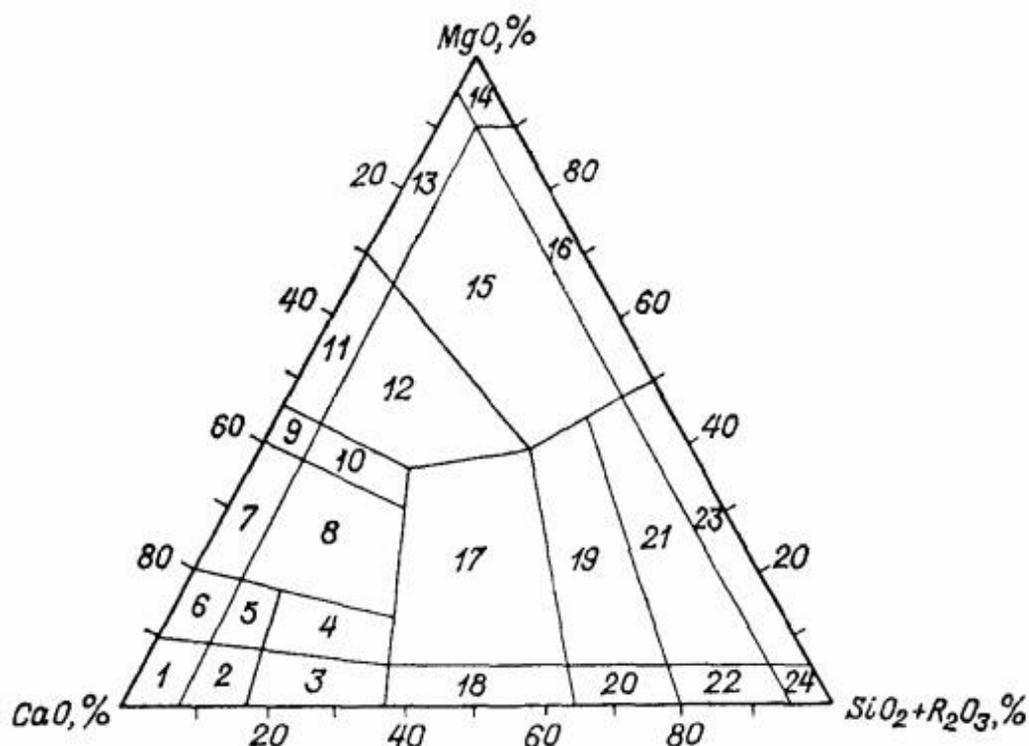


Figure 1. Classification scheme of lime-magnesia-clay raw materials (according to V. Kind and D. Okorokov [1933])

Each field of the diagram corresponded to a certain percentage set of this or that difference, for example, the seventh region – calcareous dolomite, the second region-clay limestone, etc.

In the same year, S. G. Vishnyakov presented a scheme for the separation of rocks of the limestone-dolomite series according to the mineral composition of the carbonate part (Table 1).

Table 1. Scheme of separation of rocks of the limestone-dolomite series (according to S. G. Vishnyakov, 1933)

Mass content, %		Rock
CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub> MgCO <sub>3</sub>	
100-95	0-5	Limestone
95-75	5-25	Dolomitized limestone
75-50	25-50	Dolomitic limestone
50-25	50-75	Lamy dolomite
25-5	75-95	Calcerous dolomite
5-0	95-100	Dolomite

Relatively rare are classifications of a purely genetic type, examples of which are very limited. An example of such a classification scheme is the classification of limestones F. Pettijohn [1949], in which he distinguished four groups of limestones:

- 1) accretionary or autochthonous (formed "in-situ", the construction gradually grew on a solid basis (reefs, bioherms);
- 2) clastic or allochthonous (the formation of these carbonate structures is associated with underwater erosion of calcareous sediments, in particular, reefs, and detritus also plays an important role);
- 3) chemogenic (the main process of formation of this type of limestone is the chemical precipitation of CaCO<sub>3</sub> (MgCO<sub>3</sub>) from marine waters);
- 4) dolomitized or metasomatic (formation occurs due to the processes of partial or complete metasomatic replacement of primary calcite with other mineral compounds).

Purely genetic classifications, as well as formal ones, are not able to fully characterize the calcareous-dolomitic differences, so their combined version "formal-genetic" - most fully meet the requirements of geological practice, since

they take into account the genetic features of carbonate rocks, as well as take into account their structural and textural features.

Mixed formal-genetic classification schemes are based on the following parameters that describe certain traits:

1) formal features: mineral composition, structural features;

2) genetic features: genetic affiliation of the constituent particles; sedimentation, diagenetic and primary features; epigenetic features of the transformation of the carbonate material.

The improved classification scheme of Kirkinskaya V. [1978] was compiled on the basis of the experience of previous applicants (G. Teodorovich, G. Yershova, I. Khvorova, E. Alexandrova, etc.). At its core, it is genetic, but it is based on data on the mineral composition and textural and structural features of rocks.

According to the above diagrams (Figures 3, 4, 5), the rocks of the calcareous-dolomite series are divided into chemogenic, organogenic and clastic. Next, the structural features are considered: grain size, sorting, and roundness. The interpretation of changes in structural features allowed us to identify a number of patterns associated with the genesis of the material: colloidal and fine - grained structures are formed at the stage of sedimentogenesis, fine-grained structures are characteristic of the stage of diagenesis. Coarse- and coarse-grained structures are secondarily formed (epigenetic recrystallization of the material, metamorphic processes).

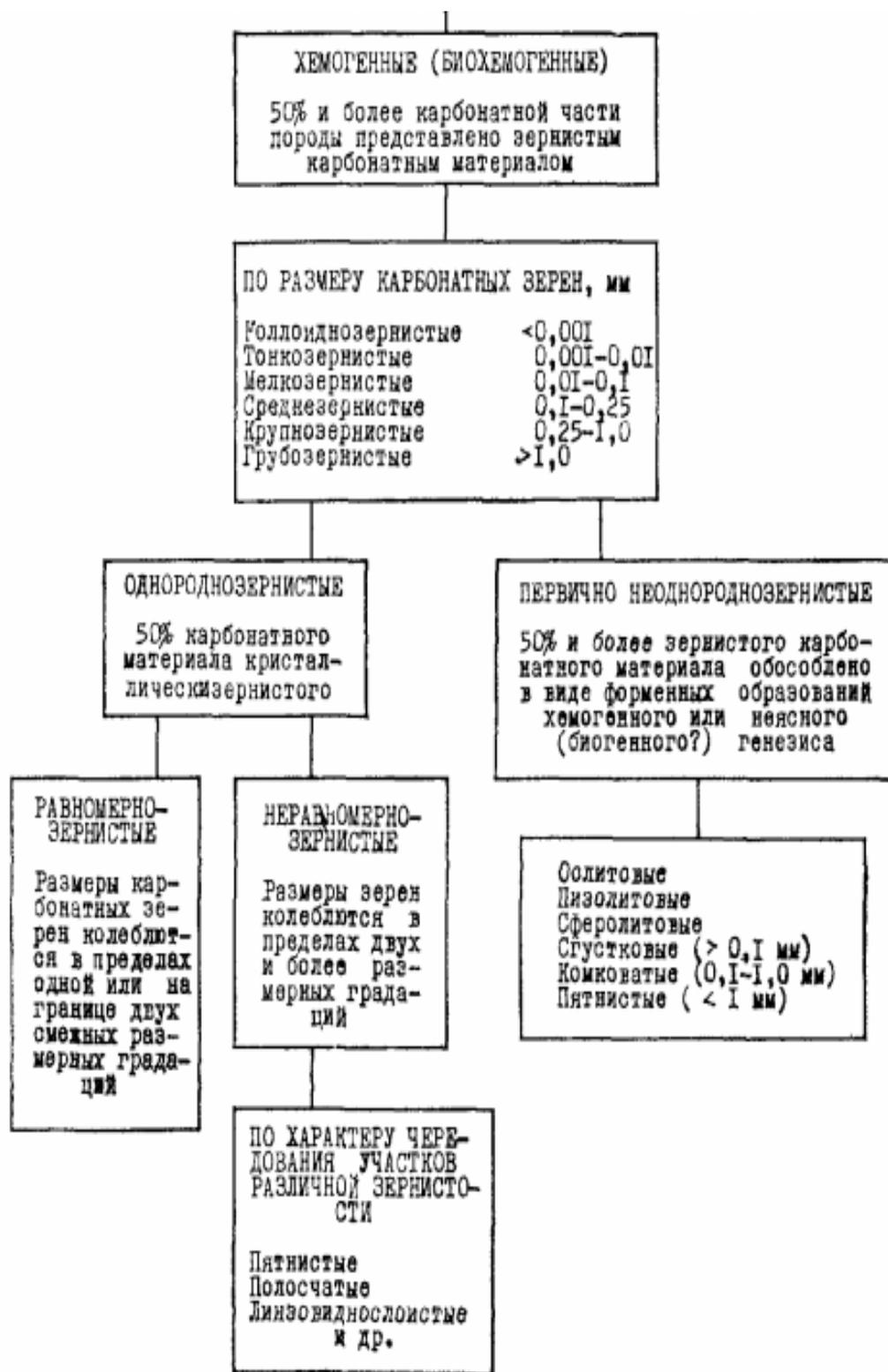


Figure 2. Copy of the carbonate rock classification scheme (V. Kirkinskaya E. Smekhov et al., 1981)

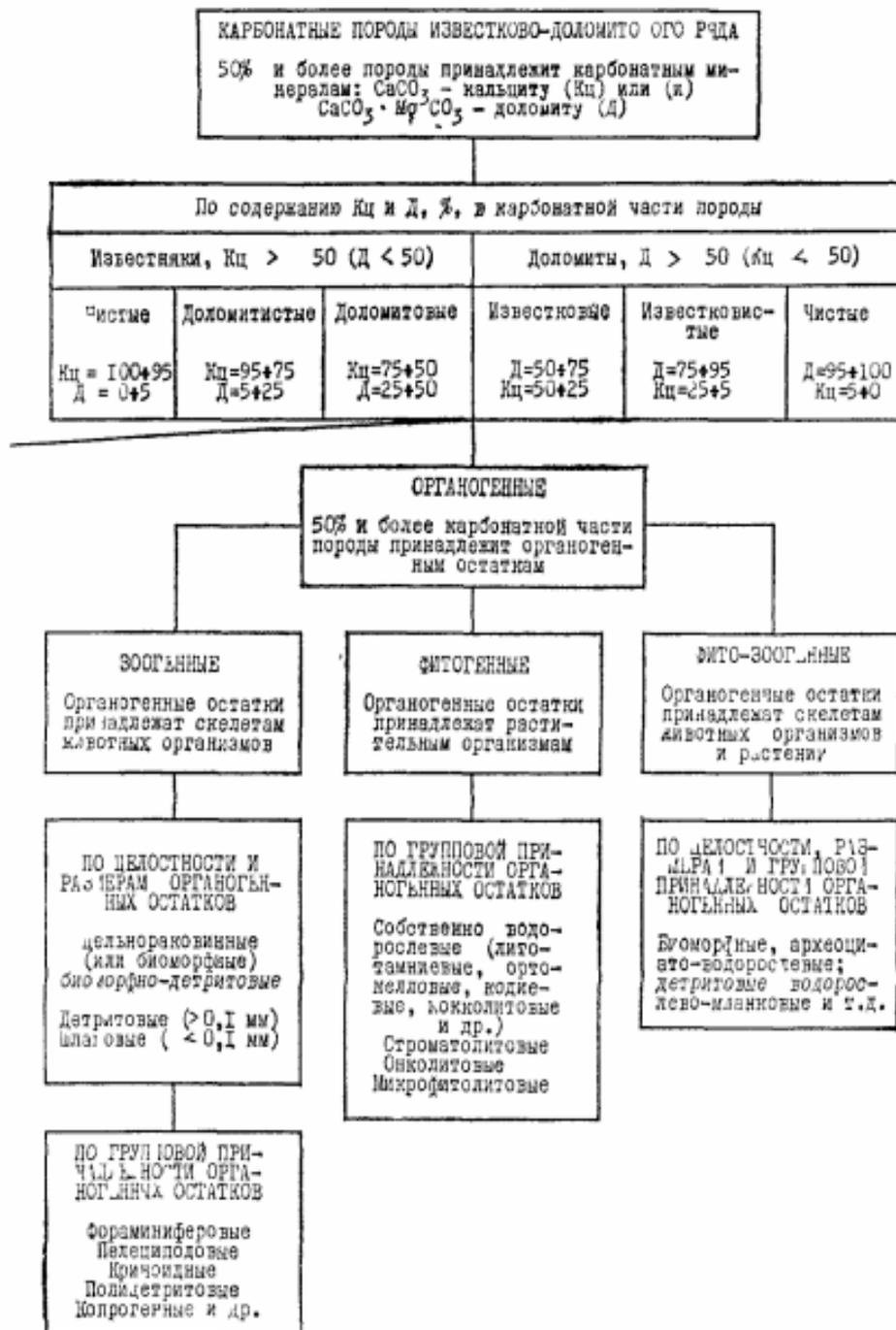


Figure 3. Copy of the carbonate rock classification scheme (V. Kirkinskaya E. Smekhov et al., 1981)

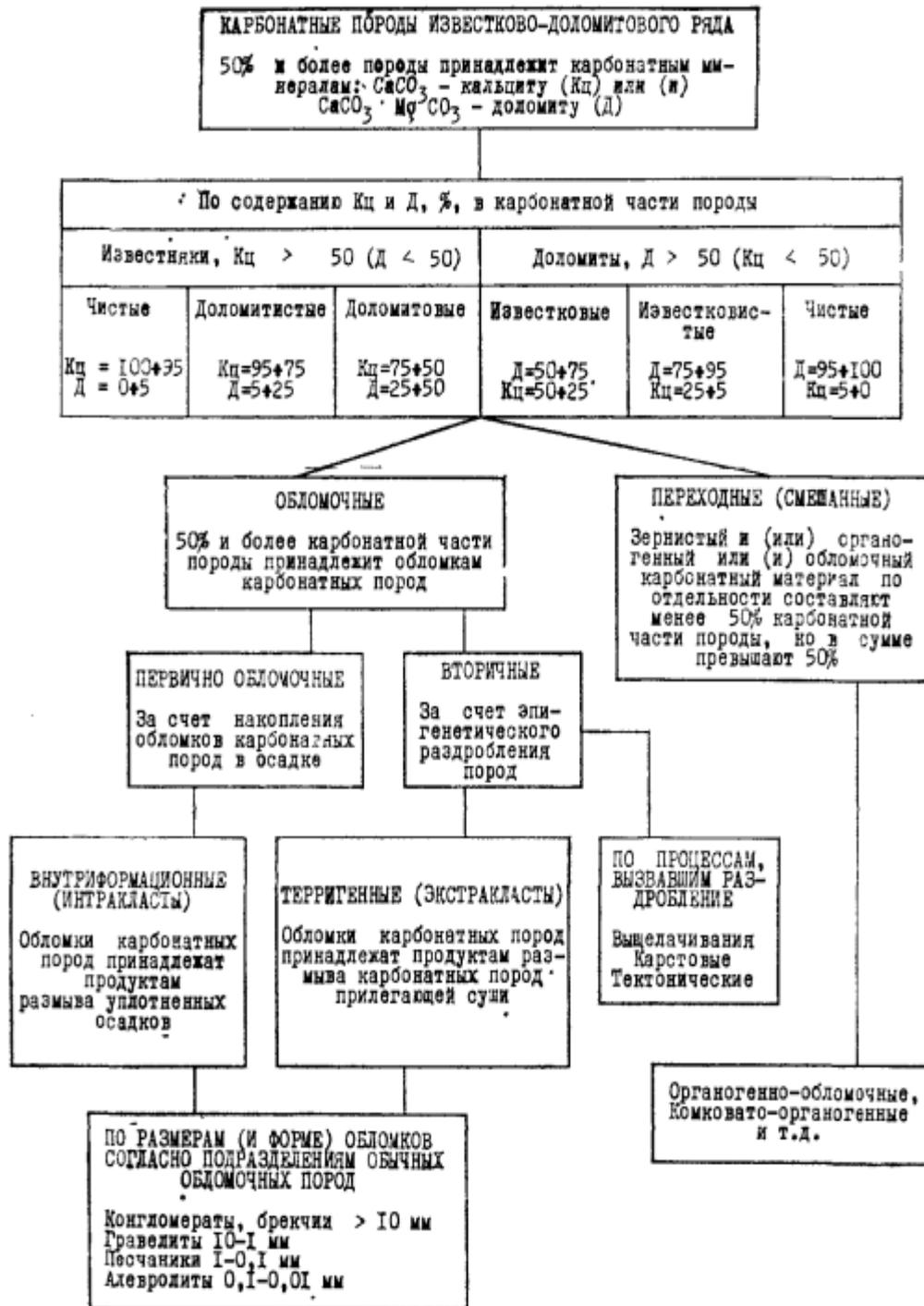


Figure 4. Copy of the carbonate rock classification scheme (V. Kirkinskaya E. Smekhov et al., 1981)

This scheme allows us to characterize the calcareous-dolomite differences to a certain extent, covering their textural and structural features associated with the genesis of the material.

## **Foreign classification experience**

Foreign classification schemes are based on the conditions of formation of the carbonate material. First of all, this is expressed in the interpretation of the hydrodynamic conditions of the sedimentation environment. That is why such schemes are called "energy": when classifying a carbonate material, the hydrodynamic regime of the water medium of the sedimentation medium plays the greatest role.

Since 1948, R. Folk began to develop his classification scheme, in which the carbonate material is divided into three groups of its constituent particles:

1) allochemes – detrital particles, which are divided into interclasts (the result of the erosion of poorly compacted carbonate silts), oolites, skeletal organogenic residues, pellets (fecal remains of organisms);

2) microcrystalline calcite silt (micrite) obtained by chemical or biochemical precipitation;

3) clear-crystal calcite (sparite) – pure grains with a size of more than 10 microns, having a chemogenic nature.

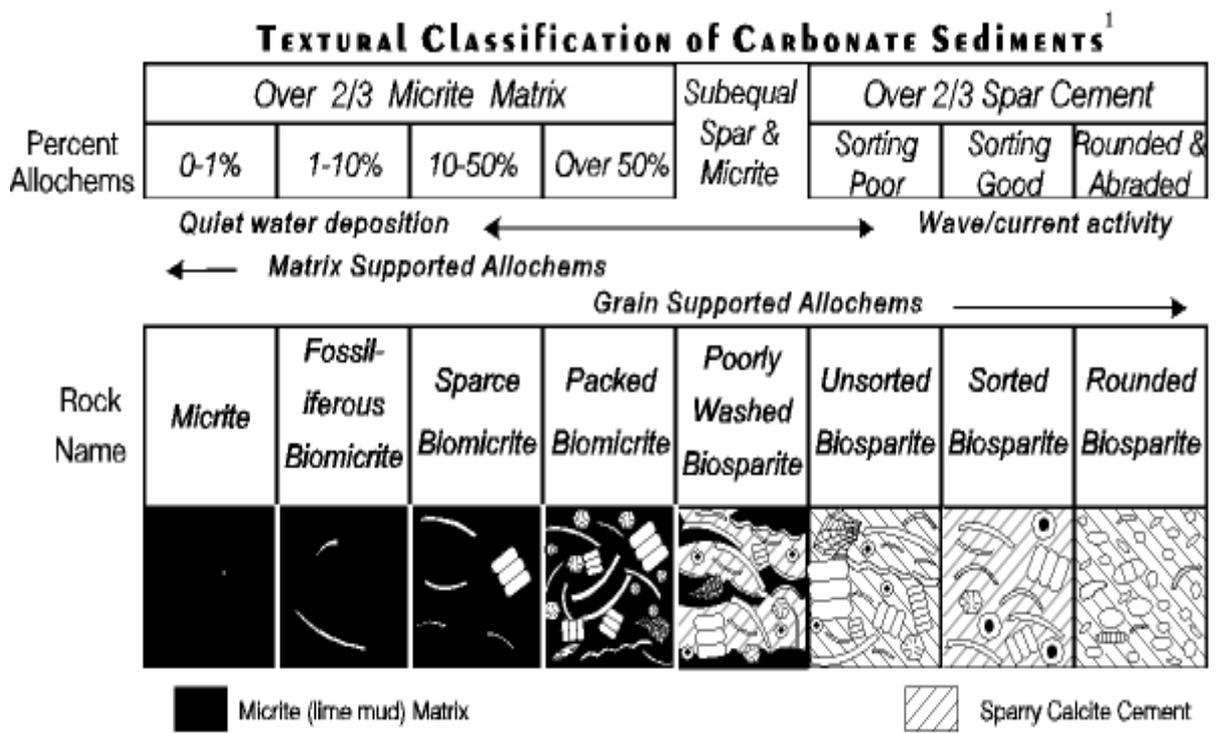
Further, the carbonate material is classified according to the quantitative inclusion of these particles, their proportions are analyzed, according to which limestones are divided into three families:

1) allochem, sparite-deposits, the formation of which is associated with a relatively high-energy water environment (strong currents), due to which the micrite carbonate material is washed out, and the remaining void space is filled with sparite;

2) allochem, micrite, with the presence or absence of spirit in the cement, the formation of which is due to weakly mobile waters;

3) micrite-sediments formed under the influence of calm waters, which are prequalified as dismicrites, if traces of burrowing organisms that are violations were shown in the textural features.

Allochem limestones are further subdivided based on the quantitative ratio of allochem components, micrite and sparite (picture 2).



R. Folk also identifies the fourth family of "biolitic limestones", which are organogenic massifs formed by organisms during life, in their habitat (reefs, bioherms).

The classification of R. Folk was revised and expanded by R. J. Dunham, in which he drew attention to the convenience in naming classes distinguished on the basis of textural features associated with sedimentation environments.

In 1962, Dunham presented his original classification,

which took into account the following factors when allocating classes:

- 1) the presence or absence of lime silt and its mass equivalent;
- 2) assessment of the degree of packing of grains in order to determine the possibility of the existence of the frame;
- 3) determination of the grain type (interclasts (litoclasts), ooids, bioclasts, peloids (peletoids), aggregated lumps (grapestones), oncoids);
- 4) interpretation of the structural features of the grain (size, roundness, shell);
- 5) carbonate formations of primary biogenic origin.

Based on these factors, Dunham identified six textural names of classes of carbonate material (Table 3).

Table 3. Original Dunham classification

Original Dunham classification (Dunham 1962)										
Depositional texture recognizable					Original components were bound during deposition	Depositional texture not recognizable				
Original components not bound during deposition			Lacks mud and is grain-supported	Original components were bound during deposition			Depositional texture not recognizable			
Contains mud		Grain-supported						Lacks mud and is grain-supported	Original components were bound during deposition	Depositional texture not recognizable
Mud-supported										
Less than 10% grains	More than 10% grains	Grain-supported	Lacks mud and is grain-supported	Original components were bound during deposition	Depositional texture not recognizable					
Mudstone	Wackestone					Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalline Carbonate	

This classification has a significant disadvantage – it does not take into account the type of debris and cement. Also, the scheme is not fully detailed to be suitable for describing organically bound and coarse-grained limestones.

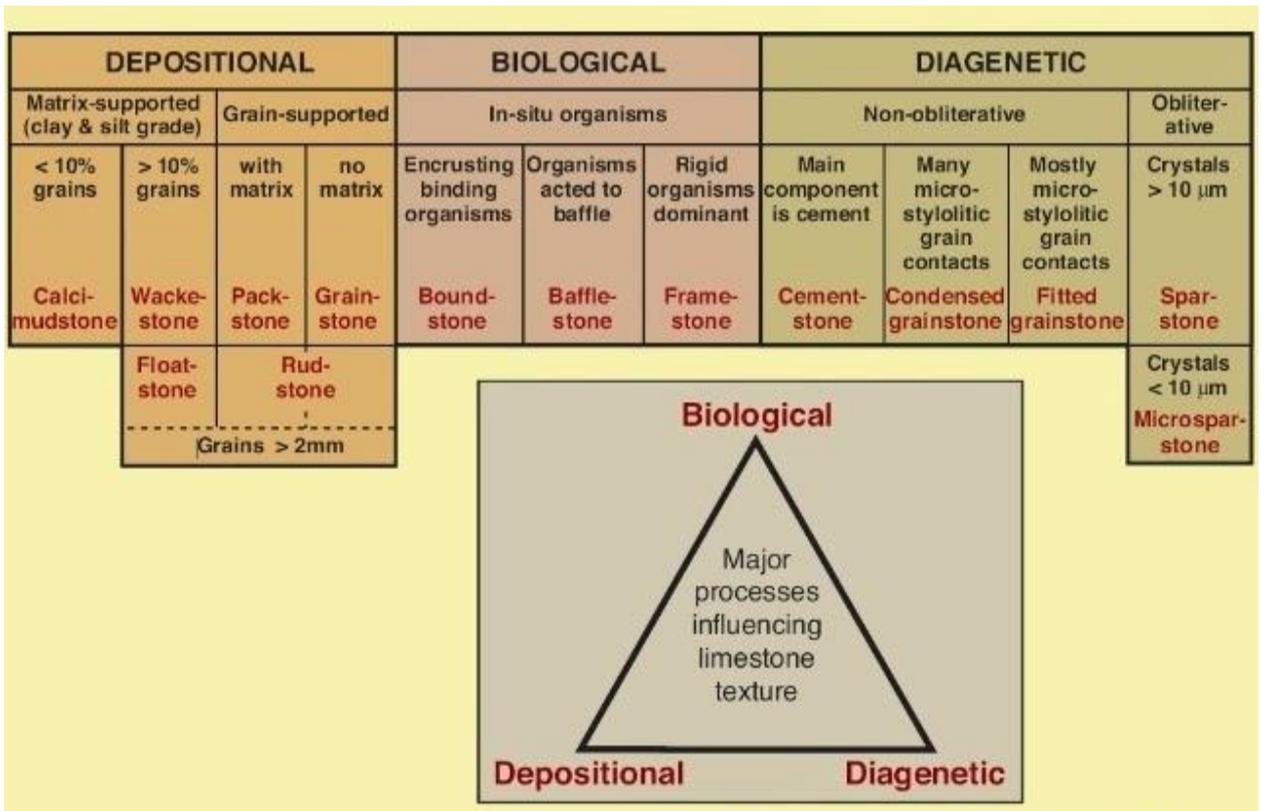
Based on the above problems, scientists Embry and Clovan presented a Modified Dunham classification scheme in 1971. The group of boundstones was divided into the classes of rudstone and floutstone based on the analysis of the skeletal structure: for rudstones, a skeletal structure is characteristic, composed of psephite fragments with a small amount of the main mass or its complete absence; for floutstones, the presence of "floating" calcareous pebbles in the main fine-grained mass is characteristic. A genetic interpretation of the bond type was also added for the boundstones (Table 4).

Table 4. Modified Dunham classification

<b>Modified Dunham Classification (Dunham, 1962; Embry and Clovan, 1971)</b>					
Allochthonous Limestones - No evidence that the original components were bound together at the time of deposition					
Less than 10% of the components are > 2 mm				Greater than 10% of the components are > 2 mm	
Contains lime mud (<30 μm)			No lime mud		
Mud-supported		Grain-supported		Matrix-supported	Grain-supported by the >2 mm size fraction
Less than 10% grains (>30 μm - 2 mm)	Greater than 10% grains (>30 μm - 2 mm)				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Floatstone	Rudstone
Autochthonous Limestones - Original components were organically-bound during deposition					
Bound by organisms that act as baffles	Bound by organisms that encrust and bind - the rock is supported by the matrix		Bound by organisms that build a rigid framework - the rock is supported by the fossil framework		
<u>Bafflestone</u>	<u>Bindstone</u>		<u>Framestone</u>		

This classification is most widely used among petroleum lithologists in the interpretation of carbonate material

Based on the Dunham classification, another modification was obtained, proposed by Wright in 1992, in which he reveals some diagenetic patterns (picture 5).



Picture 5. Revised classification by Wright

The further development of the field of classification of carbonate material is mainly associated with the revision and modification of the classifications of Dunham, Folk, Embry and Klovan. Exceptional at this stage of the development of this field is the work of Flugel (2010), which considers all the experience accumulated before him, and also pays great attention to the practical implementation of the typification of the carbonate reservoir. In his work, he provides a brief guide for the description of core materials, in particular, sections, and also gives all the significant procedural points that are somehow affected by the classification of carbonate material.