

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

*На правах рукописи*



**Евдокимов Николай Владимирович**

**Особенности строения и формирования нижнепермских  
природных резервуаров северной части Печоро-Колвинского  
авлакогена**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Москва, 2020

Работа выполнена на кафедре геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

- Научный руководитель (консультант)** – *Жемчугова Валентина Алексеевна, доктор геолого-минералогических наук, профессор*
- Официальные оппоненты** – *Кузнецов Виталий Германович, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры литологии РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина*
- Соборнов Константин Олегович, доктор геолого-минералогических наук, главный геолог ООО «Северо-Запад»*
- Тимонина Наталья Николаевна, кандидат геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией геологии нефтегазоносных бассейнов ИГ Коми НЦ УрО РАН*

Защита диссертации состоится «04» декабря 2020 г. в 14 часов 30 мин. на заседании диссертационного совета МГУ.04.06 Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, аудитория 608.

E-mail: poludetkinaelena@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27). Со сведениями о регистрации участия в защите в удаленном интерактивном режиме и с диссертацией в электронном виде также можно ознакомиться на сайте ИАС «ИСТИНА»:

<http://istina.msu.ru/dissertations/328064230>

Автореферат разослан «02» ноября 2020 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат геолого-минералогических наук

Е.Н. Полудеткина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы и степень разработанности темы.** Северная часть Печоро-Колвинского авлакогена представляет собой одну из наиболее богатых по запасам углеводородов (УВ) нефтегазоносных областей (НГО) Тимано-Печорского бассейна (ТП НГБ). Однако разведанные здесь месторождения, среди которых крупные Ярейюское, Южно-Хыльчуйское и Лаявожское, были открыты еще во второй половине XX века и большинство из них находится в разработке десятки лет, что приводит к неуклонному снижению объемов добычи. Общая тенденция «старения» бассейна повышает актуальность поиска и разведки новых месторождений и залежей нефти и газа как на слабоизученных территориях, так и в пределах уже разрабатываемых участков с развитой инфраструктурой, способной снизить себестоимость добычи.

Несмотря на широкий стратиграфический интервал нефтегазоносности, основные перспективы северной части Печоро-Колвинского авлакогена связаны со средневизейско-нижнепермским нефтегазоносным комплексом (НГК), большую часть которого составляют карбонатные породы. Привлекательность нижнепермских карбонатов как элементов углеводородных систем обусловлена их высоким емкостным потенциалом, предопределенными условиями накопления карбонатных осадков – будущих коллекторов, и их благоприятным пространственным положением по отношению к кунгурской региональной глинистой покрывке. Кроме того, с верхнекаменноугольно-нижнепермскими породами ассоциируются многочисленные ловушки для углеводородных флюидов, приуроченные к разномасштабным органогенным постройкам. Несомненно, положительным фактором является и относительно небольшая глубина залегания этих ловушек, как правило, не превышающая 2.5-3 км.

Помимо практического значения, органогенные постройки ассельско-сакмарского возраста, относимые к карбонатным холмам (James, Vorque, 1992), представляют собой объект научного интереса, поскольку в их строении зашифрованы особенности развития раннепермского органического мира, климата, колебаний уровня Мирового океана и многие другие факторы, определяющие специфику карбонатного осадконакопления не только в Печорском море, но и на всей планете.

Впервые нижнепермские карбонатные холмы ТП НГБ привлекли внимание геологов еще в начале прошлого века, когда их описанием на Полярном Урале занимались В.А. Варсанофьева, Г.А. Дуткевич и Н.Г. Чочиа. С того времени десятки исследователей изучали стратиграфию, палеоэкологию, литологическое и фациальное строение этих отложений. В наиболее актуальных трудах, посвященных

нижнепермским карбонатам, отмечены особенности распространения органогенных построек в пределах бассейна и прилегающей акватории (Важенин, Иоффе, 1986; Zhemchugova, Shamell, 1994; Жемчугова, 1998; 2000, 2014; Кузнецов, 2000) и, в частности, описана приуроченность зон их развития к областям палеоподнятий и бровок склонов; выявлена генетическая типизация карбонатных холмов, в составе которых доминирующую роль могут играть известняки микробиального, либо скелетного происхождения (Антошкина, 2008; Антошкина, Пономаренко, 2014; Жемчугова и др., 2020); детально описаны литологические особенности строения связанных с этими постройками резервуаров, выполнен прогноз их распространения, послуживший основой для уточнения перспектив нефтегазоносности ТП НГБ (Жемчугова, 1998; 2002 и др.).

Колоссальное количество узкоспециализированной информации, подготовленной учеными-геологами по различным вопросам, связанным с нижнепермскими карбонатами, стимулирует обобщение уже накопленных материалов и проработку недостаточно изученных тем. На настоящий момент открытым остается вопрос о типизации нижнепермских органогенных построек северной части Печоро-Колвинского авлакогена, особенностях их строения, развития и распространения в пространстве и времени. Особое значение для нефтегазовой индустрии региона имеет проблема прогноза резервуарного потенциала циклично построенных нижнепермских карбонатных толщ, сложность строения которых не позволяет эффективно проводить геологоразведочные и промысловые работы без детального изучения специфики осадконакопления слагающих их отложений. Обозначенные вопросы определяют актуальность настоящей работы, в которой предпринята попытка дать на них ответы.

**Целью работы** являлось выявление зависимостей между особенностями строения нижнепермских карбонатных отложений, отражающими условия их накопления, и пространственным положением и качеством приуроченных к ним природных резервуаров северной части Печоро-Колвинского авлакогена.

Для достижения обозначенной цели решались следующие **задачи**:

1. Обобщение материалов по геологическому строению и нефтегазоносности северной части Печоро-Колвинского авлакогена;
2. Определение структурных компонентов и текстурно-структурных особенностей пород;
3. Генетическая типизация отложений ассельско-сакмарского возраста;
4. Выполнение циклического и фациального анализов изучаемых карбонатных толщ в пределах района исследования;

5. Реконструкция условий осадконакопления ассельско-сакмарских отложений северной части Печоро-Колвинского авлакогена и разработка литолого-фациальных схем;
6. Анализ фильтрационно-емкостных характеристик отложений и построение петрофизических зависимостей;
7. Разработка карт-схем прогноза качества коллекторов.

**Объектом исследования** выступают нижнепермские карбонатные отложения северной части Печоро-Колвинского авлакогена Тимано-Печорского бассейна.

**Предметом исследования** является седиментационно-емкостное моделирование ассельско-сакмарских карбонатов, объединяющее сведения об их составе, строении, генетических особенностях, постседиментационных преобразованиях и резервуарном потенциале.

**Научная новизна.** Впервые для нижнепермских карбонатных отложений севера Печоро-Колвинского авлакогена доказано существование двух типов органогенных построек: скелетных и микробиальных холмов, формировавшихся в результате жизнедеятельности разных групп бентосных организмов, развитие которых контролировалось глубиной раннепермской акватории.

Детальное изучение нижнепермских пород и реконструкция условий их формирования позволили с новых позиций оценить цикличность карбонатного осадконакопления и выявить основные этапы его развития. Установленные закономерности вертикальной смены фаций в разрезах скважин позволили разработать авторскую модель седиментационных циклитов, в структуре которых отображена эволюция раннепермской седиментации.

Исходя из сравнительного анализа современных обстановок осадконакопления и геологической летописи, зашифрованной в строении разрезов, разработана серия седиментационных моделей раннепермских ископаемых карбонатных тел.

Выявлена и проиллюстрирована взаимосвязь между особенностями распространения природных резервуаров, фациальным районированием и циклическим строением нижнепермских карбонатных толщ.

**Защищаемые положения:**

1. В нижнепермском карбонатном комплексе северной части Печоро-Колвинского авлакогена распространены органогенные постройки, которые по доминирующему типу слагающих их каркасных известняков отнесены к скелетным и микробиальным холмам. Формирование первых обеспечивалось жизнедеятельностью бентосных скелетных организмов, вторые развивались за счет деятельности микробиальных сообществ, продуцировавших карбонатный осадок и укреплявших субстрат биоиндуцированным цементом.

2. В разрезах ассельско-сакмарской карбонатной толщи выделяется семь седиментационных циклитов, сложенных генетически обусловленными последовательностями фаций и разделенных поверхностями несогласий. Каждому из циклитов свойственна индивидуальная картина фациальной зональности, отражающая морфологию дна бассейна, палеобатиметрию и изменения уровня моря.
3. Емкостной потенциал нижнепермских карбонатов определяется их седиментационными особенностями, а его изменения контролируются фациальной неоднородностью. По сочетанию оценочных параметров качества коллекторы разделяются на три класса: высококачественные, приуроченные к фации скелетных холмов; среднего качества, наиболее характерные для карбонатных отмелей; низкокачественные, относящиеся к отложениям фации микробиальных холмов и шельфовых равнин.

**Теоретическая и практическая значимость.** На основании выполненных автором исследований разработана седиментационно-емкостная модель ассельско-сакмарских карбонатных отложений, логически объединившая основные обстановки осадконакопления, характерные для нижнепермского этапа развития северной части Печоро-Колвинского авлакогена, и учитывающая их коллекторский потенциал. Полученные результаты могут быть использованы при проведении поисково-разведочных работ с целью снижения геологической неопределенности, уточнения строения нижнепермских карбонатных толщ и повышения достоверности прогнозов фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) отложений.

**Фактический материал и личный вклад.** В основу исследования положены результаты изучения более 750 метров кернового материала и свыше 1500 петрографических шлифов. Используются данные геофизических исследований 78 скважин, проанализированы материалы 2D и 3D сейсморазведки, а также результаты петрофизических анализов.

**Достоверность результатов и методология диссертационного исследования.**

Достоверность полученных результатов обеспечивается:

- Обширной базой исходного фактического материала;
- Использованием макроскопических и микроскопических описаний пород, замеров показателей пористости и проницаемости цилиндрических образцов, компьютерной томографии, электронной микроскопии;
- Применением в работе общепризнанной методики седиментационно-емкостного моделирования;

- Комплексированием результатов разномасштабных исследований в единой модели, позволяющей учесть многочисленные аспекты распределения свойств отложений.

**Апробация работы.** Полученные в ходе исследования сведения обсуждались на конференциях российского и международного уровня: Всероссийское литологическое совещание «Геология рифов» (Сыктывкар, 2020); ГеоЕвразия-2020. Современные технологии изучения и освоение недр Евразии (Москва, 2020); Геология и минерально-сырьевые ресурсы северо-востока России. XVII Геологический съезд Республики Коми (Сыктывкар, 2019); «Ломоносовские чтения - 2019». Секция «Геология» (Москва, 2019); 14-я международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2019); Международная геолого-геофизическая конференция ГеоЕвразия 2019 (Москва, 2019); ЛОМОНОСОВ-2018 (Москва, 2018); Международная научно-практическая конференция «Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ–РГГРУ)» (Москва, 2018); Международная геолого-геофизическая конференция и выставка «Современные технологии изучения и освоения недр Евразии» ГеоЕвразия-2018 (2018).

**Публикации.** Основные результаты, полученные при подготовке диссертационного исследования, опубликованы в 3 статьях в журналах, входящих в Перечень, рекомендованный для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 25.00.12 и индексируемых в базах данных Web of Science Core Collection.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 170 страницах, включает 80 рисунков, 7 таблиц. Список литературы содержит 93 наименования.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность и признательность своему научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук, профессору *Жемчуговой Валентине Алексеевне*. Подготовке данной работы в огромной степени способствовал коллектив ООО «НПП Спецгеофизика» в лице Бондаря Е.В., Жемчуговой Т.А., Лебедько В.А., Панкова В.В., Масловой Е.Е, оказывавших содействие при отборе фактического материала, проведении исследований и оформлении их результатов. Отдельную благодарность автор выражает заведующей кафедрой геологии и геохимии горючих ископаемых МГУ, доктору геолого-минералогических наук, профессору Ступаковой А.В. за методические рекомендации, предоставленные в процессе подготовки работы. При проведении петрофизических исследований особо важный вклад внес сотрудник кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых МГУ Хамидуллин Р.А.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. Геологическое строение северной части Печоро-Колвинского авлакогена**

В главе приведено краткое описание стратиграфии и тектонического строения северной части Печоро-Колвинского авлакогена, рассмотрены основные особенности нефтегазоносности района исследования.

Изучаемые отложения относятся к средневизейско-нижнепермскому нефтегазоносному комплексу и включают в себя ассельский, сакмарский и нижнюю часть артинского яруса, выполненные полифациальными толщами известняков, кровля которых залегает на глубинах от -2.3 до -2.7 км. Их накопление происходило в обстановках обширного карбонатного рампа на фоне тектонической активизации, вызванной коллизионными процессами в пределах Уральского горно-складчатого сооружения, пришедшимися на начало позднегерцинского этапа тектогенеза. Превращение пассивной окраины континента в складчато-орогенную область отразилось в тектонической и вызванной ею морфологической неоднородности раннепермского шельфа и привело к оформлению системы валов и мегавалов в плитной части бассейна.

Область исследования затрагивает две тектонические структуры первого порядка: Колвинский мегавал на востоке, представленный Ярейюским и Харьгинским валами и Денисовский прогиб на западе, включающий в себя Лайский вал, Усть-Печорскую, Верхнелайскую и Тибейвисскую депрессии.

### **Глава 2. Современные представления об особенностях строения и формирования карбонатных холмов и история их изучения в Тимано-Печорском нефтегазоносном бассейне**

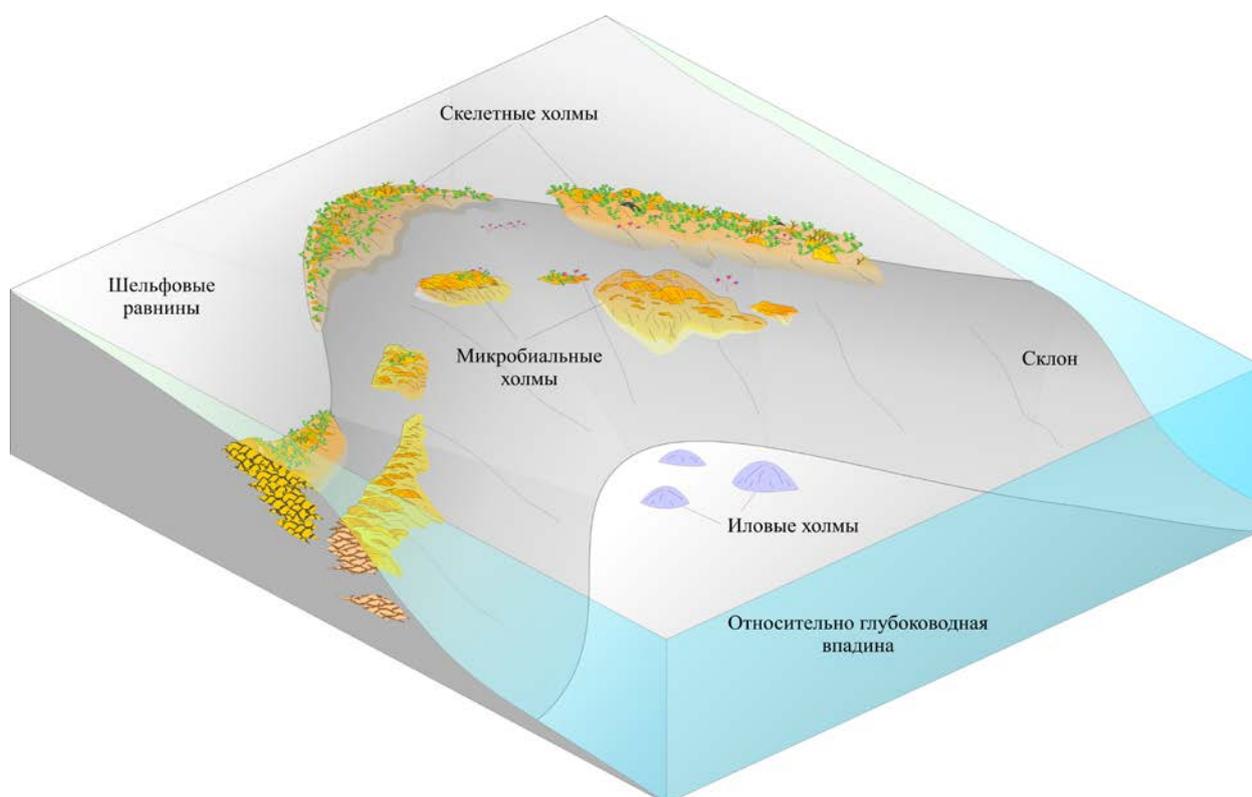
Глава содержит результаты анализа представлений об особенностях строения карбонатных холмов и процессах, лежащих в основе их формирования. Приведены систематизированные сведения, полученные отечественными и зарубежными авторами при изучении нижнепермских построек Полярного Урала, Баренцевоморского бассейна и бассейна Свердруп северной Канады.

Под термином «карбонатный холм» подразумеваются органогенные постройки, в формировании которых, в отличие от классических рифов, не принимают участия массивные каркасообразующие организмы, развитие бентосного сообщества завершается на пионерной стадии экологической сукцессии, а в строении отсутствуют передовые и тыловые шлейфы (James, Boque, 1992). Причинами

широкого распространения карбонатных холмов в определенные периоды истории Земли были специфические палеоэкологические обстановки, низкое биоразнообразие и вымирание основных групп рифостроителей.

Пояс позднекаменноугольно-раннепермских карбонатных холмов, развивавшихся на северном шельфе Пангеи, имеет внушительные размеры и протягивается от арктической Канады, через север Гренландии, Шпицберген и Баренцево море до Тимано-Печорского бассейна (Watkins and Wilson, 1989; Stemmerik, 2000 и др.).

Наиболее детальное изучение этих природных образований проведено в естественных обнажениях Полярного Урала и бассейна Свердруп, где выявлены различные типы органогенных построек (Рис. 1), установлены особенности их развития в пространстве и времени, подготовлены литологические описания слагающих их пород и описана встречающаяся фауна.



*Рисунок 1. Распределение различных типов органогенных построек на раннепермском шельфе (Евдокимов, Жемчугова, 2020)*

Специфика распространения нижнепермских органогенных построек в обстановках карбонатного рампа наглядно проиллюстрирована результатами сейсмических исследований в Баренцевоморском бассейне, где карбонатные холмы появились в московское время и развивались до конца сакмарского, достигая мощности в сотни метров. Цепочки, состоящие из расположенных близко друг к

другу или вовсе объединенных построек, имеют ширину до 3 км, протягиваются на десятки километров и, многократно пересекаясь, образуют своеобразную «сеть». Такая «сеть» на внутреннем рампе может покрывать до 65% поверхности дна бассейна, а на внешнем – до 35% (Elvebakk et. al., 2002).

Рассмотрение нижнепермских карбонатных холмов различных осадочных бассейнов позволило сделать обобщения и выводы, проливающие свет на особенности этих уникальных природных образований:

1. По генетическому признаку карбонатные холмы разделяются на три типа: скелетные, микробиальные и иловые. Они формировались в различных по батиметрии и энергии водной среды условиях и существенно отличаются по своему строению, особенностям развития и литологическому составу.
2. Основным фактором, влиявшим на рост карбонатных холмов, была степень гидродинамической активности: наиболее мелководны скелетные холмы, занимавшие зоны немного ниже базиса нормального волнового воздействия; глубже располагались микробиальные постройки, а иловые тяготели к наиболее спокойным обстановкам у нижней границы эвфотической зоны.
3. Активное развитие подавляющего большинства построек происходило на этапах повышения уровня моря. При этом паттерны роста холмов напрямую зависели от скорости происходящих изменений. При быстром подъеме уровня моря преобладал вертикальный рост, а при медленном развитии постройки происходило за счет наращивания ее периферийных зон.
4. Карбонатные холмы, подобно классическим рифам, могут формировать сложные и весьма крупные морфологические формы рельефа на дне бассейна, такие как цепочки, «сеть» и т.д. Однако эти образования, в отличие от рифов, не способны оказывать влияние на гидродинамическую обстановку в регионе.
5. Большинство построек тяготеют к неоднородностям морского дна, располагаясь вдоль бровок склонов, на локальных поднятиях или рядом с тектоническими нарушениями.
6. Коллекторский потенциал слагающих карбонатные холмы отложений напрямую зависит от их генетических особенностей и включает как первичную пористость, так и пустотное пространство, сформированное под воздействием вторичных процессов.

### Глава 3. Методика и теоретические основы исследования

В основе настоящего исследования лежит методика седиментационно-емкостного моделирования, представляющего собой одну из ветвей комплексного историко-геологического метода. Она позволяет прогнозировать распространение отложений, изменение их состава и свойств в пространстве и времени. В соответствии с выбранной методикой, диссертационное исследование было разделено на три этапа.

На первом этапе проводились исследования, направленные на выявление особенностей строения пород. Сюда вошли биостратиграфические и литолого-петрографические анализы, по результатам которых сформировалось первичное представление о строении и составе изучаемого геологического объекта.

На втором этапе основной целью стало выявление седиментационных особенностей изучаемой толщи с помощью построения соответствующей модели. Первым шагом к ее подготовке является выделение в разрезах скважин седиментационных циклитов. В большинстве случаев циклиты отделены друг от друга резкими границами, соответствующими перерывам в осадконакоплении и проявляющимися в виде поверхностей «твердого дна» и/или глинистых интервалов с обломками подстилающих пород. На следующем шаге проводится корреляция седиментационных циклитов, в которой основную роль играет сравнительная характеристика их строения: синхронные циклиты имеют общую для всех фациальных зон последовательность смены литотипов и фаций, отражающую единую направленность развития бассейна седиментации. Затем результаты литологических исследований комплексуются с материалами интерпретации скважинной геофизики и сейсморазведки, что в итоге позволяет экстраполировать результаты из скважин на межскважинное пространство. Результатом вышеописанных операций являются карты-схемы фациальной зональности для каждого этапа осадконакопления (и соответствующего ему седиментационного циклита).

Третий этап седиментационно-емкостного моделирования – разработка емкостной модели целевого интервала. Основную роль в формировании ФЕС карбонатных отложений играют седиментационные признаки, заложенные в осадочную систему еще на этапе осадконакопления. Поэтому для создания емкостной модели была проведена фациальная диагностика коллекторов и выявлены особенности строения их пустотного пространства, определены зависимости между седиментационными характеристиками и основными параметрами ФЕС. При этом использовался весь комплекс определений ФЕС, включающий как лабораторные методы, так и петрофизические зависимости.

#### Глава 4. Строение, свойства и генетическая типизация нижнепермских карбонатов северной части Печоро-Колвинского авлакогена

Глава содержит в себе результаты литологических исследований кернового материала: приведены описания литотипов, фаций и фациальных комплексов нижнепермских карбонатов; выделены седиментационные циклиты и проанализированы изменения их состава и строения в пространстве и времени.

В ассельско-сакмарских отложениях нижней перми северной части Печоро-Колвинского авлакогена выделяется три основных фациальных комплекса, которым соответствуют ассоциации различных по вещественному составу и структурно-генетическому наполнению типов пород:

1. Комплекс органогенных построек, включающий в себя фации скелетных и микробиальных холмов;
2. Комплекс относительно глубоководных впадин, состоящий из фаций склона и собственно относительно глубоководной впадины;
3. Комплекс карбонатных отмелей, включающий в себя фации шельфовых равнин и карбонатных отмелей.

Переходы между этими комплексами фиксируют последовательное ослабление влияния на седиментацию глубины акватории, увеличение динамической активности водной среды, вариации скорости образования карбонатного материала. Тем самым, для каждой обстановки осадконакопления характерен специфический парагенетически связанный набор фаций, каждой из которых, в свою очередь, соответствует определенный парагенез литотипов (Жемчугова и др., 2020).

Все нижнепермские карбонатные отложения были разделены на 17 литотипов различного состава, сгруппированные по структурному признаку в ассоциации каркасных, зернистых и зернисто-микритовых известняков.

Каркасные известняки подразделяются на два класса: скелетные и микробиальные. Среди первых основную роль играют водорослево-палеоаплизиновые разности, сложенные фрагментами *Palaeoaplysina* и филлоидных водорослей, которые образуют каркас породы (Рис. 2). Вторые формировались в результате деятельности микробиальных сообществ, не только производивших осадок, но и обеспечивавших укрепление субстрата и быструю посмертную биологически индуцированную инкрустацию остатков организмов (Рис. 3). Зернистые и зернисто-микритовые известняки распространены в рассматриваемых толщах повсеместно и слагают большую часть разрезов. Они состоят из полигенных зерен, среди которых преобладают биокласты, представленные обломками мшанок, члениками криноидей, фрагментами зеленых и багряных водорослей, раковинами

фораминифер, реже – фрагментами раковин брахиопод, остракод, пелеципод. Пелоидный материал в качестве породообразующего встречается редко и обычно он дополняет детритовый компонент. Цементом служит микритовый либо спаритовый кальцит.

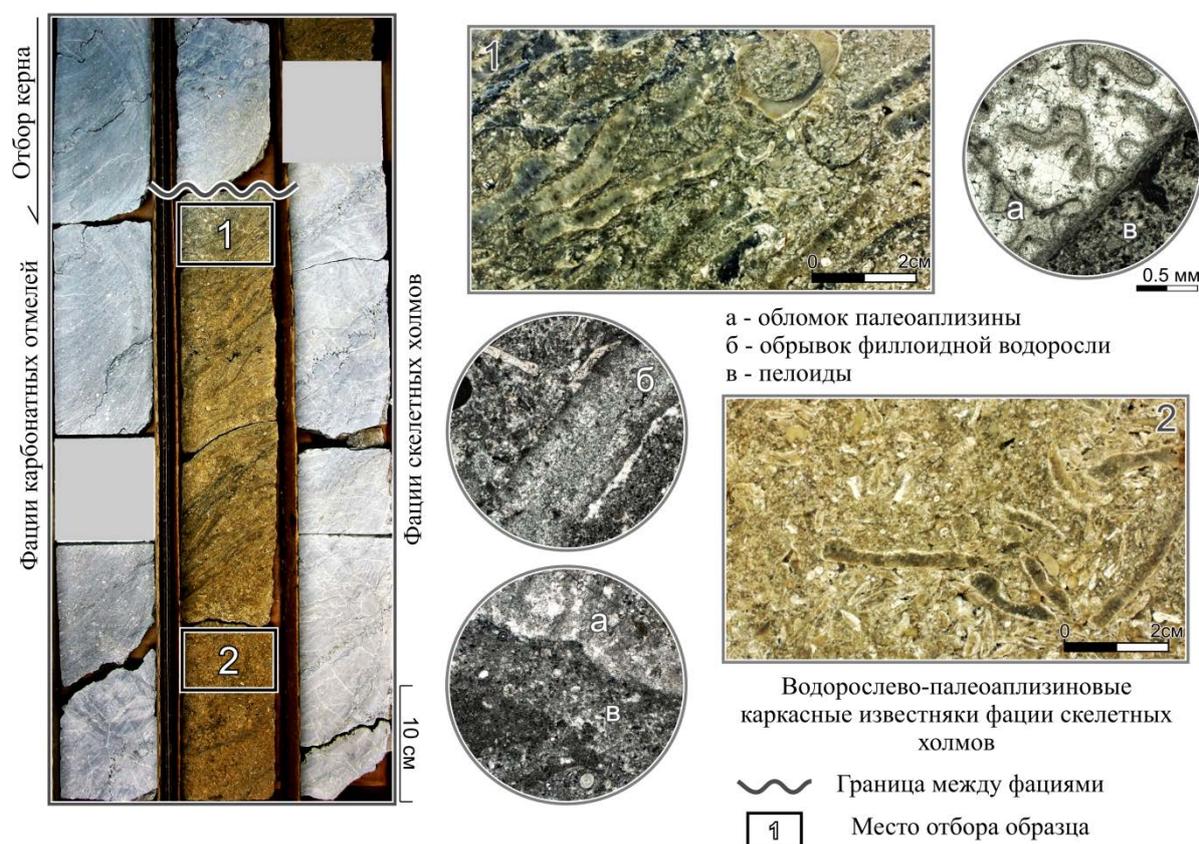


Рисунок 2. Макро- и микроскопическая характеристика каркасных известняков скелетных холмов (Жемчугова и др., 2020)

Скелетные известняки играют основную роль в строении скелетных холмов, представлявших собой на момент роста сложные экосистемы, развитие которых во многом зависело от количества производимого ими не только каркаса, но и карбонатного осадка. На скорость их формирования, морфологию и длительность существования оказывали влияние три основных фактора: динамика водной среды, скорость роста колонии и количество осаждаемого материала.

Микробиальные известняки доминируют в одноименном типе построек, отличавшихся от скелетных медленным ростом и слабой механической связью между организмами. Из-за этого они не могли противостоять сильным волновым движениям воды, но хорошо улавливали мелкодисперсный материал, который заполнял промежутки между организмами. Следовательно, их формирование могло происходить только в условиях с низкой энергией водной среды, существенно ниже глубин волновой абразии морского дна (Евдокимов, Жемчугова, 2020).

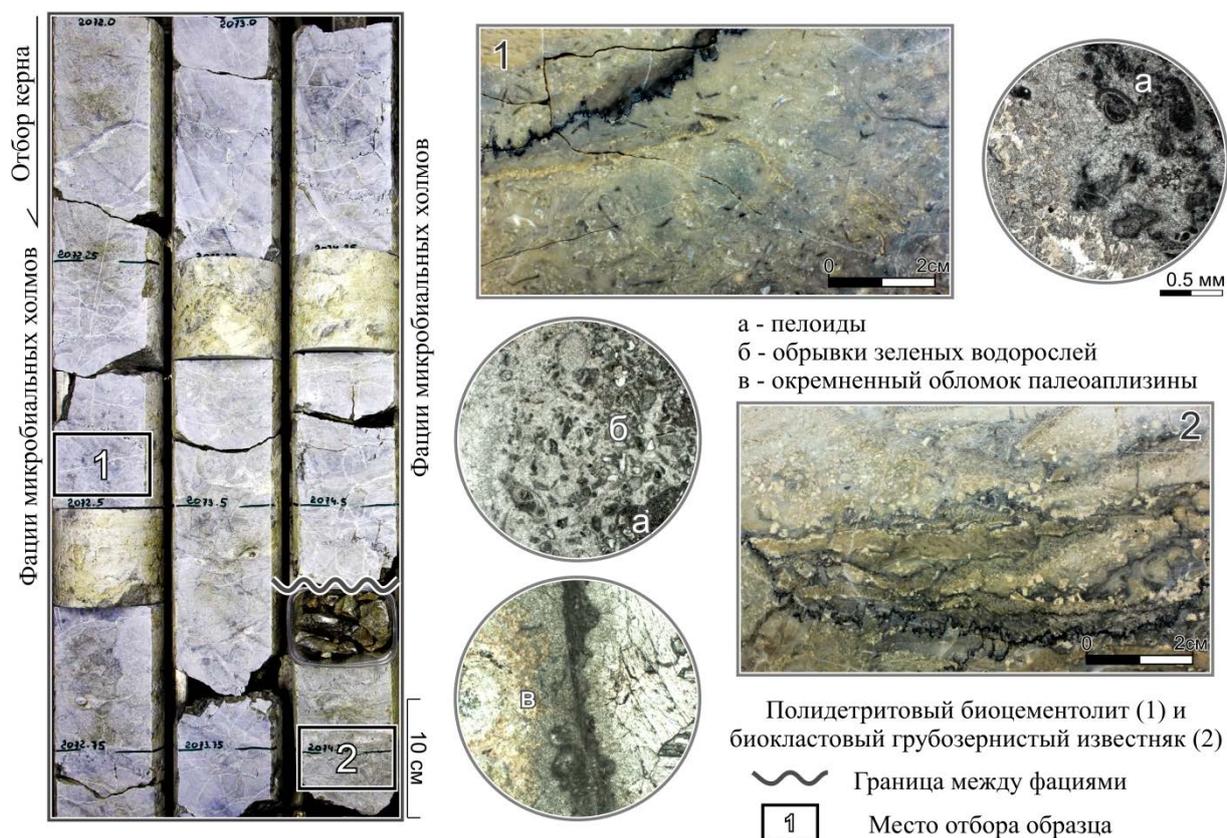


Рисунок 3. Макро- и микроскопическая характеристика каркасных известняков микробных холмов (Жемчугова и др., 2020)

Таким образом, ввиду своих генетических особенностей, микробные и скелетные холмы были способны расти в различных по батиметрии, а значит и по гидродинамической активности, зонах. Первые – на склонах относительно глубоководных впадин, вторые – на топографически выраженных поднятиях и бровках с течениями и волнениями, вымывающими ил и мелкодисперсный осадок из постройки, однако не приводящими к разрушению скелетов каркасообразующих организмов.

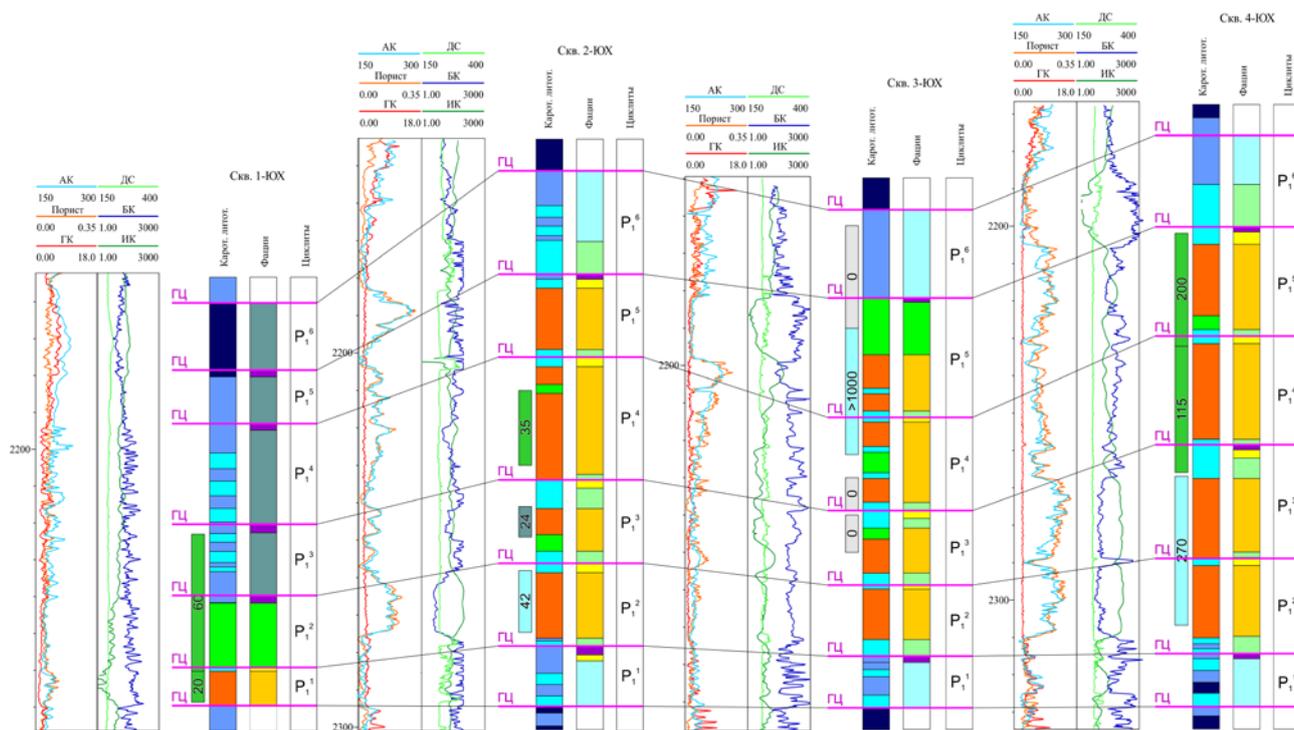
Комплекс карбонатных отмелей, включающий в себя фации шельфовых равнин и собственно карбонатных отмелей, сложен ассоциациями зернистых и зернисто-микритовых известняков. Наиболее широкое распространение он получил в пределах Харьягинского вала и Денисовского прогиба. В составе пород доминируют полидетритовые и криноидно-мшанковые известняки со спаритовым либо микритовым цементом. Содержание микрита напрямую зависит от обстановок осадконакопления, в частности, от гидродинамики. Так, в наиболее мелководных областях, располагавшихся в зоне волновой активности, формировались чистые зернистые осадки, практически не содержащие синседиментационного микритового цемента.

Отложения фациального комплекса относительно глубоководной впадины представлены микритово-зернистыми и зернисто-микритовыми, неравномерно глинистыми криноидно-мшанковыми и, реже, полидетритовыми известняками.

Небольшое количество скважин с отбором керна определило повышенные требования к выделению литотипов и фаций по данным каротажа. Для карбонатных разрезов наиболее информативны гамма-каротаж (ГК) и нейтронный гамма-каротаж (НГК), отражающие изменение глинистости. Однако, в отличие от расчленения разреза по результатам литологического и генетического анализов керна, стратификация скважин по данным геофизических исследований скважин (ГИС) носит более общий характер и подчеркивает только наиболее масштабные изменения обстановок осадконакопления, запечатленные в каменном материале. По керну было выделено 17 литотипов каркасных, зернистых и зернисто-микритовых известняков, в то время как по данным ГИС в разрезе можно диагностировать только 5 каротажных литотипов известняков: скелетные, микробиальные, зернистые со спаритовым цементом, микритово-зернистые и зернисто-микритовые глинистые. Каждой фации соответствует определенная картина записи ГИС и специфическая последовательность каротажных литотипов, что позволяет проводить фациальную диагностику разрезов даже при отсутствии керна материала.

В ассельско-сакмарском карбонатном комплексе было идентифицировано 6 циклитов ( $P_1^1$ - $P_1^6$ ) в пределах Колвинского мегавала (Рис. 4) и 7 циклитов ( $P_1^1$ - $P_1^7$ ) – в Денисовском прогибе. Каждый циклит состоит из набора закономерно сменяющихся в разрезе фаций и литотипов и несет в себе признаки общего направления развития морского бассейна. Первичное разделение разрезов на циклиты проводилось на основе изучения керна материала в опорных скважинах, а затем результаты переносились на скважины, охарактеризованные необходимым набором ГИС.

Границы сеиментационных циклитов соответствуют перерывам в осадконакоплении, вызванным осушениями, и проявляются в нарушении логической вертикальной последовательности литотипов и фаций. В керне они отмечаются по поверхностям «твердого дна» и/или маломощным тонкослоистым глинистым прослоям с обломками подстилающих пород. Также встречаются немногочисленные кавернозные интервалы с пустотным пространством, заполненным глинисто-микритовым материалом. Высокая плотность пород, «чистота» карбонатных разрезов и кратковременность осушений предопределили невысокую контрастность границ циклитов.



Условные обозначения:

ГЦ — Граница циклита

Каротажные литотипы известняков:

- Скелетные
- Микробальные
- Зернистые со спаритовым цементом
- Микритово-зернистые
- Зернисто-микритовые, глинистые

Фации:

- Скелетный холм
- Микробальный холм
- Карбонатные омели
- Шельфовые равнины
- Склон/внутришельф. впадина
- Относительное глубоководье

Субазральная экспозиция:

- «Твердое дно»
- Глинистые прослои с обломками подстилающих пород

Притоки:

- Нефть
- Нефть+вода
- Вода
- Нет притока

Рисунок 4. Циклофациальная схема корреляции скважин северной части Ярейюского вала

Разрез каждого седиментационного циклита отображает в себе последовательную смену обстановок осадконакопления по мере повышения уровня моря. Так, идеализированный циклит скелетного холма в нижней части состоит преимущественно из биокластовых известняков с микритовым и спаритовым цементом, в составе зернистого компонента которых преобладают обломки мшанок, членики криноидей, фузулиниды; в отдельных прослоях отмечается обилие *Tubiphytes*; встречаются цианобактериальные желваки и зеленые и филлоидные водоросли. Вверх по разрезу отложения сменяются на каркасные разности, в которых доминируют *Palaeoaplysina*, филлоидные водоросли, *Tubiphytes*, микробальные разности.

Поверхности максимального затопления в большинстве выделенных циклитов проявляются сменой каркасных или зернистых известняков на зернисто-микритовые разности. Однако, в отличие от осушения, затопление не приводит к нарушению вертикальной последовательности смены фаций и литотипов в разрезе.

Четко диагностируемая цикличность строения характерна для ассельско-сакмарского интервала, но для артинских отложений применение принципов циклофациального моделирования малоинформативно, поскольку повышение уровня моря, активизация тектоники и терригенного осадконакопления, а также предкунгурский размыв сделали невозможной корреляцию циклитов между собой.

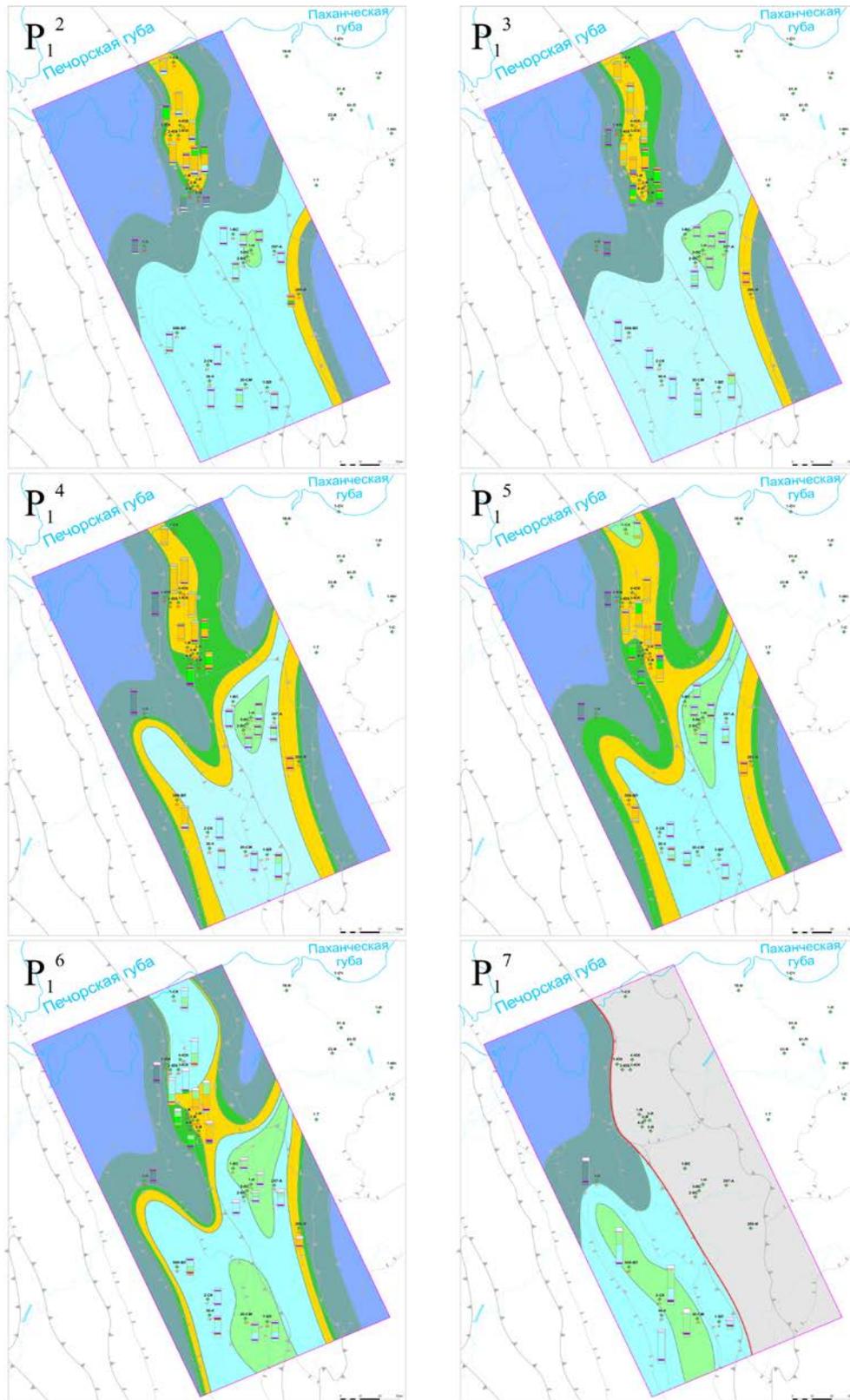
Особенности фациальной зональности территории исследования на каждом этапе осадконакопления, которым соответствуют выделенные седиментационные циклиты, проиллюстрированы на соответствующих фациальных картах (Рис. 5).

Циклит  $P_1^1$  имеет наименее контрастную картину фациальной зональности. Широко распространены карбонатные отмели и шельфовые равнины, в составе отложений которых доминируют зернистые и микритово-зернистые известняки. Интервалы развития каркасных известняков немногочисленные, маломощные, встречаются на бровках поднятий.

Циклиты  $P_1^2$  и  $P_1^3$  соответствуют наиболее «глубоководным» этапам развития территории в раннепермское время. Большая часть рассмотренных разрезов выполнена микритово-зернистыми и зернисто-микритовыми отложениями склонов и шельфовых равнин. В пределах Ярейюского вала начинают формироваться системы органогенных построек, в разрезах скважин проявляющихся в виде интервалов скелетных известняков, мощностью до 30 м.

Циклиты  $P_1^4$ ,  $P_1^5$  и  $P_1^6$  соответствуют этапам широкого распространения органогенных построек на территории исследования, системы которых занимали значительные площади в пределах Колвинского мегавала и Денисовского прогиба. К этим циклитам относится большинство карбонатных холмов, выделяемых на Лайском и Харьягинском валах, в Верхнелайской депрессии, а на Ярейюском валу постройки достигают своего расцвета и имеют максимальные мощности.

Циклит  $P_1^7$  размывает на территории Колвинского мегавала и встречается только в пределах Денисовского прогиба, где представлен фациями карбонатных отмелей и шельфовых равнин, к северу сменяющихся склоновыми и относительно глубоководными фациями. Разрезы сложены мощными толщами зернистых и микритово-зернистых отложений с единичными органогенными постройками.



Условные обозначения:

Полигон картопостроения  
**Фации:**

- |                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Относительное глубоководье | Шельфовые равнины    |
| Склон                      | Карбонатные отмели   |
| Скелетные постройки        | Отсутствие отложений |
| Микробальные постройки     |                      |

**Тектонические элементы:**

- |            |                 |
|------------|-----------------|
| I порядка  | <b>Границы:</b> |
| II порядка |                 |
| Размыта    | Фациальных зон  |

**Скважины:**

- |      |                    |
|------|--------------------|
| 1-вп | — Название скв.    |
| 10   | — Мощность циклита |
| 10   | — Изопахиты        |

**Распределение фаций в разрезах скважин:**

- |  |   |
|--|---|
|  | Карбонатная отмель «Твердое дно»            |
|  | Микробальный холм                           |
|  | Скелетный холм                              |
|  | Шельфовая равнина                           |
|  | Глинист. прослой с обломками подстил. пород |
|  | Склон                                       |

Рисунок 5. Карты-схемы фациальной зональности седиментационных циклитов  $P_1^2 - P_1^7$

## Глава 5. Природные резервуары.

Под природным резервуаром подразумевается комплексное геологическое тело, состоящее из пластов-коллекторов, линз и пластов слабо- и непроницаемых пород внутрирезервуарных покрышек, образующих единую гидродинамическую систему (Жемчугова, 2014). Сверху и снизу резервуар ограничен межрезервуарными покрышками. При изучении нижнепермского карбонатного комплекса северной части Печоро-Колвинского авлакогена, основное внимание необходимо уделить коллекторским отложениям, поскольку фактор наличия и качества покрышки остается почти неизменным на всей территории исследования: комплекс перекрывается артинскими глинисто-карбонатными и кунгурскими глинистыми толщами, представляющими собой качественный флюидоупор.

Формирование пустотного пространства в карбонатных породах определяется двумя основными группами факторов: особенностями осадконакопления и эволюцией осадка в процессе литогенеза. Особенности распределения как первичной, так и вторичной пористости напрямую связаны с условиями накопления карбонатного материала, что называется фациальной избирательностью коллекторов.

В ассельско-сакмарских отложениях севера Печоро-Колвинского авлакогена выделено три основных типа коллекторов: поровые, каверново-поровые, трещинно-поровые. Подавляющее большинство резервуаров связано со скелетными постройками, в которых преобладает каверново-поровый тип коллектора. Его формирование предопределено спецификой осадконакопления скелетных известняков и многочисленными осушениями с последующими процессами размыва и выщелачивания.

Коллекторы порового типа характерны для зернистых отложений фации карбонатных отмелей, однако, закономерности распределения их фильтрационно-емкостных свойств гораздо более сложные, чем в скелетных холмах и общее количество интервалов коллекторов в разрезе невелико.

Трещинно-поровый тип коллектора преобладает в фациях микробиальных холмов, в составе которых основную роль играют крепкие, плотные микробиальные известняки, подверженные растрескиванию.

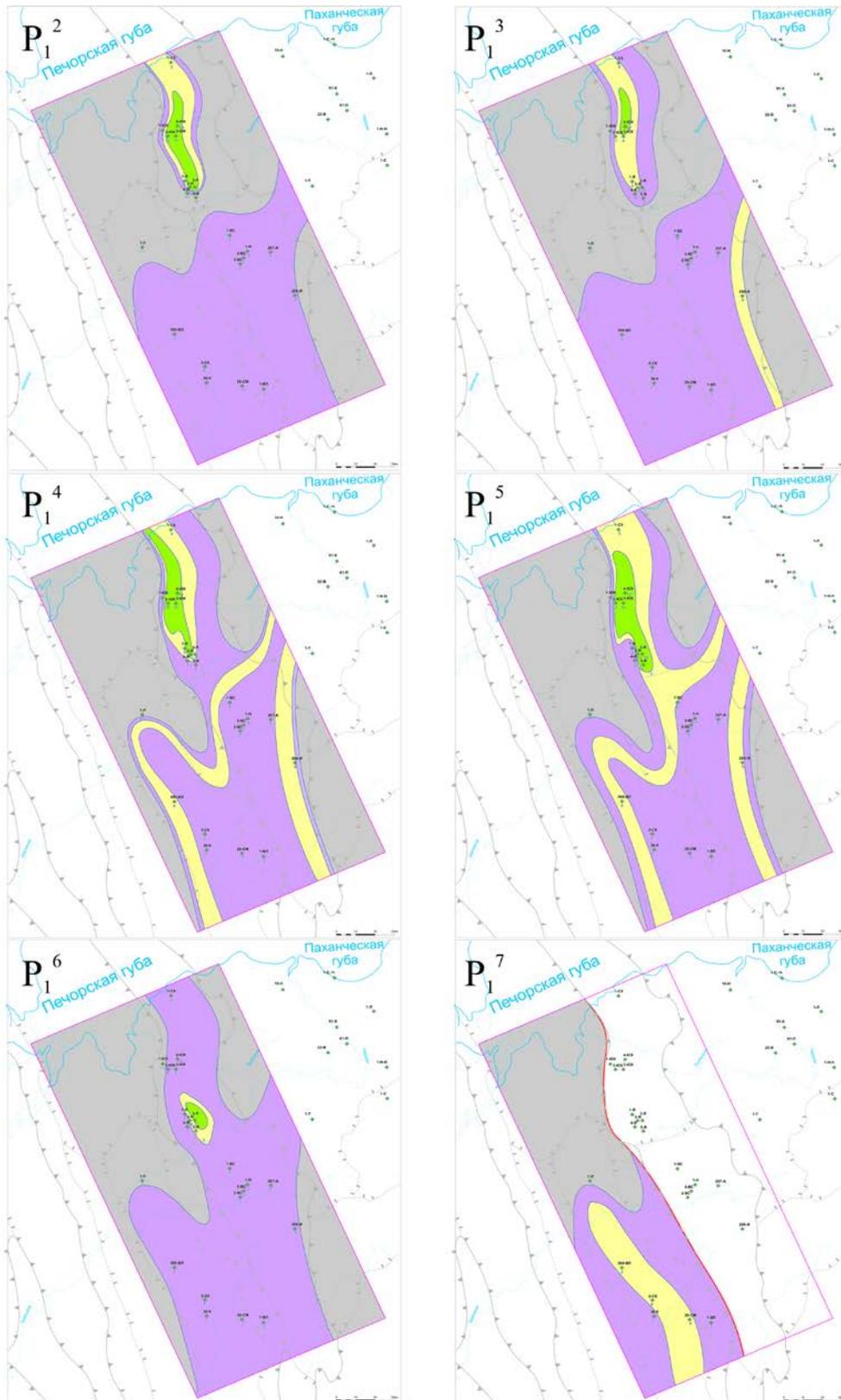
По фациальной принадлежности, характерному типу коллектора и фильтрационно-емкостным характеристикам выделено три класса коллекторов различного качества (Табл. 1) и построены соответствующие карты-схемы для каждого циклита (Рис. 6).

Таблица 1. Критерии относительного качества ассельско-сакмарских коллекторов

Класс коллект.	Фациальная принадлежность	Преобладающий тип коллектора	Доля коллект. в разрезе, %	Эфф. толщина, м	Средневзвеш. открыт. порист., %	Линейная емкость
I	Скелетный холм	Каверново - поровый	>50	10 – 20	10 – 25	1.0 – 5.0
II	Скелетный холм	Каверново - поровый	25 – 50	5 – 10	10 – 25	0.5 – 2.5
	Карбонатная отмель	Поровый	15 – 30	5 – 10	5 – 15	0.3 – 1.5
III	Карбонатная отмель	Поровый	5 – 15	1 – 5	5 – 15	0.1 – 0.8
	Микробиальный холм	Трещинно - поровый	5 – 15	1 – 5	5 – 10	0.1 – 0.5
	Шельфовые равнины	Поровый	<10	1 – 5	5 – 10	0.1 – 0.5

По итогам анализа коллекторов и специфики их распространения в ассельско-сакмарских отложениях северной части Печоро-Колвинского авлакогена сделаны следующие выводы:

1. Самые высококачественные коллекторы (I класс) относятся к каверново-поровому типу и приурочены к фации скелетных холмов. Широкое распространение они имеют в центральной и западной частях Ярейюского вала, где встречаются во всех седиментационных циклитах, за исключением  $P_1^1$  и  $P_1^7$ .
2. Самыми перспективными с позиции наличия потенциальных коллекторов I и II классов являются циклиты  $P_1^4$  и  $P_1^5$ , поскольку для них прогнозируется наибольшее количество органогенных построек, встречающихся на бровках большинства поднятий в пределах Денисовского прогиба и Колвинского мегавала.
3. Отложения микробиальных холмов имеют невысокие показатели пористости, ввиду чего характеризуются низкими эффективными толщинами и отнесены к коллекторам III класса. Однако они подвержены трещинообразованию и могут выступать в роли коллекторов трещинно-порового типа с высокими показателями проницаемости при низких значениях пористости.
4. Фации шельфовых равнин почти не содержат коллекторов из-за генетических особенностей слагающих их отложений, однако в пределах их развития могут встречаться отдельные пласты чистых зернистых известняков мелководного генезиса, либо интервалы каркасных известняков, с повышенными фильтрационно-емкостными характеристиками, поэтому данная фация отнесена к III классу коллектора.
5. Отложения карбонатных отмелей широко распространены на Харьгинском и Лайском валах, где могут иметь повышенный коллекторский потенциал. Однако невысокие эффективные толщины в большинстве случаев не позволяют рассматривать эти отложения как высококачественные коллекторы при подготовке прогнозов на региональном уровне.



Условные обозначения:

Класс коллектора

- I
- II
- III
- Отсутствие коллекторов

Тектонические элементы:

- I порядка
  - II порядка
- Границы:
- Размыта
  - Фациальных зон

Скважины:

- 1-вл — Название скв.
- Мощность циклита

Полигон картопостроения

Рисунок 6. Карты-схемы относительного качества коллекторов циклитов  $P_1^2$ – $P_1^7$

## Заключение

Проведённое исследование позволило сделать заключение о том, что в раннепермском морском бассейне, покрывавшем северную часть Печоро-Колвинского авлакогена, происходило активное развитие сообществ бентосных организмов, формировавших скелетные и микробиальные холмы, отложения которых имеют разный состав и свойства. Первые располагались на бровках поднятий, ниже базиса воздействия волн и слагались преимущественно палеоаплизинами и филлоидными водорослями, вторые тяготели к склоновым обстановкам и росли за счет деятельности микробиальных сообществ, которые в процессе своей жизнедеятельности не только продуцировали карбонатный осадок, но и скрепляли останки отмерших организмов.

Изученная ссельско-сакмарская карбонатная толща имеет четко выраженное циклическое строение. В ее составе выделены семь седиментационных циклитов, каждый из которых формировался на этапе осадконакопления, соответствовавшем повышению уровня моря, и характеризовавшемся уникальным рисунком фациальной зональности. Границами циклитов являются поверхности осушений, наиболее масштабные из которых затрагивали как мелководные участки, так и области относительного глубоководья.

Седиментационная неоднородность нижнепермских карбонатов чётко прослеживается в структуре пород и находит отображение в их различных фильтрационно-емкостных свойствах. Лучшим емкостным потенциалом обладают скелетные холмы, содержащие коллекторы каверново-порового типа и широко распространенные в пределах Ярейюского вала и по периферии Харьягинского и Лайского валов. Чуть менее привлекательны с этой точки зрения отложения карбонатных отмелей, которые занимают обширные территории, но крайне неоднородны по своим емкостным характеристикам и имеют относительно небольшие мощности. Отложения микробиальных холмов могут выступать в роли резервуаров только при наличии в них интервалов трещиноватости.

Результаты исследования могут найти применение при проведении геологоразведочных работ и планировании мероприятий по разработке месторождений. Они позволяют выявить новые перспективные зоны для поиска скоплений нефти и газа в нижнепермском карбонатном комплексе и способствуют повышению точности прогнозов распространения природных резервуаров и их свойств.

**Статьи в рецензированных научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 25.00.12, опубликованные автором по теме диссертации**

1. Евдокимов Н.В. Особенности строения нижнепермских карбонатных резервуаров севера Печоро-Колвинского авлакогена и их нефтегазоносность // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений – 2020. – №3 (339). – с. 13-20. Импакт-фактор по РИНЦ 0.535
2. Евдокимов Н.В., Жемчугова В.А. Раннепермские органогенные постройки севера Тимано-Печорского бассейна // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2020. – № 3. – с. 57-65. Импакт-фактор по РИНЦ 0.400
3. Жемчугова В.А., Евдокимов Н.В., Поорт Д., Ахманов Г.Г. Нижнепермские карбонатные холмы севера Тимано-Печорского бассейна как основные объекты поиска скоплений углеводородов // Литология и полезные ископаемые – 2020 – № 4 – с. 291-308. Импакт-фактор по РИНЦ 0.493