

Мальков Иван Петрович

**ФОРМИРОВАНИЕ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ОСИНСКОГО
ПРОДУКТИВНОГО ГОРИЗОНТА НЕПСКОГО СВОДА**

Специальность 25.00.12– геология, поиски и разведка
нефтяных и газовых месторождений

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва - 2014

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

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
профессор **Жемчугова Валентина
Алексеевна**

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук
Лоджевская Мануэлла Исааковна
(зав. отделом, ФГУП «ВНИГНИ»)

кандидат геолого-минералогических наук
Гревцев Александр Владимирович
(вице-президент по маркетингу,
Polarcus Russia DMCC)

Ведущая организация: Российский государственный университет
нефти и газа имени И.М.Губкина

Защита диссертации состоится 23 мая 2014 года в 16 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 501.001.40 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119234, Москва, Ленинские горы, Главное здание МГУ, геологический факультет, аудитория 608.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в отделе диссертаций Фундаментальной библиотеки по адресу Москва, Ломоносовский проспект, 27 и на сайте Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова www.geo.web.ru.

Автореферат разослан 22 апреля 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Карнюшина Евгения Емельяновна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В ближайшие годы Восточная Сибирь может стать одним из основных центров добычи углеводородов (УВ), поэтому выявление перспективных нефтегазоносных объектов, в том числе и в нижнекембрийских отложениях осинского горизонта Непского свода, является первостепенной задачей для всей нефтегазовой отрасли страны.

Перспективы углеводородной продуктивности рассматриваемого региона представляются достаточно высокими, однако освоение их сдерживается сложностью строения кембрийских карбонатных резервуаров, трудностями в выявлении объектов для постановки поисковых работ. В этой ситуации решение задач прогноза качества коллекторов и обоснования моделей резервуаров, способных содержать УВ флюиды, является актуальным и может способствовать повышению эффективности поисково-разведочных работ и выбору стратегии их оптимизации.

Цель работы заключалась в реконструкции условий образования и выявлении закономерностей распространения карбонатных коллекторов в осинском продуктивном горизонте Непского свода; разработке седиментационно-емкостных моделей приуроченных к нему природных резервуаров.

Основные задачи:

- 1 - обобщение материалов по геологическому строению и нефтегазоносности Непского свода;
- 2 - макро- и микроскопическое изучение отложений;
- 3 - выполнение циклического и фациального анализов;
- 4 - реконструкция условий накопления осинского горизонта и разработка схем седиментационной зональности;
- 5 - выявление закономерностей формирования емкостного пространства и петрофизических свойств пород-коллекторов, построение петрофизической модели;
- 6 - типизация моделей природных резервуаров, развитых в осинском продуктивном горизонте, с учетом их седиментационных характеристик;
- 7 - прогноз качества коллекторов и на этой основе уточнение перспектив нефтегазоносности осинского горизонта Непского свода.

Научная новизна. Впервые для оценки перспектив нефтегазоносности отложений осинского горизонта были использованы результаты седиментационно-емкостного моделирования, выполненного на основе комплексного анализа литологических и петрофизических данных. Детальные макро- и микроскопическое изучение керн скважин

и целенаправленная интерпретация материалов геофизических исследований скважин (ГИС) позволила выделить в осинском горизонте несколько типов разреза, отражающих особенности развития рассматриваемого участка в раннекембрийское время.

Вопреки существующим представлениям об интенсивном преобразовании осинских коллекторов, уничтожившем их седиментационные признаки, доказана зависимость типов коллекторов и их ФЕС от условий накопления. Выполненные исследования позволили с новых позиций оценить качество природных резервуаров и разработать авторский вариант прогноза их структуры и свойств для осинского горизонта Непского свода.

Практическая значимость работы. Установленные закономерности формирования природных резервуаров, а также прогноз их распространения на изучаемой территории, способствуют выявлению новых объектов для поискового бурения и оптимизации геологоразведочных работ. Кроме того, использование результатов выполненных работ способно обеспечить более достоверный подсчет запасов УВ в нижнекембрийском карбонатном комплексе.

Методические приемы, применяемые в работе, могут быть использованы для прогноза структуры и свойств природных резервуаров и в других нефтегазоносных областях.

Защищаемые положения:

1. Особенности строения осинского горизонта и распределение в его составе отложений различного генезиса отвечают модели окаймлённого шельфа. Это предопределяет существенные отличия разрезов горизонта по мощности и комплексу слагающих его типов пород.

2. Емкостно-фильтрационные параметры осинских пластов-коллекторов контролируются седиментационной структурой известняков, а их изменения в пределах природного резервуара обусловлены фациальной неоднородностью. Лучшими коллекторскими свойствами в разрезе осинского горизонта Непского свода обладают вторичные доломиты, образованные по литокластовым и биогермным известнякам; с ними связаны соответственно коллекторы порового типа с преобладанием межзерновой пористости и порово-каверновые коллекторы с пустотами выщелачивания.

3. По особенностям строения, преобладающему типу коллекторов и их фильтрационно-емкостным характеристикам в разрезе осинского горизонта выделяются три типа природных резервуаров; их распространение на Непском своде контролируется седиментационной зональностью.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы опубликованы в журнале «Геофизические исследования» (март 2014 г., том 15, № 1) и в сборнике

материалов VII Всероссийского литологического совещания (Новосибирск, ИНГГ СО РАН, 28-31 октября 2013 г.) «Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории», а также докладывались на третьей международной научно-практической конференции «Калининград-2013» (г. Калининград, 27-31 мая 2013 г.), методические приёмы разработки седиментационной модели отложений предложены в журнале: «Разведка и охрана недр» (март 2011, № 3).

Фактический материал и личный вклад. В основу работы положены результаты личных исследований автора, проводимых на кафедре геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ. Для решения поставленных задач использовался комплекс методов исследования пород, включающий макроскопическое, микроскопическое (более 300 шлифов), минералогическое и петрофизическое изучение пород. Автором лично были проинтерпретированы данные ГИС по 239 скважинам, проанализирована выборка определений петрофизических параметров (свыше 3,5 тыс. определений), таких как пористость, проницаемость и плотность, а также минералогический состав, на основании которых были созданы типовые петрофизические модели.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав и заключения. Общий объем работы составляет 167 страниц, она проиллюстрирована 60 рисунками. Список литературных источников содержит 73 наименования.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность и сердечную благодарность своему научному руководителю профессору, д.г.-м.н. Жемчуговой Валентине Алексеевне, благодарит д.г.-м.н. Постникову Ольгу Васильевну, а также Топунову Г.Г. и Китаеву И.А. за научные консультации, поддержку и всестороннюю помощь при написании работы. Автор выражает благодарность сотрудникам кафедры за внимание к работе и консультации. Отдельно автор благодарит своих родителей и близких за всестороннюю поддержку во время написания работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Общие сведения о строении объекта исследований

На сегодняшний день в пределах Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области открыто несколько десятков месторождений нефти и газа. Перспективы нижнекембрийских отложений оцениваются достаточно высоко, но их освоение происходит крайне медленно. В связи с тем, что Восточная Сибирь со временем может стать одним из основных центров добычи УВ, повышается актуальность выявления перспективных нефтегазоносных объектов в этом регионе, в том числе и в разрезе осинского продуктивного горизонта Непского свода.

В работе использовались опубликованные материалы по литологии, стратиграфии, тектонике и нефтегазоносности карбонатных нижнекембрийских отложений региона широкого круга специалистов: А.С. Анциферова, С.Л. Арутюнова, Т.К. Баженовой, В.Е. Бакина, Ю.А. Большакова, Н.А. Буровой, В.А. Ващенко, В.И. Вожова, В.Н. Воробьева, В.И. Городничева, Р.Б. Гудеева, Т.И. Гуровой, В.И. Демина, Д.И. Дробота, А.Л. Дудина, В.В. Забалуева, С.М. Замараева, Н.Н. Зимбалевского, А.Н. Золотова, В.В. Ильинской, Л.Н. Илюхина, В.И. Качина, А.С. Ковтуна, А.Э. Конторовича, Н.А. Корвет, В.Г. Кузнецова, И.Б. Кулибакиной, М.В. Коржа, Е.С. Ларской, В.Н. Ларкина, В.Б. Леонтовича, В.А. Лучининой, С.В. Лысак, В.Д. Матвеева, Н.В. Мельникова, Б.П. Мирончева, В.Л. Неустроева, П.Е. Офмана, С.С. Петрова, В.И. Петерсилье, О.В. Постниковой, Р.Н. Пресновой, В.Т. Роботнова, Б.А. Соколова, В.С. Старосельцева, В.С. Суркова, А.А. Трофимука, Л.Ф. Тыщенко, Н.К. Фортунатовой, С.В. Фролова, В.В. Хементовского, Л.С. Черновой, С.Г. Шашина, Г.Г. Шемин, Т.Ю. Шибиной, Ф.Н. Яковенко и других.

1.1. Геолого-геофизическая изученность

Средняя плотность изученности сейсморазведочными работами Непско-Ботуобинской антеклизы составляет $0,43 \text{ км/км}^2$, в ее пределах пробурено около 1100 скважин ($8,94 \text{ м/км}^2$ или $4,22 \text{ скв/тыс. км}^2$). Это обеспечило открытие нескольких десятков месторождений УВ. При этом относительно изученная Непско-Ботуобинская антеклиза характеризуется лишь 10 % уровнем разведанности запасов, что предполагает большие потенциальные возможности по дальнейшему открытию новых нефтяных и газовых месторождений в этом регионе.

1.2. Литолого-стратиграфическая характеристика разреза

Непский свод выделяется в центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы, расположенной в пределах Предпатомского осадочного бассейна.

В геологическом строении объекта исследования принимают участие образования кристаллического фундамента, рифейские, вендские, кембрийские, ордовикские, каменноугольные, пермские, юрские и четвертичные отложения.

Кристаллический фундамент сложен архейско-нижнепротерозойскими метаморфическими и интрузивными образованиями. Основной объем вулканогенно-осадочного чехла составляют отложения венда и кембрия.

Рифейские образования, имеющие карбонатно-терригенный состав, встречаются лишь в наиболее прогнутых участках Непско-Ботуобинской антеклизы. Их мощность очень изменчива и варьирует от нескольких сотен метров до нескольких километров.

Отложения венда и кембрия развиты повсеместно. Первые представлены терригенными и карбонатными породами суммарной мощностью от 0,2 до 1,2 км; вторые – формируют карбонатно-эвапоритовые формации мощностью от 1,2 до 2,5 км. В ее нижней части (усольская свита нижнего кембрия) выделяется сложенный преимущественно карбонатными породами осинский продуктивный горизонт.

В отдельных частях Непско-Ботуобинской антеклизы кембрийские образования осложнены силлами мощностью от 50 до 120 м.

Палеозойские отложения – аргиллиты, алевролиты, песчаники и реже доломиты суммарной мощностью до 1 км развиты в основном на склонах Непско-Ботуобинской антеклизы. В каменноугольно-нижнепермской части разреза они осложнены многочисленными интрузивными телами, как секущими, так и пластовыми.

Туфогенно-осадочные триасовые образования распространены на северо-западном склоне Непско-Ботуобинской антеклизы. Мощность их изменяется от 0,1 до 0,2 км.

Юрские терригенные образования развиты не повсеместно, а лишь в северной части Непско-Ботуобинской антеклизы. Их мощность изменяется от 0,1 до 0,2 км. Четвертичные отложения (0 – 5 м) встречаются в долинах рек и озер и залегают со стратиграфическим несогласием на нижележащих породах.

1.3. Основные сведения о тектонике и истории геологического развития

Непский свод расположен в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы – надпорядковой структуры юго-восточной части Сибирской платформы. Он располагается в центральной части антеклизы, чуть смещен к юго-востоку, в сторону Предпатомского регионального прогиба и занимает площадь около 27 тыс. км². В целом свод имеет правильное концентрическое строение, нарушен системами разломов северо-восточного и северо-западного простирания; по абсолютной отметке минус 1100 м его амплитуда составляет около 500 м (Тектоническая ..., 2004).

Непско-Ботуобинская антеклиз была сформирована в результате проявлений как конседиментационных, так и постседиментационных деформаций, причем последние играли большую роль. За счет их проявления образовались северо-восточное периклинальное окончание структуры, ее северо-западный склон, а также вершина – Непский свод. Кроме того, на современную конфигурацию Непско-Ботуобинской антеклизы оказали влияние трапповый магматизм и новейшие тектонические подвижки (Нефтегазоносные ..., 1994).

1.4. Нефтегазоносность

Первый промышленный приток нефти из отложений нижнего кембрия был получен в 1961 г. на Марковской площади, расположенной в юго-восточной части Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области. В настоящее время промышленные скопления нефти и газа выявлены как в терригенных вендских (вилючанский, талахский, хамакинский, ботуобинский горизонты), так и карбонатных венд-нижнекембрийских (осинский и юрхский горизонты) породах. Приуроченные к ним запасы нефти и газа учтены в Государственном балансе более чем по двадцати месторождениям, при этом залежи углеводородов в осинском горизонте учтены в пределах Вакунайского, Верхнечонского, Южно-Талаканского, Талаканского, Северо-Талаканского, Игнялинского, Северо-Даниловского и Даниловского месторождений.

В разрезе осадочного чехла Непско-Ботуобинской антеклизы выделяют вендский, верхневендско-нижнекембрийский и кембрийский региональные макрорезервуары, составляющие вендско-кембрийский региональный мегарезервуар (Шемин, 2007). Изучаемые отложения осинского продуктивного горизонта относятся к верхней части усольского резервуара, расположенного в основании верхневендско-нижнекембрийского макрорезервуара. Основные коллекторы в нем, индексированные как пласты Б1 или О-I и Б2, имеют практически повсеместное распространение.

Фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов осинского горизонта изменяются в широких пределах. Открытая пористость коллекторов варьирует от 7-8 до 25 %. Наиболее часто ее значения изменяются от 9 до 13 %. Максимальные показатели пористости (10-20%) прогнозируются в северо-восточной и центральной частях Непско-Ботуобинской антеклизы, а наименьшие (7-10 %) - на ее юго-западном окончании.

Проницаемость коллекторов изменяется в широких пределах (от нескольких единиц до нескольких сотен мкм²). Обычно она составляет (3-20) 10⁻³ мкм².

Благоприятное соотношение в разрезе коллекторов и галогенно-карбонатной покрышки обеспечивает широкую углеводородную продуктивность отложений осинского горизонта.

Глава 2. Методика изучения карбонатных толщ нижнего кембрия Непского свода

2.1. Теоретические основы седиментационно-емкостного моделирования карбонатных толщ

При определении новых направлений поисковых работ, разведке, подсчёте запасов и эксплуатации месторождений нельзя обойтись без седиментационно-емкостной модели резервуара. Создание этих моделей базируется на концепции фациальной избирательности коллекторов и зависимости структуры и свойств природных резервуаров от условий накопления слагающих их отложений.

В разделе рассматриваются основные условия накопления карбонатных отложений, влияющие на формирование их емкостного потенциала; разбираются современные представления о процессах карбонатной седиментации и анализируются возможности использования этих представлений для реконструкции обстановок осадконакопления древних пород.

2.2. Технология седиментационно-емкостного моделирования

В последние годы для поиска залежей УВ в карбонатных отложениях все больше используются методы и технологии, направленные на переход от качественных характеристик элементов природных резервуаров к их количественным показателям, основанным на выявлении статистических связей между параметрами, отображающими процессы седиментогенеза и физическими характеристиками среды. Базой для этого служит комплексный анализ геолого-геофизической информации, включающий детальные исследования керна, целенаправленную седиментационную и количественную интерпретацию данных ГИС, а также сейсмофациальную и сеймостратиграфическую интерпретацию волнового поля.

Один из таких подходов к седиментационно-емкостному моделированию разрабатывается под руководством Н.К.Фортунатовой. Он включает использование стандартных разномасштабных моделей-палеток внутренней структуры карбонатных объектов различных иерархических уровней и стандартных зависимостей структуры осадочных тел, их петрофизических свойств и геометрических параметров.

Несколько иную технологическую цепочку построения модели природного резервуара предлагает В.А. Жемчугова с соавторами.

Выполненное сравнение этих технологий показывает, что хотя они, на первый взгляд, отличаются друг от друга, в их основе лежат единые подходы к использованию скважинных и сейсмических данных, позволяющие осуществлять прогноз структуры и свойств иерархически взаимосвязанных карбонатных объектов.

Согласно принятой в работе технологической цепочке, построение седиментационно-емкостной модели резервуаров осинского горизонта включало несколько базовых этапов. На первом из них были выполнены литолого-петрографический анализ образцов керна, а также качественная интерпретация данных ГИС, необходимые для выделения основных литогенетических типов пород и определения степени их постседиментационного преобразования. На этом этапе была создана модель стратиграфического расчленения разреза горизонта.

Второй этап – выполнение циклофациального анализа. Он является определяющим для изучения осинского горизонта, поскольку доминирующей чертой разрезов горизонта является выраженное циклитовое строение. Установление цикличности развития бассейна седиментации и обоснование закономерностей изменения фациальной зональности в нем позволяют предсказывать локализацию в пространстве и времени областей накопления осадков с различным емкостным потенциалом; диагностику их с позиции нефтяных систем и т.д.

На втором этапе литологические исследования комплексировались с интерпретацией сейсмических данных, поскольку выделенные циклиты, как правило, отражаются на временных разрезах и тождественны сейсмическим комплексам. При этом выполнялся анализ поведения отражающих горизонтов и рисунок сейсмической записи, что позволило диагностировать в составе сейсмокомплекса набор сейсмофаций, пространственные взаимоотношения которых отображают развитие процесса осадконакопления в течение седиментационного цикла.

На третьем этапе была выполнена фациальная диагностика коллекторов, выявление особенностей строения их пустотного пространства, а также разработка петрофизических зависимостей, иллюстрирующих взаимосвязь седиментационных характеристик и основных параметров фильтрационно-емкостных свойств.

Для анализа распространения и качества коллекторов и, соответственно, резервуаров для нефти и газа в осинском продуктивном горизонте использовалась технологическая цепочка, предложенная В.А. Жемчуговой с коллегами, однако определенные моменты были заимствованы и из технологии Н.К.Фортунатовой. При этом в работе акцент был сделан на скважинные данные, что позволяет использовать разработанную модель не только для прогноза структуры и свойств природных резервуаров, но и для седиментологического контроля за интерпретацией материалов сейсморазведочных работ.

2.3. Цикличность отложений нижнего кембрия Непско-Ботуобинской антеклизы

Одним из основных элементов седиментационно-емкостного моделирования является анализ строения иерархически соподчиненных осадочных циклитов, в структуре которых заложена информация об условиях формирования потенциальных коллекторов.

Изучению цикличности отложений карбонатных толщ венда и нижнего кембрия Непско-Ботуобинской антеклизы уделяется постоянное внимание, наиболее интересным представляется сформулированный Н.В. Мельниковым принцип выделения циклокомплексов (Мельников, 2009): смена соленосных толщ на карбонатные обусловлена новым погружением территории, обеспечивавшим увеличение доступа морских вод в солеродный бассейн и, соответственно, означает начало следующего седиментационного цикла, значит, в соленосном разрезе карбонатные толщи могут залегать в основании циклокомплексов.

Такую же последовательность в смене отложений стоит ожидать и при выделении циклов осадконакопления внутри осинского горизонта.

Глава 3. Седиментационная модель осинского горизонта

Седиментационная модель отложений осинского горизонта строилась на основе изучения пород в керне, в шлифах и седиментационной интерпретации данных ГИС с применением циклического и фациального анализов. Она включала кроме того анализ существующих представлений о раннекембрийском осадконакоплении на Сибирском континенте.

3.1. Существующие представления о раннем кембрии Сибирского континента

Согласно существующим палеогеографическим реконструкциям, Сибирский континент, частью которого являлся современный Непский свод, в раннем кембрии располагался в экваториальных широтах. Его континентальная часть представляла собой неширокую полосу на юге, а акваториальная – была окружена океаническими водами Палеоазиатского океана, а также океанами Панталасса и Плейоник.

Большинство исследователей отмечают следующие особенности развития осадочного бассейна в это время, обеспечившие специфику строения разрезов осинского горизонта:

- максимум трансгрессии, вызванной обширным опусканием территории Сибирской платформы в конце позднего докембрия;

- новый этап рифообразования в истории Земли, переход от цианобактериальной экосистемы к водорослевой и начало участия в каркасостроении рифов организмов животного происхождения – археоциат ;

- существование в пределах современной Непско-Ботуобинской антеклизы отмельной зоны, покрытой водами моря повышенной солености.

Биогермные массивы, выявленные к настоящему моменту на Среднеботуобинской, Кийской, Юктанской, Тирской, Пилюдинской площадях, в осинское время пользовались широчайшим распространением. Вдоль восточного склона Непско-Ботуобинской антеклизы в виде полосы шириной 6–8 км прогнозируется развитие барьерного рифа. Образованная органогенная постройка имела вид относительно узкой мелководной зоны, выполнявшей роль фациального барьера на границе между двумя морскими частями кембрийского палеобассейна – мелководной с водами повышенной солености и относительно глубоководной.

3.2. Особенности строения отложений осинского горизонта

Изучение скважинных данных позволило выполнить дифференциацию отложений по ряду признаков и, в первую очередь, по вещественному составу и структуре слагающих карбонатные породы элементов. Все породы осинского горизонта интенсивно преобразованы вторичными изменениями, что затрудняло их разделение по первичным седиментационным признакам. Поэтому «напрямую» использовать эту классификацию для кембрийских отложений Восточной Сибири, интенсивно преобразованных вторичными процессами, не представляется возможным. В связи с этим структурные типы карбонатов (известняков и доломитов) выделялись главным образом по косвенным признакам («теневым» структурам в доломитах, особенностям строения порового пространства, составу и количеству некарбонатных примесей и т.д.).

Были выделены следующие типы вторичных доломитов по известнякам: мадстоуны; вакстоуны - интракластовые, строматолитовые, микрофитолитовые, пелоидные и литокластовые; пакстоуны - литокластовые и лито-биокластовые; грейнстоуны - оолитовые, литокластовые и лито-биокластовые; баундстоуны – археоциатовые фреймстоуны, ренальтисовые байндстоуны и эпифитоновые баффлстоуны.

Для построения седиментационной модели в качестве эталонных были выбраны скважины, наиболее охарактеризованные керном. Выявленные закономерности распространения в них выделенных типов пород позволили разработать основные признаки фациальной природы отложений. Первая группа признаков характеризует преобладание литологической компоненты: глинистой, доломитовой, известковой или эвапоритовой. Классификационным признаком для второй группы принята

седиментационная структура, и уточняющим элементом этих признаков принят тип зернистого компонента или каркаса (оолитовая, строматолитовая, каркасная, пелоидная, литокластовая, биокластовая, иловая, кристаллическая). Третья группа признаков базируется на встречаемости органических остатков: эпифитонов, ренальтисов, микрокодиумов, трилобитов, археоциат. Четвертая группа признаков составлена на основе текстурных характеристик: тип слоистости, следы размывов, трещины усыхания, штормовые брекчии и т.д.

Кроме того, для фациальной диагностики отложений учитывалась их парагенетическая связь с подстилающими и перекрывающими фациями.

Особенности строения осинского горизонта на различных участках Непского свода позволили выделить четыре типа разреза. Первый тип разреза характерен для центральной и северной частей Непского свода, где он сложен доломитами по водорослевым и пелоидным известнякам, а также в различной степени глинистыми микрокристаллическими доломитами мощностью 40 – 50 м. Второй тип разреза присущ восточной части Непского свода, где доминируют доломиты по каркасным известнякам суммарной мощностью свыше 70 м. Разрезы третьего типа группируются в зону, протягивающуюся между зонами с первым и вторым типами разрезов. Мощность осинского горизонта здесь составляет 50 – 60 м, в составе осадков помимо водорослевых и пелоидных доломитов, встречены прослои доломитов по литокластовым, каркасным, оолитовым и водорослевым (микрофитолитовым) известнякам. Четвёртый тип разреза характерен в основном для северной части изучаемого объекта, где в составе отложений преобладают в различной степени глинистые доломиты с тонкими прослоями водорослевых разностей. Мощность отложений четверного типа разреза осинского горизонта не превышает 40 м.

Общие палеогеографические представления и особенности строения изученных разрезов позволили сделать вывод о том, что накопление осадков на рассматриваемой территории в осинское время происходило в условиях забарьерной лагуны с активным влиянием приливно-отливной деятельности. Барьером для этой лагуны служила крупная рифовая постройка, расположенная в восточной части Непского свода.

3.3. Обоснование каротажных фаций осинского горизонта

На территории Непского свода отложения осинского горизонта заключены между пластами подосинских и надосинских солей, что позволяет четко определить его границы по данным ГИС.

Для реконструкции условий формирования осинского горизонта, помимо литологических исследований, для разрезов скважин, не охарактеризованных керном,

были разработаны каротажные фации. Для обоснования каротажного облика той или иной фации, помимо формы конкретной кривой, анализировались и составляющие ее элементы (кровельная, боковая, подошвенная линии, ширина аномалии и т.д.), каждый из которых указывает на характер процесса накопления осадков.

По особенностям поведения каротажных кривых были выделены следующие каротажные фации: отложений приливо-отливной равнины; мелкой сублиторали; тыловой части органогенной постройки; собственно органогенной постройки и карбонатных отмелей (рис. 1).

3.4. Циклофациальная модель осинского горизонта

Выполненное изучение отложений осинского горизонта, их классификация, а также интерпретация ГИС, позволили выделить в его разрезе несколько «обмеляющихся кверху» седиментационных циклитов, границами между которыми выступают трансгрессивные поверхности. Последние представляют собой своеобразные седиментационные маркеры, отражающие квазисинхронные события изменения седиментационной ситуации.

В целом, в строении осинского горизонта выделено шесть циклитов, в которых наблюдается определённая последовательность смены полигенных осадков. Проведённый анализ последовательности наложения полигенных осадков в разрезе циклитов, а также их мощностей показал, что для первого, второго и третьего циклитов характерно ретроградационное строение, что свидетельствует о накоплении их в период наращивания аккомодационного пространства, характерного для трансгрессии моря. Для четвёртого, пятого и шестого циклитов характерна проградационная последовательность, отвечающая нормальной регрессии (рис.1).

Условия для роста органогенных построек были наиболее благоприятны в период трансгрессии. Именно в это время происходило образование мощной органогенной постройки, вскрытых бурением на Чаяндинском и Талаканском месторождениях (второй и третий типы разреза) и небольших по мощности слойков баундстоунов на Бюк-Танарской площади, в районе Озёрного, Верхнечонского, Вакунайского и Тымпучиканского месторождений (первый и четвертый типы разреза). Предполагается, что практически за одинаковое время произошло накопление отложений осинского горизонта разной мощности – от 38 м в центральной части Непского свода до 75 м (и больше) – в восточной. В области развития органогенной постройки было накоплено несколько десятков метров осадка, в то время как на западе и в центральной части Непского свода, где господствовали условия приливо-отливных равнин, одновозрастные толщи характеризуются существенно меньшей мощностью.

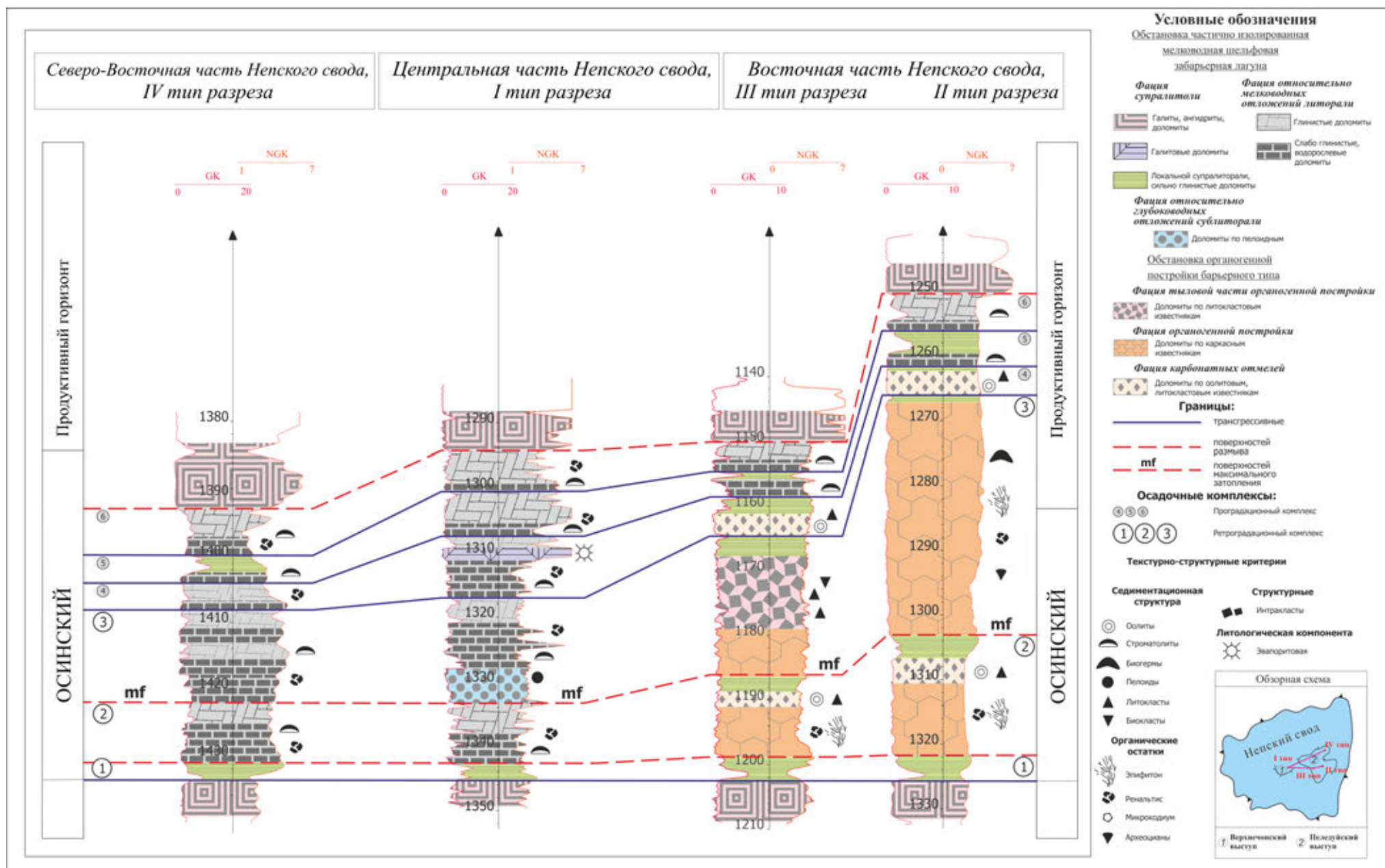


Рисунок 1. Каротажные фации отложений осинского горизонта Непского свода

Представляется следующий сценарий образования данных органогенных построек: первичными были поселения микрофитоцитов, которые не имели чётко оформленных и обызвествлённых фрагментов. Микрофитоциты продуцировали слизь, которая способствовала улавливанию тонкого материала и связыванию осадка. На образованных и слабовыраженных в рельефе морского дна аккумулятивных формах образовывались биоценозы, состоящие из цианобактерий - ренальтисов, дополненных корками макровел, ветвистых эпифитонов и археоциат. При этом ведущая роль в образовании постройки отводится организмам-цементаторам (Древние..., 2000).

Анализ долевого участия выделенных литотипов в строении разрезов осинского горизонта, а также общее изменение мощности горизонта в пределах изучаемого объекта, позволили разработать карту-схему литолого-фациального районирования для изучаемых отложений осинского горизонта (рис. 2).

В разрезах скважин района восточной и юго-восточной части Непского свода (южная часть Среднеботуобинского месторождения, Нижнечаяндинская площадь, юг Чаяндинского месторождения, Талаканское месторождение и Восточно-Талаканская площадь, а также восточная часть Северо-Талаканского месторождения, Верхнепеледуйское месторождение и области южнее) доля вторичных доломитов по первичным каркасным известнякам самая значительная. В данном районе скважинами вскрыта барьерная рифовая система осинского горизонта, мощность которой увеличивается в восточном и юго-восточном направлении (от 60 м и выше)

К осинской рифовой системе с севера-запада, запада и юго-запада примыкает центральный район, в разрезах скважин которого встречаются практически в равной доле вторичные известняки по каркасным и по литокластовым известнякам. Здесь, вероятно, скважинами вскрыта тыловая часть барьерной рифовой системы и наследующие органогенные постройки карбонатные отмели. В целом для этого района наблюдается уменьшение мощности с востока на запад от 60 до 50 м.

Тыловая часть барьерной рифовой системы на западе переходит в третий район, в разрезе которого мощность горизонта составляет 40 –50 м, а в составе отложений преобладают пелоидные и микрофитоцитовые доломиты, зачастую в различной степени глинистые, с прослоями ангидритов. В пределах этого района находятся Верхнечонское и Вакунайское месторождения, Северо-Чонская площадь, западная часть Тымпучиканского месторождения. Кроме того, в этот район входят некоторые из скважин Нижнехамакинской и Нижнечаяндинской площадей, Чаяндинского месторождения.

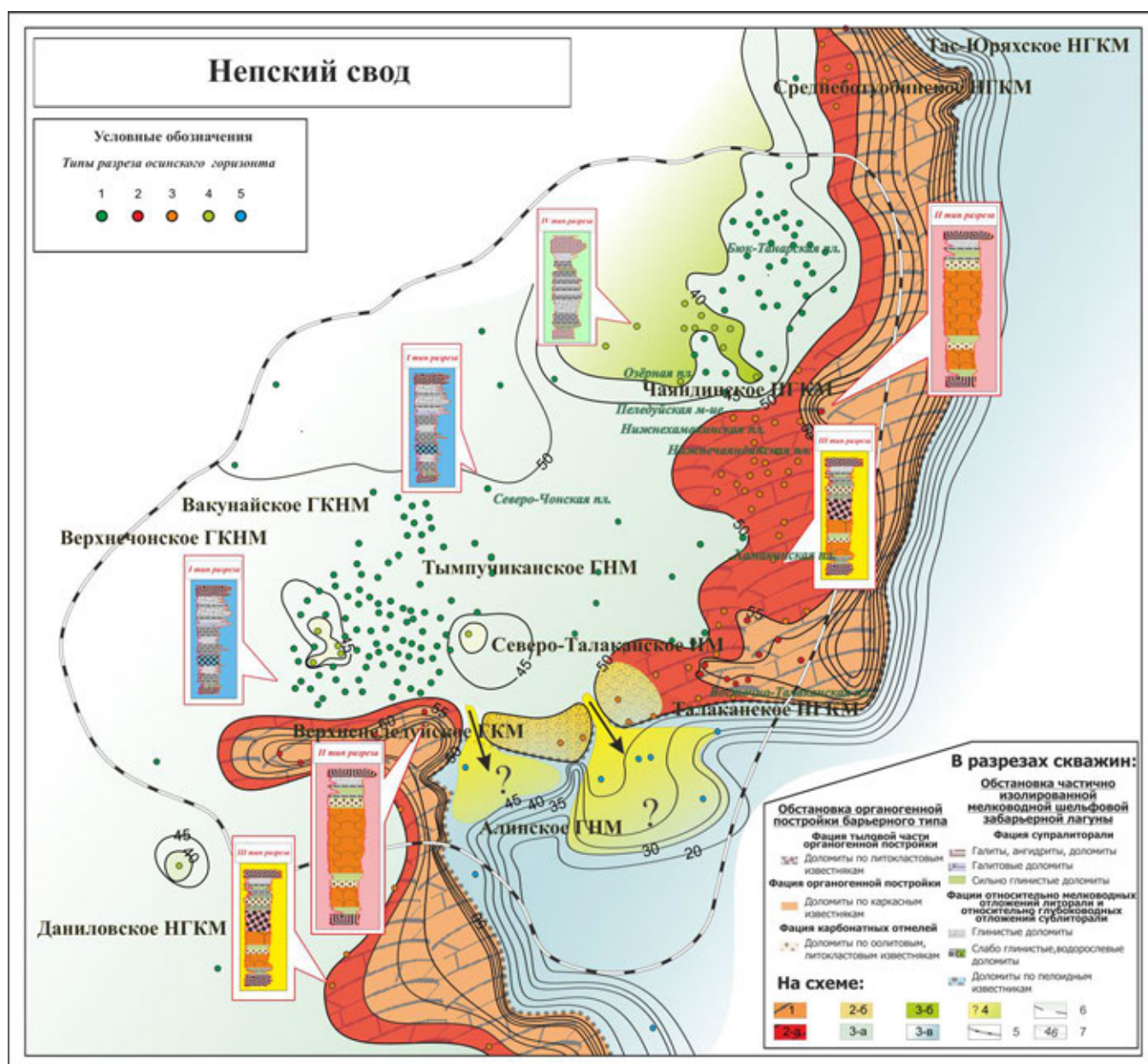


Рисунок. 2. Схема седиментационной зональности распространения отложений осинского горизонта в пределах Непского свода:

1 - осинская рифовая система; 2: а - тыловая часть рифовой системы, б - карбонатная отмель; 3 - преобладание отложений приливно отливной равнины и сублиторали: а - область развития относительно более глубоководные отложения забарьерной лагуны, б - область развития относительно более мелководные отложения забарьерной лагуны, в - область развития относительно более глубоководных отложений; 4 - конуса выноса, по Фортунатовой и др., 2010, 5- граница Непского свода; 6- область с отсутствием данных для выполняемых построений; 7- линии равных мощностей, м

Четвёртый район занимает северную часть изучаемого объекта. В его пределах расположены Нижнехамакинская и Озёрная площади, Пеледуйское месторождение, северная часть Чаяндинского месторождения и Бюк-танарская площадь. В разрезах скважин данного района преобладают отложения приливно-отливной равнины, представленные микритовыми и строматолитовыми разностями, мощностью менее 40 м.

В восточной части Непского свода мощности отложений осинского горизонта минимальны – до 20 м. Предположительно, здесь в осинское время существовали относительно глубоководные условия с некомпенсированным осадконакоплением. Наличие рифового уступа и прилегающего глубоководья фиксируется на региональном сейсмическом профиле Батолит.

Таким образом, увеличение мощности осинского горизонта и смена типов отложений с запада на восток свидетельствует о том, что в пределах центральной части Непского свода формирование осинского горизонта происходило в условиях частично изолированной шельфовой забарьерной лагуны с активным влиянием приливно-отливной деятельности. При этом вдоль восточной части Непского свода развивалась рифовая система барьерного типа. Исследуемый полигон затрагивает её тыловую часть.

Глава 4. Емкостная модель осинского горизонта нижнекембрийских отложений Непского свода

Одним из необходимых условий успешного решения геологоразведочных задач является прогноз качества коллекторов, требующий, как было показано выше, реконструкций условий накопления осадочных толщ, обладающих различным емкостным потенциалом.

4.1. Особенности строения коллекторов осинского горизонта Непского свода

Коллекторы в осинском горизонте распространены практически на всей территории изучаемой части Непского свода. Толщины их изменяются от нескольких до десятков метров. Открытая пористость пород-коллекторов изменяется в широких пределах от 5 до 20 %, при проницаемости $(0,2-4,5) \times 10^{-3}$ мкм².

Анализ петрофизических данных показал, что различные литотипы интенсивно вторично преобразованных отложений, разделение которых было выполнено по первичным седиментационным структурам (пелоидный доломит, литокластовый доломит, оолитовый доломит, водорослевой доломит и каркасный доломит), формируют на кроссплотах самостоятельные области распределения (рис. 3). Наилучшими емкостными свойствами обладают литокластовые доломиты, коэффициент пористости которых достигает 15%. Максимальные значения коэффициента пористости оолитовых доломитов, каркасных и водорослевых доломитов не превышает 12%, а для пелоидных доломитов - 7%. Полученные результаты определения коэффициента пористости по ГИС показали хорошую сходимость с коэффициентом пористости, определённым по керну.

Применительно к разработанной седиментационной модели осинского горизонта, лучшими емкостными свойствами обладают разнокристаллические доломиты тыловой

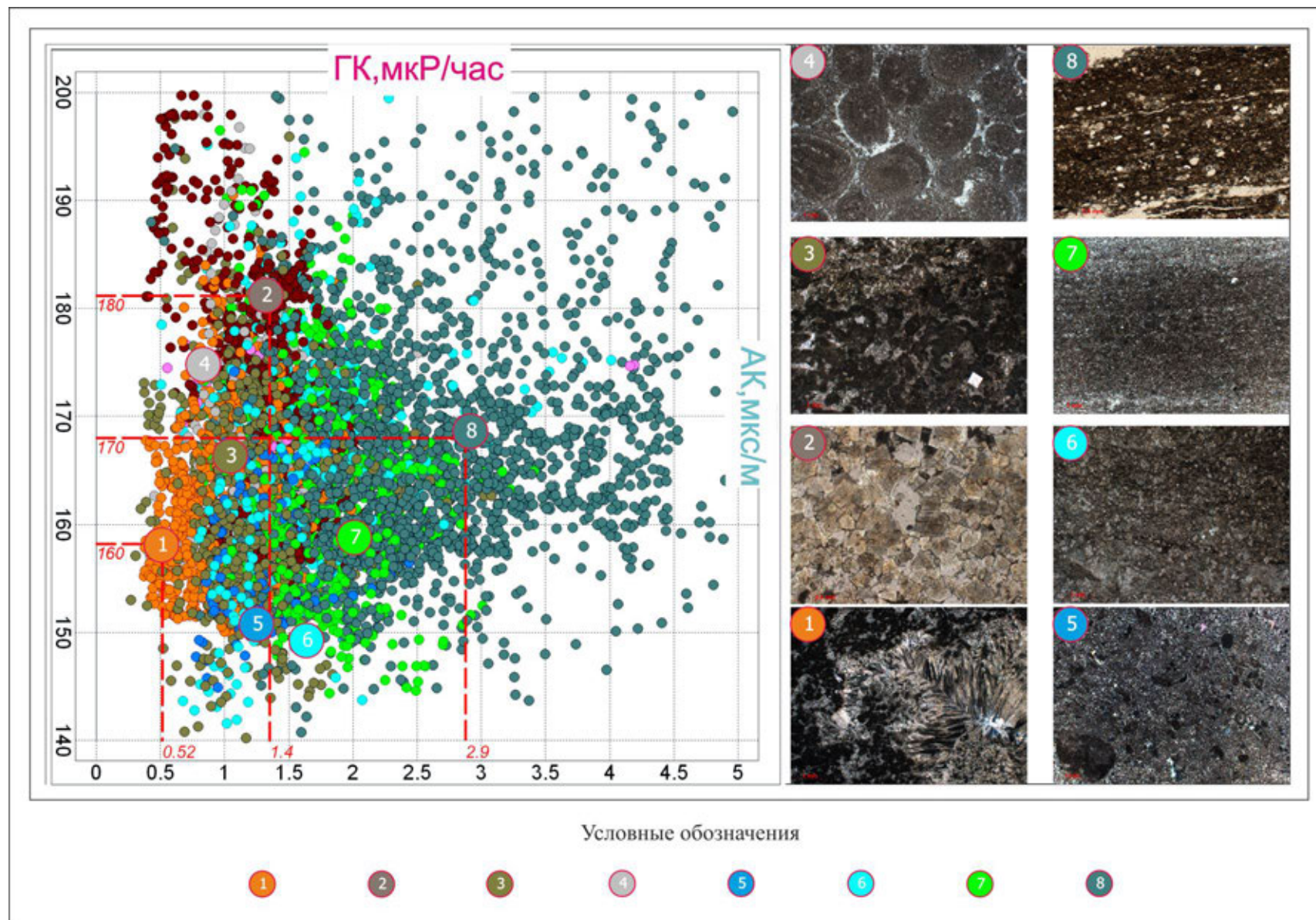


Рисунок 3. Интерпретационный кроссплот по сочетанию двух методов гамма-каротажа и акустического-каротажа (АК-ГК):

1-8 - вторичные доломиты: 1 - по каркасным известнякам; 2 - по литокластовым известнякам; 3 - по водорослевым известнякам; 4 - по оолитовым известнякам; 5 - по пелоидным известнякам; 6 - по слабо глинистым известнякам; 7 - по глинистым известнякам; 8 - по сильно глинистым известнякам

части рифового барьера и собственно рифового тела. Пустотное пространство в них представлено межкристаллическими пустотами и пустотами выщелачивания, наследующими межзерновую пористость и седиментационно-каркасную пористость. Поровые и порово-каверновые литокластовые и каркасные доломитовые литотипы образуют поровые и порово-каверновые типы коллекторов соответственно (рис. 4).

4.2. Преобладающие типы порового пространства и условия его формирования

Разработанная седиментационная модель осинского горизонта Непского свода свидетельствует о том, что накопление его отложений происходило в изменчивых условиях частично изолированной забарьерной лагуны, крупной органогенной постройки и её тыловой части, что обеспечило существование нескольких типов разреза осинского горизонта, каждому из которых свойственны определённые типы коллекторов с весьма устойчивыми значениями суммарных эффективных толщин.

В доломитах осинского горизонта встречены два основных типа пористости: межкристаллическая и пустотная. Образование межкристаллических пустот связано как с процессами вторичной доломитизации, так и с процессами заполнения межзерновых пор кристаллами доломита. Поры данного типа имеют изометричные, угловатые очертания; размер их меняется от 50 мкм до 0,5 мм. Расположение пор в породе обусловлено главным образом неравномерной доломитизацией исходной породы.

Пустоты выщелачивания, сформированные по внутрикаркасным и межзерновым пустотам, имеют размеры от 50 мкм до 5 мм. Их расположение во многом контролируется седиментационной структурой каркасных известняков, по которым были сформированы вторичные доломиты.

4.3. Влияние интенсивности и направленности постседиментационных процессов

В карбонатных породах осинского горизонта пористость и проницаемость зависит не только от условий накопления отложений, но и от постседиментационных преобразований. Взаимодействие карбонатных пород с высокоминерализованными эвапоритовыми рассолами вызвало образование вторичного доломита, ангидрита и галита. Кроме того, крайне мелководные условия накопления рассматриваемых отложений, многократные осушения морского бассейна – все это приводило к возможности формирования пустот выщелачивания метеорными водами. Большая их часть заполнена галитом, кальцитом или ангидритом, однако в разрезе (в первую очередь, в доломитах по каркасным и литокластовым известнякам) встречаются и открытые пустоты выщелачивания. Встречаемые в разрезе осинского горизонта коллекторы характеризуются очень сложным строением пустотного пространства, включающего поры, каверны и

трещины, что предопределено как условиями накопления карбонатного осадка, так и многоактными преобразованиями его в процессе литогенеза.

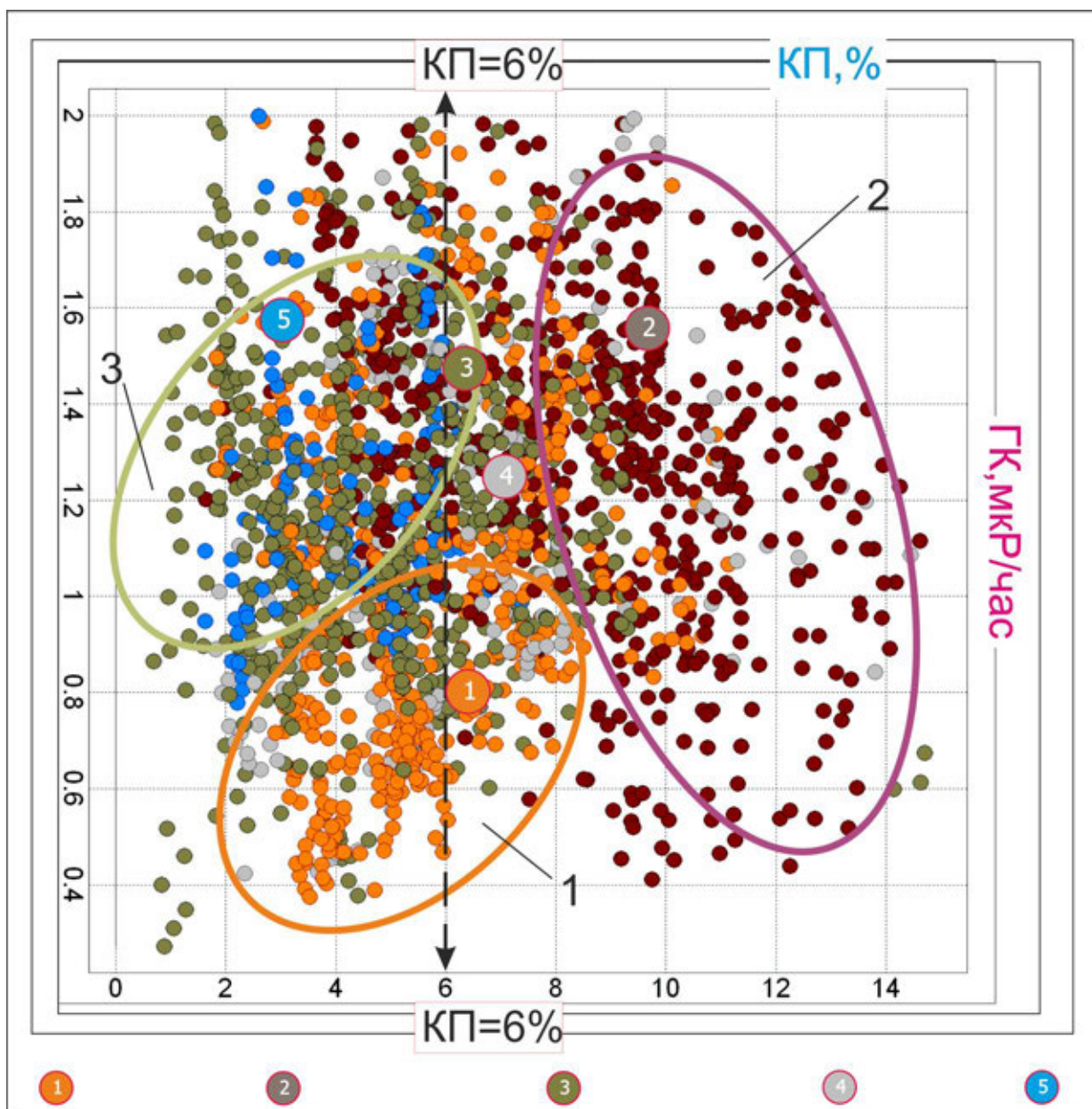


Рисунок 4. Интерпретационный кроссплот по сочетанию двух методов гамма-каротажа и коэффициентов пористости вторичных доломитов осинского горизонта (ГК-КП). 1-5 – типы вторичных доломитов: 1 – по каркасным известнякам; 2 – по литокластовым известнякам; 3 – по водорослевым известнякам; 4 – по оолитовым известнякам; 5 – по пелоидным известнякам.

Однако именно первичная структура пород предопределяет не только формирование и сохранение пустотного пространства, но и направленность развития вторичных процессов. Разработанная схема изменения средневзвешенного коэффициента пористости наглядно демонстрирует зональность, отвечающую седиментационной, независимо от интенсивных вторичных изменений. Лучшими коллекторскими свойствами в разрезе осинского горизонта Непского свода обладают вторичные разнокристаллические

доломиты, развивающиеся по оолитовым, литокластовым и каркасным известнякам, которые являются коллекторами порового и порово-кавернового типа.

4.4. Прогноз качества коллекторов и разработка моделей резервуаров Непского свода

В отложениях осинского горизонта прогнозируется области развития трёх типов резервуаров, с принципиально различным качеством коллекторов.

1. Массивные природные резервуары, связанные с отложениями рифовой системы, развиты в разрезах скважин юго-восточного района (южная часть Среднеботуобинского месторождения, Нижнечаяндинская площадь, юг Чаяндинского месторождения, Талаканское месторождение и Восточно-Талаканская площадь, а также восточная часть Северо-Талаканского месторождения, Верхнепеледуйское месторождение и области южнее), где распространены отложения второго типа разреза осинского горизонта с максимальной долей вторичных доломитов по первичным каркасным известнякам. Лучшими емкостными свойствами характеризуются порово-каверновые доломиты по каркасным и литокластовым известнякам. Пористость изменяется от 5% до 15%, средневзвешенный коэффициент пористости больше 7%. В этом районе суммарная мощность коллекторов достигает 25 м. Развитие данного типа резервуара прогнозируется также на восточном склоне Непского свода.

2. Природные резервуары смешанного типа в отложениях тыловой части рифа встречены в западной части Талаканского и Чаяндинского месторождений, на Хамакинской площади. Здесь в разрезе доминируют вторичные известняки по каркасным известнякам и литокластовым известнякам. Лучшими емкостными свойствами характеризуются главным образом порово-каверновые доломиты по каркасным и литокластовым известнякам. Пористость изменяется от 5% до 10%, средневзвешенный коэффициент пористости больше 6%. В этом районе суммарная мощность коллекторов достигает 24 м. Данный тип резервуара прогнозируется полосой вдоль осинской рифовой системы, в южной и центральной части объекта исследования.

3. Слоистые природные резервуары в приливно-отливных отложениях развиты в пределах Верхнечонского и Вакунайского месторождения, на Северо-Чонской площади, на западе Тымпучиканского месторождения, а также на Нижнехамакинской, Нижнечаяндинской и Озёрная площади, на отдельных участках Пеледуйского и Чаяндинского месторождений, на части Бюк-Танарской площади. Лучшие емкостные свойства присущи поровым и порово-каверновым доломитам по водорослевым (микрофитолиновым) известнякам. Пористость изменяется от 2% до 9%, средневзвешенный коэффициент пористости – от 2% до 6%. В этом районе суммарная

мощность коллекторов минимальная для всего объекта исследования (в среднем 5 м). Распространение резервуаров этого типа прогнозируется, кроме того, в центральной, северной и северо-восточной части изучаемой области Непского свода.

Таким образом, несмотря на то, что отложения осинского горизонта интенсивно вторично преобразованы, дифференциация природных резервуаров по свойствам и качеству связана главным образом со спецификой их образования (рис. 5).

Заключение

Выполненные исследования позволяют заключить, что накопление осинского горизонта в пределах центральной части Непского свода происходило в условиях частично изолированной шельфовой забарьерной лагуны с активным влиянием приливно-отливной деятельности, в то время как вдоль восточной части Непского свода развивалась органогенная постройка барьерного типа и её тыловая часть. По своей природе такое строение осинского горизонта отвечает модели окаймленного шельфа.

Отложения осинского горизонта имеют чётко выраженное циклитовое строение. В разрезе выделено шесть «обмеляющихся кверху» элементарных циклитов, границами которых являются трансгрессивные поверхности. Проведённый анализ последовательности наложения полигенных осадков в разрезе циклитов, а также их мощностей показал, что для первого, второго и третьего циклитов характерно ретроградационное строение, что свидетельствует о накоплении их в период наращивания аккомодационного пространства, характерного трансгрессии моря. Для четвёртого, пятого и шестого циклитов характерна проградационная последовательность, что свидетельствует о заполнении аккомодационного пространства и проявлении регрессии.

Отложения осинского горизонта интенсивно преобразованы постседиментационными процессами, однако седиментационная неоднородность карбонатов прослеживается в структуре современных пород и отображается в их различных фильтрационно-емкостных свойствах. Лучшими емкостными свойствами обладают вторичные разнокристаллические доломиты, где пустотное пространство представлено межкристаллическими пустотами и пустотами выщелачивания, наследующими седиментационно-каркасную и межзерновую пористость.

Установленные закономерности строения отложений осинского горизонта в центральной и восточной частях Непского свода позволили определить приуроченность к определённым зонам соответствующих типов резервуаров. Так в центральной части Непского свода, в области распространения отложений приливно-отливных равнин (разрезы первого и четвёртого типов), развиты слоистые природные резервуары, характеризующиеся слабой сообщаемостью коллекторов по вертикали. Лучшими

Непский свод



Рисунок 5. Принципиальная схема строения резервуаров и качества коллекторов осинского горизонта:

на профиле: 1 - осинская рифовая система; 2: а - тыловая часть рифовой системы, б - карбонатная отмель; 3 - преобладание отложений приливоно отливной равнины и сублиторали: а - область развития относительно более глубоководные отложения забарьерной лагуны, б - область развития относительно более мелководные отложения забарьерной лагуны, в - область развития относительно более глубоководных отложений.

емкостными свойствами в них обладают в большей степени порово-каверновые доломиты по водорослевым известнякам. Для восточной части Непского свода характерны массивные резервуары, в которых коллекторами являются разнокристаллические вторичные доломиты, приуроченные к органогенной постройке, формирующие хорошо сообщающиеся между собой проницаемые пласты.

Таким образом, результаты исследования способствуют выявлению новых объектов для поискового бурения и оптимизации геологоразведочных работ в регионе.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

В научных журналах, рекомендованных ВАК РФ:

1. Мальков И.П. Условия формирования осинского горизонта центральной и восточной частей Непского свода // Геофизические исследования, 2014, том 15, № 1, С. 66 – 77.
2. Мальков И.П. Условия формирования продуктивных пластов БС10-11 северо-восточной части Сургутского свода (Западная Сибирь) // Разведка и охрана недр, 2011, № 3, С. 33-36.

В материалах и тезисах научных конференций:

3. Мальков И.П. Условия осадконакопления осинского горизонта в центральной и восточной частях Непского свода // Электронный сборник тезисов докладов третьей международной научно-практической конференции «Калининград-2013».
4. Мальков И.П. Седиментационно-емкостное моделирование отложений осинского горизонта центральной и восточной частей Непского свода // Сборник материалов VII Всероссийского литологического совещания «Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории», 2013, том 2, С. 230 – 233.

ДЛЯ ЗАМЕТОК