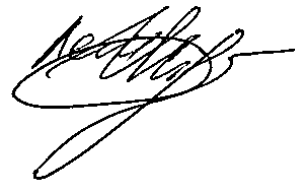


На правах рукописи



ЛЕМЕШКО МАРИЯ НИКОЛАЕВНА

ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ЛОКАЛИЗАЦИИ
КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ УСТЬ-КУТСКОГО НЕФТЕНОСНОГО
ГОРИЗОНТА ЦЕНТРАЛЬНЫХ РАЙОНОВ НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ
АНТЕКЛИЗЫ

Специальность 25.00.16 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая
геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальном исследовательском Томском политехническом университете»

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
профессор **Поцелуев Анатолий Алексеевич**

Официальные оппоненты:

- Запивалов Николай Петрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории электромагнитных полей ФГБУН «Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука» Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), г. Новосибирск.

- Зими́на Светлана Валерьевна, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий отделом геологии нефти и газа Томского филиала акционерного общества «Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья» (ТФ АО «СНИИГГиМС»), г. Томск

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (НИ ТГУ), г. Томск.

Защита состоится «26» мая 2016 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.12 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30 (корпус 20, ауд. 504).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 55 и на сайте <http://portal.tpu.ru/council/2802/worklist>

Автореферат разослан « » 2016 г.

И.о. ученого секретаря диссертационного совета,
доктор физико-математических наук

 М.В. Коровкин

Общая характеристика работы

Актуальность темы.

Непско-Ботуобинская нефтегазоносная область по уровню освоения и перспективам открытия залежей углеводородов является ведущей как в пределах Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции, так и в целом в Восточной Сибири. ОАО «НК «Роснефть», которая располагает здесь значительным количеством лицензионных участков, рассматривает этот регион в качестве одного из ключевых с позиции перспектив наращивания запасов углеводородного сырья.

Основные перспективы открытия новых месторождений углеводородов в Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области связаны с карбонатными венд-кембрийскими отложениями осинского, усть-кутского, преображенского горизонтов, которые изучены скважинами по многим перспективным площадям. Однако их изученность носит неполный характер и далеко не все площади охвачены комплексом детальных исследований (Гурова, 1988; Шемин, 2007; Мельников, 2009 и др.).

Исследованиями литологических особенностей, минерального состава, распределения пород-коллекторов, условий образования венд-кембрийских отложений Непско-Ботуобинской антеклизы занимались Н.М. Скобелева, Л.С. Чернова, Т.И. Гурова, И.А. Бурова, О.В. Постникова, Г.Г. Шемин, С.Г. Шашин, А.И. Ларичев, Ю.Л. Брылкин, Н.Е. Гущина, В.С. Воробьев, А.П. Вилесов, Е.М. Хабаров, И.В. Вараксина, Е.А. Губина и другие. Более подробно усть-кутский продуктивный горизонт рассмотрен в работах И.А. Буровой, Л.С. Черновой, Т.И. Гуровой, на современном этапе Е.А. Губиной, где он изучен в скважинах Верхнечонского, Даниловского месторождений, Вилуйско-Джербинской, Верхневилучанской площадях и др. В публикациях этих авторов выделены различные литологические типы, описаны основные вторичные изменения, рассмотрены коллекторские свойства и условия образования отложений горизонта.

Автором был выбран усть-кутский продуктивный горизонт, вскрытый скважинами в 2009-2012 гг. Особенностью горизонта является весьма низкая проницаемость нефтеносных отложений и широкое распространение постседиментационных процессов, которые привнесли неоднородность фильтрационно-емкостных свойств, как по площади, так и по разрезу. Применение стандартных методов изучения слабопроницаемых карбонатных отложений не позволяет локализовать участки, дающие существенные притоки нефти из пластов. Повышение притоков нефти часто достигается с помощью методов интенсификации, что требует знание литологии и структуры пустотного пространства. В связи с этим возникла необходимость всесторонне изучить литологические особенности, фильтрационные и емкостные свойства, фациальные и геохимические условия образования отложений, разработать критерии выделения коллекторов, для эффективного прогнозирования зон с улучшенными коллекторскими свойствами, выбора оптимального режима освоения и определения районов поисков новых залежей нефти.

Актуальность темы обусловлена слабой изученностью отложений усть-кутского горизонта, сложностью строения и специфичностью состава нефтеносных толщ.

Район исследований находится на западе, северо-западе Непского свода в центральной части Непско-Ботубинской нефтегазоносной области, приуроченной к одноименной антеклизе. В работе детально изучены отложения усть-кутского горизонта, вскрытые скважинами в пределах четырех лицензионных участков (ЛУ) – Восточно-Сугдинского, Могдинского, Санарского, Преображенского (рис. 1).

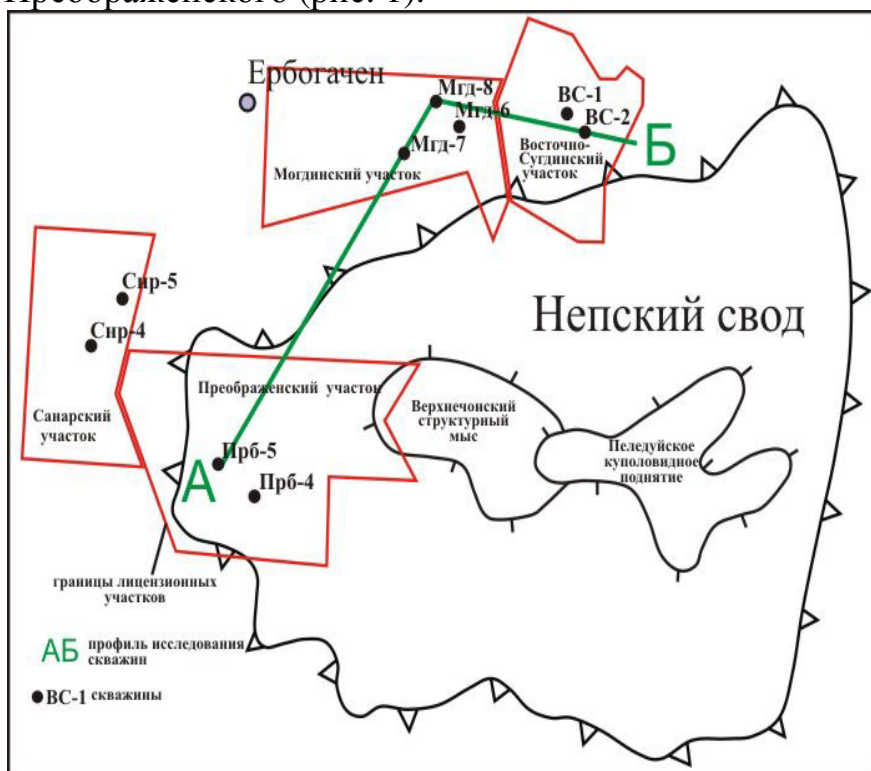


Рис. 1. Фрагмент тектонической схемы Непско-Ботубинской антеклизы.

Цель работы – выделить литогенетические типы карбонатных отложений усть-кутского горизонта, установить их пространственное положение в осадочном бассейне, оценить их нефтеносность, изучить коллекторские свойства и проанализировать геохимические условия обстановок осадконакопления отложений, разработать критерии локального прогноза коллекторов.

Основные задачи исследований:

- составление общей характеристики разреза по керновым данным;
- выделение в разрезе и описание основных литогенетических типов пород;
- составление обобщенной схемы-модели формирования литогенетических типов в осадочном бассейне;
- анализ фильтрационно-емкостных свойств и структуры пустотного пространства;
- оценка влияния постседиментационных процессов на коллекторские свойства пород;

- выявление зон с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами и характеристика нефтенасыщенности пород-коллекторов;
- установление связи нефтенасыщения с постседиментационными процессами;
- реконструкция и анализ условий осадконакопления по рассчитанным геохимическим показателям;
- разработка комплекса критериев локального прогноза коллекторов для постановки первой очереди разведочно-эксплуатационных работ.

Объектом исследования являются карбонатные отложения усть-кутского продуктивного горизонта тэтэрской свиты центральных районов Непско-Ботубинской антеклизы.

Защищаемые положения.

1. В строении усть-кутского горизонта центральной части Непско-Ботубинской антеклизы выделено 4 литогенетических типа отложений, занимающие определенное пространственное положение в осадочном бассейне (зернистые доломиты, включая интракластовые и перекристаллизованные; микритовые (кристаллические) доломиты в разной степени перекристаллизованные; доломит-ангидритовые породы с содержанием ангидрита выше 30 %, строматолитовые доломиты). Наиболее перспективным, с позиции формирования коллекторов является первый тип.

2. Формирование пустотного пространства пород усть-кутского горизонта произошло на постседиментационной стадии эволюции бассейна (позднего диагенеза). При этом процессы перекристаллизации и выщелачивания наиболее положительно повлияли на коллекторские свойства пород-коллекторов. В изученном разрезе лучшими фильтрационно-емкостными свойствами и высоким нефтенасыщением обладают породы верхнего усть-кутского пласта (Б₃₋₄), содержащие смолистые битумоиды.

3. Разработан комплекс критериев локального прогноза коллекторов для постановки первой очереди разведочно-эксплуатационных работ, включающий фациальные, геохимические (V/Cr , Mo/Mn , Sr/Ba , $\sum Ce/\sum Y$, $LREE/HREE$) и литологические критерии.

Научная новизна. Личный вклад.

1. Впервые проведена литогенетическая типизация пород усть-кутского горизонта центральной части Непско-Ботубинской антеклизы, составлена обобщенная схема-модель их формирования. Выделен литогенетический тип пород (зернистые доломиты) как наиболее перспективный на выявление зон с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами.

2. Охарактеризована структура пустотного пространства пород усть-кутского горизонта. Впервые проведена количественная оценка пор и каверн, наличия в них солей и установлена корреляционная зависимость между этими параметрами и фильтрационно-емкостными свойствами пород.

3. Показана связь фильтрационно-емкостных свойств пород усть-кутского горизонта с постседиментационными процессами.

4. Нефтенасыщение карбонатных пород усть-кутского горизонта впервые оценено люминесцентно-микроскопическим экспресс-методом, результаты которого уверенно согласуются с результатами пиролитического анализа.

5. Условия формирования отложений усть-кутского горизонта впервые реконструированы и проанализированы с использованием геохимических показателей по элементам-примесям.

6. Определены критерии локального прогноза карбонатных коллекторов с улучшенными коллекторскими свойствами.

Фактический материал и методы исследования.

Литолого-седиментологические, петрофизические и геохимические исследования были выполнены на базе ОАО ТомскНИПИнефть, ОАО НПЦ «Тверьгеофизика», ИНГГ СО РАН в рамках договорных работ с ООО «РН-Эксплорейшн».

Анализы были выполнены сотрудниками лаборатории седиментологии, физики пласта, геохимии ОАО ТомскНИПИнефть (М.Н. Лемешко, Я.Н. Рощина, Е.Д. Полумогина, Ю.М. Лопушняк, Н.В. Обласов, Р.С. Кашапов, Е.Г. Ачкасова и др.), ИНГГ СО РАН (И.В. Вараксина, Е.М. Хабаров и др.), ОАО НПЦ «Тверьгеофизика» (А.Н. Никитин, Н.В. Конюхова и др.).

Автором изучено 9 разрезов скважин, представленных 542 метрами кернового материала. Исследовано 419 шлифов, по которым был изучен вещественный состав, постседиментационные изменения и особенности пустотного пространства пород. Детальная характеристика структуры пустотного пространства была получена в ходе обработки около 150 снимков растровой электронной микроскопии. Количественное соотношение содержания минералов в породе установлено по результатам РФА (506 образцов). Характеристика коллекторских свойств пород получена в результате обработки 1323 определений пористости и проницаемости. Состав и распределение битумоидов в породах изучен люминесцентно-микроскопическим методом в 500 образцах. Геохимическая характеристика условий осадконакопления основывалась на данных ICP-MS анализа (11 образцов).

Степени достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность, предложенных автором выводов и рекомендаций, проверялась путем сравнения полученных результатов литолого-фациального анализов с данными рентгеноструктурного, ICP-MS анализа и интерпретацией геолого-геофизических материалов. Результаты люминесцентно-микроскопического анализа подтверждены данными пиролитического анализа.

Практическая значимость.

Практическая значимость работы и реализация результатов заключается в возможности использования выявленных закономерностей в совокупности с

литологическими, фациальными и геохимическими критериями локального прогноза коллекторов для постановки первой очереди разведочно-эксплуатационных работ. Проведенная литогенетическая типизация, анализ фильтрационно-емкостных свойств и условий осадконакопления отложений усть-кутского продуктивного горизонта являются неотъемлемой частью исследований, необходимых для эффективного промышленного освоения месторождений.

Предложенный в работе методический подход исследований может быть использован для локального прогноза зон улучшенных коллекторских свойств карбонатных отложений со схожими условиями образования слабопроницаемых коллекторов. Полученные результаты также планируется использовать для расчета и выбора технологических операций по воздействию на пласт для составления схем разработки и добычи углеводородов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. По направленности решаемых задач область диссертационного исследования соответствует паспорту специальности 25.00.16 - «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр», а именно пункту **8** - *«Анализ и типизация горно-геологических условий месторождений твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых, для их эффективного промышленного освоения»* и 10 - *Разработки и совершенствование методов и систем обработки геологической, маркшейдерской и геофизической информации, а также методов моделирования месторождений, прогнозирования горно-геологических явлений и процессов, создание основ управления ими при горных работах.*

Публикации и апробация работы.

По теме диссертационной работы опубликовано 10 научных статей, из которых 3 статьи опубликованы в журналах, рекомендуемых ВАК РФ.

Полученные в ходе работы выводы и обобщения представлялись на научно-практических конференциях: молодых специалистов ОАО «ТомскНИПИнефть» (г. Томск, 2011, 2012 г.); «Современные вызовы при разработке и обустройстве месторождений нефти и газа Сибири» (Томск, 2011); научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Трофимуковские чтения-2011» (г. Новосибирск, 2011 г.); XV и XVII международном научном симпозиуме студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2011, 2013 г.); II Регионального совещания, посвященного 100-летию со дня рождения доктора геолого-минералогических наук Л.Н. Ботвинкиной (г. Томск, 2012 г.).

Структура и объем диссертации.

Диссертация включает введение, семь глав, заключение, список цитируемой литературы.

Полный объем диссертации составляет 156 страниц, в том числе 67 рисунков и 16 таблиц. Список литературы содержит 118 наименований.

Во введении обсуждается актуальность работы, изученность объекта исследований, цели и задачи, научная новизна, научная и практическая значимость диссертации.

В первой главе приведен обзор исследований венд-кембрийских карбонатных отложений и обоснование выбора используемой в работе классификации карбонатных пород.

Во второй главе описание геологического строения, нефтегазоносности, стратиграфии и тектоники центральных районов Сибирской платформы.

В третьей главе дана методика литолого-геохимического исследования карбонатных отложений усть-кутского горизонта.

В четвертой главе приведена литологическая характеристика карбонатных пород, а также строение усть-кутского горизонта, описание разреза и выделенных литогенетических типов.

В пятой главе рассмотрены коллекторские свойства и постседиментационные изменения карбонатных отложений усть-кутского горизонта, описана структура пустотного пространства и нефтенасыщение пород. Исследовано влияние постседиментационных изменений на характер пустотного пространства и фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов. Проведен анализ состава и распространения битумоидов в породах, обоснована связь нефтенасыщения с коллекторскими свойствами.

Шестая глава посвящена реконструкции обстановок осадконакопления в усть-кутское время по геохимическим показателям, рассчитанным по результатам ICP-MS анализа пород.

В седьмой главе описаны критерии локального прогноза пород-коллекторов в карбонатных отложениях усть-кутского горизонта.

В заключении сформулированы итоги выполненных автором исследований.

Диссертация выполнена в институте «ТомскНИПИнефть» и Национальном исследовательском Томском политехническом университете под научным руководством профессора, доктора геолого-минералогических наук Поцелуева Анатолия Алексеевича, которому автор выражает признательность и глубокую благодарность. Автор выражает особую благодарность Шалдыбину Михаилу Викторовичу и Жуковской Елене Анатольевне за научное консультирование и ценные советы на всех этапах подготовки работы. Также автор признателен за неоценимую поддержку и советы Лемешко Д.И., Парначеву С.В., Шаминовой М.И., Полумогиной Е.Д., Мурзиной Н.С., Рощиной Я.Н., Гайдуку А.В., Каячеву Н.Ф., Обласову Н.В., коллективу лаборатории седиментологии, геохимии и физики пласта ДЛИ ОАО «ТомскНИПИнефть».

Обоснование защищаемых положений

ПОЛОЖЕНИЕ 1. В строении усть-кутского горизонта центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы выделено 4 литогенетических типа отложений, занимающие определенное пространственное положение в

осадочном бассейне (зернистые доломиты, включая интракластовые и перекристаллизованные; микритовые (кристаллические) доломиты в разной степени перекристаллизованные; доломит-ангидритовые породы с содержанием ангидрита выше 30 %, строматолитовые доломиты). Наиболее перспективным, с позиции формирования коллекторов является первый тип.

В изученных разрезах скважин, пробуренных в 2009-2012 г.г. в центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы усть-кутский горизонт имеет строение, схожее с описанным в работах Н.В. Мельникова, Г.Г. Шемина, Т.И. Гуровой и др. для разных районов Сибирской платформы. В усть-кутском горизонте выделяется два пласта - верхний (Б₃₋₄) и нижний (Б₅), разделенные глинисто-карбонатно-сульфатной перемычкой. Основными породами усть-кутского продуктивного горизонта являются доломиты, реже отмечаются известковистые доломиты (с незначительной примесью кальцита и разным содержанием нерастворимого остатка).

По результатам петрографического анализа, автором были выделены генетически и структурно однородные осадочные единицы – литогенетические типы усть-кутского горизонта. За основу взяты классификации Е.М. Хабарова и Р. Данхема (Хабаров, 1985; Dunham, 1962) (таблица 1).

Таблица 1

Литогенетические типы усть-кутского горизонта
центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы

Литогенетические типы		Микрофации	
А Зернистые и микритово (кристаллически)-зернистые доломиты	А₁ Оолитовые и оолитоподобные	Баровые острова	Баровые острова
	А₂ Сгустковато-комковатые (пелоидные)		Тыловые части баровых островов
	А₃ Интракластовые, обломочные		Разрушенные баровые острова и органогенные постройки
	А₄ Пятнистые (неравномерно полностью перекристаллизованные)		
Б Микритовые (кристаллические) доломиты	Б₁ Микритовые и микро-тонкоккристаллические с примесью глинистого вещества	Лагуны, илистые отмели	
	Б₂ Однородные (равномерно полностью перекристаллизованные)		
В Доломит-ангидритовые породы (содержание ангидрита выше 30 %)		Лагуны, илистые отмели повышенной солености	
Г Строматолитовые доломиты		Органогенные постройки	

Распространение литогенетических типов по разрезу неравномерное (рис. 2.). Верхний усть-кутский пласт Б₃₋₄ мощностью 30-35 м сложен зернистыми доломитами типа А, которые переслаиваются с микритовыми и ангидритовыми доломитами типов Б и В и аргиллитами. Нижний усть-кутский горизонт (пласт Б₅) мощностью 15-20 м сложен преимущественно зернистыми доломитами типа А. Прослои доломитов типов Б и В и аргиллитов являются перекрывающими и

подстилающими. Доломиты строматолитовые типа Г широко не распространены в разрезе и встречаются в виде единичных прослоев толщиной до 5 м.

Отложения усть-кутского горизонта сформировались в мелководных условиях при влиянии приливно-отливных течений с образованием баровых систем и строматолитовых построек, разделенных илистыми отмелями (рис.3). Доломиты оолитовые (подтипа А₁) формировались при очень высокой гидродинамической активности среды в обстановке отмелей волновой зоны, образуя баровые системы, о чем свидетельствует хорошая сортировка форменных элементов, округлые образования – оолиты и невысокое содержание микрита.

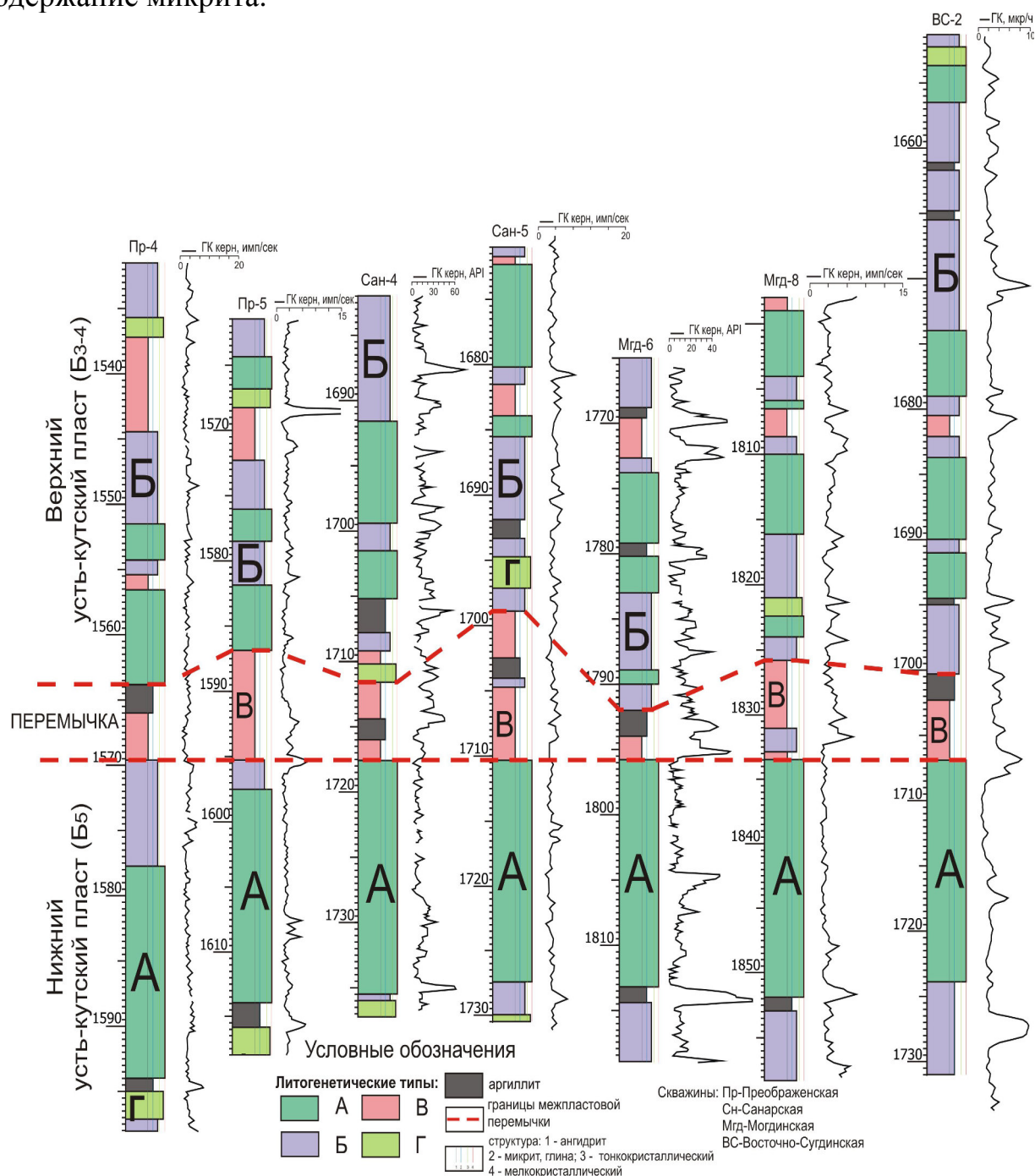


Рис. 2. Распределение литогенетических типов по разрезам скважин.

В тыловой части баров, где волновая энергия слабее, формировались комки (пелоиды) и пизолиты (подтип А₂). Образование баров происходило при восстановлении нормальных морских условий. При снижении уровня моря баровые острова и строматолитовые постройки выходили на поверхность и подвергались переработке приливно-отливными течениями и волнениями, вследствие чего формировались интракластовые и обломочные породы (подтип А₃). Интракласты в зернистых породах нередко состоят из фрагментов строматолитовых слоев и округлых образований.

Доломиты типа Б в большом количестве содержат микритовый и глинистый материал, который накапливался при спокойном гидродинамическом режиме в лагунах, за барами и водорослевыми постройками и между ними. При падении уровня моря мелководный шельф частично изолировался, повышалась соленость, что способствовало образованию доломитов глинистых (типа Б) и доломит-ангидритовых пород (типа В) в обстановке лагун и на илистых отмелях. Строматолиты в усть-кутское время представляли собой, по-видимому, мелкие постройки, которые формировались при воздействии приливно-отливных течений в хорошем освещении и активной гидродинамике вод (тип Г).

Таким образом, подробное изучение литологического строения и реконструкция условий осадконакопления, позволило выявить породы способные быть потенциальными коллекторами. Это зернистые доломиты, образующие баровые системы, с благоприятной первичной структурой.

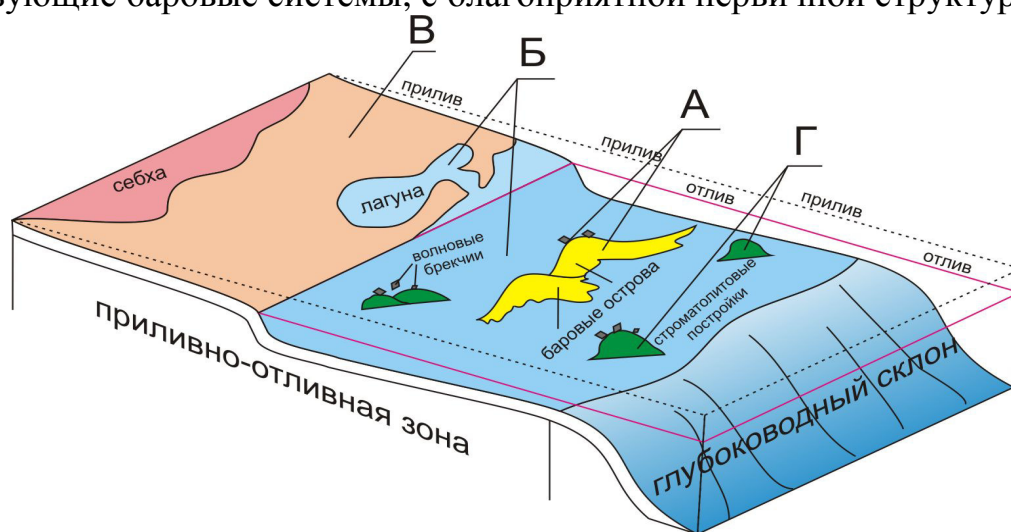


Рис. 3. Обобщенная схема-модель формирования литогенетических типов пород усть-кутского горизонта.

ПОЛОЖЕНИЕ 2. Формирование пустотного пространства пород усть-кутского горизонта произошло на постседиментационной стадии эволюции бассейна (позднего диагенеза). При этом процессы перекристаллизации и выщелачивания наиболее положительно повлияли на коллекторские свойства пород-коллекторов. В изученном разрезе лучшими фильтрационно-емкостными свойствами и высоким нефтенасыщением обладают породы верхнего усть-кутского пласта (Б₃₋₄), содержащие смолистые битумоиды.

Для оценки коллекторских свойств использованы данные петрофизических исследований. Установлено, что в целом породы горизонта обладают низкими коллекторскими свойствами (по классификации И.А. Конюхова, 1964). Значения открытой пористости варьируют 0...18 %. Проницаемость пород весьма низкая. Более 50 % образцов обладают проницаемостью близкой к нулю. В каждом литогенетическом типе отмечается прямая пропорциональность зависимости пористости от проницаемости.

Основной объем пустот связан с порами и кавернами. В породах усть-кутского горизонта было выделено три генетических типа пор, которые формируют пустотное пространство:

1. Остаточные седиментационные межзерновые поры. Они сохранились между форменными элементами в зернистых и микритово-зернистых доломитах (типа А). Содержание пустот данного типа не превышает 5 %.

2. Поры перекристаллизации. Предположительно образуются в результате перекристаллизации спаритового цемента или микрита. Они занимают до 10 % от объема пород. Исключение составляют доломиты полностью перекристаллизованные (подтип А₄ и Б₂), в которых эти поры слагают основной объем пустотного пространства.

3. Поры выщелачивания. Имеют широкое распространение в доломитах усть-кутского горизонта. Часто эти пустоты минерализованы. Содержание пустот выщелачивания в зернистых доломитах варьирует от 10 до 25 %.

Кроме охарактеризованных выше типов пор, небольшой вклад в формирование пустотного пространства вносят субвертикальные короткие микротрещины.

По разрезу усть-кутского горизонта, в целом, невысокие показатели проницаемости пород свидетельствуют о наличии изолированных и запечатанных пор и каверн, но прямая зависимость от пористости позволяет сделать вывод о существовании сообщающихся открытых пор, каверн и о некоторых раскрытых трещинах. Расчет средних значений для каждого литогенетического типа показал, что наиболее высокой пористостью и проницаемостью относительно других пород, обладают зернистые доломиты (тип А) и полностью перекристаллизованные доломиты, в которых первичная структура не сохранилась (подтип А₄ и Б₂) (рис.4).

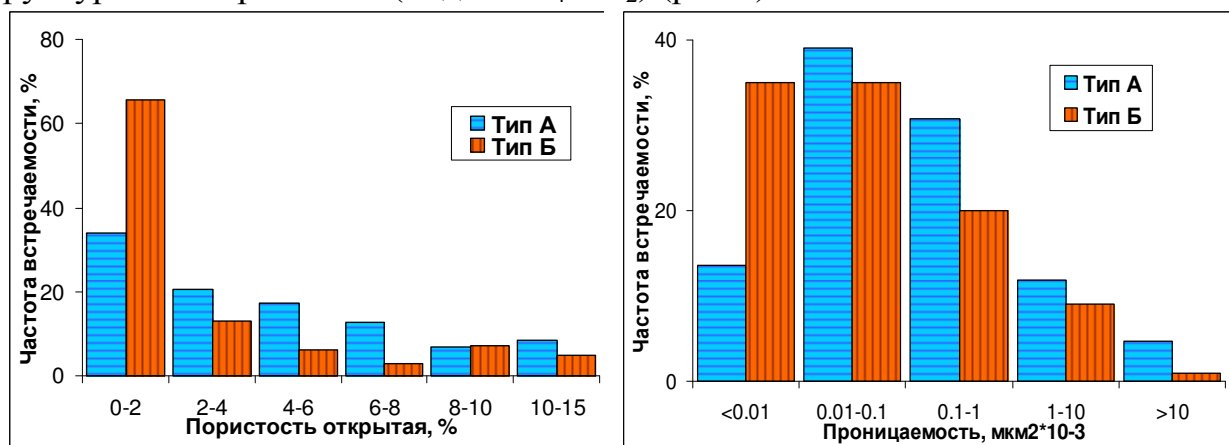


Рис. 4. Гистограмма распределения пористости (слева) и проницаемости по газу (справа) для литогенетических типов А и Б.

Распределение пористости и проницаемости по разрезу, показало, что наиболее высокие значения наблюдаются в верхнем усть-кутском пласте, который более расчленен по литологическим типам (рис. 5).

Неоднородное распределение фильтрационно-емкостных свойств отмечается внутри литогенетических типов. Такая неоднородность может указывать на то, что на формирование коллекторов оказали большое влияние постседиментационные процессы.

В отложениях усть-кутского горизонта наиболее распространены следующие вторичные (постседиментационные) процессы: метасоматическая доломитизация, перекристаллизация, выщелачивание, сульфатизация, трещиноватость (микростилолиты), окремнение, засоление. Для оценки влияния вторичных процессов на ФЕС пород автором были подсчитаны количественные характеристики: пор перекристаллизации, открытых и «залеченных» пор и каверн выщелачивания в шлифах, ангидрита и галита в породах. По этим значениям были построены графики зависимостей каждого из перечисленных параметров с коэффициентами пористости и проницаемости.

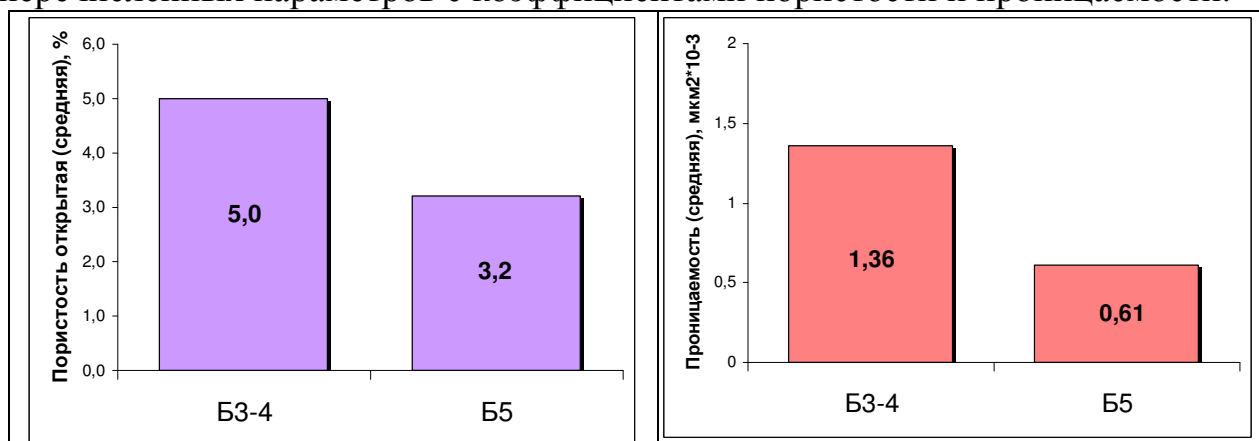


Рис.5. Гистограммы распределения средних значений пористости (слева) и проницаемости по газу (справа) для верхнего и нижнего усть-кутского пласта.

Для определения положительной или отрицательной связи параметров использовались коэффициенты корреляции, которые позволили оценить влияние некоторых вторичных процессов на общую емкость пород (таблица 2).

Таблица 2

Коэффициенты ранговой корреляции, отражающие влияние постседиментационных процессов на фильтрационно-емкостные свойства

ФЕС	Перекристаллизация (поры)	Выщелачивание (каверны)			Сульфатизация (ангидрит)	Засоление (галит)
		Все	Открытые	Залеченные		
K_p	0.37	0.07	0.35	-0.22	-0.20	-0.11
$K_{пр}$	0.30	0.03	0.41	-0.17	-0.14	-0.07

Примечание. Объем выборки 102 образца. Критическое значение коэффициента корреляции Спирмена 0.18 (при $P < 0.05$); жирным шрифтом выделены значимые величины.

Выполненный автором анализ позволил сделать следующие ниже выводы по каждому литогенетическому типу (таблица 3) и по разрезу в целом.

В породах литогенетического типа А поровое пространство, заложенное в седиментогенезе, частично сохраняется в виде остаточных межзерновых пустот. Около 70 % пор в зернистых доломитах имеет унаследованный характер. Хорошая проницаемость данных пород способствовала их интенсивной перекристаллизации и последующему растворению, поэтому преимущественное развитие имеют вновь образованные поры. Пористость в этом типе пород может достигать 20-30 %, но большая часть её утрачена из-за новообразования в поровом пространстве галита и ангидрита (Лемешко, 2013).

Породы типа Б характеризуются низкой первичной пористостью. Однако в результате процесса перекристаллизации микрит преобразовался в тонкокристаллический спарит с появлением дополнительного порового пространства (подтип Б₂).

В доломитах типа Г развиты вторичные пустоты, приуроченные к строматолитовой слоистости. Пустоты часто заполнены галитом или ангидритом.

Таблица 3

Характеристика литогенетических типов

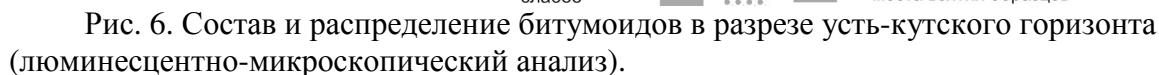
Литогенетический тип	Название пород	Постседиментационные процессы					
		Повысили ФЕС			Понизили ФЕС		
		Перекристаллизация	Выщелачивание	Трещины, стилолиты	Окремнение	Сульфатизация	Засолонение
А	Доломиты зернистые и микритово-зернистые	+++	+++	+		++	+++
Б	Доломиты микритовые	+++	+	+++	++	++	+
В	Доломит-ангидритовые породы	++		++	++	+++	
Г	Доломиты строматолитовые	++	++	++	+	+	++

Примечание. степень развития признака: - нулевая, + слабая, ++ умеренная, +++ сильная.

Автором подтверждено существенное влияние первичных структурных особенностей строения пород-коллекторов на характер порового пространства, особенности которого обусловили, в свою очередь, наличие коллекторов сложного типа.

Высокую пористость пород усть-кутского горизонта можно объяснить процессами выщелачивания и перекристаллизации, которые способствовали развитию вторичных открытых 5-6 % и 18 % соответственно. Низкие значения проницаемости при различной пористости в пределах одного литогенетического типа связаны с развитием вторичной минерализации.

В верхнем усть-кутском пласте выделяются интервалы, сложенные доломитами типа А, реже типа Б с повышенным и очень высоким содержанием смолистых битумоидов, имеющих пятнистое и цементное распределение. В нижней части верхнего пласта содержание битумоидов маслянисто-смолистого и смолистого, реже маслянистого состава колеблется от очень низкого до среднего (рис. 6).



Нижний усть-кутский пласт сложен преимущественно доломитами зернистыми (тип А) и отличается средним, реже высоким содержанием битумоидов облегченного состава маслянисто-смолистого и маслянистого типа, которые локализованы различными пятнами и вокруг каверн.

По данным люминесцентно-микроскопического анализа состав битумоидов верхнего усть-кутского пласта преимущественно утяжеленный смолистый, нижнего – более облегченный, что подтверждается результатами геохимических исследований. Нефть из верхнего усть-кутского пласта более плотная, высоковязкая, характеризуется повышенным содержанием смол и относится к битуминозному типу. Нефть нижнего пласта относится к смолистым, по фракционному составу – к тяжелому типу (по данным лаборатории геохимии ОАО «ТомскНИПИнефть»). В изученных разрезах интервалы с повышенными пористостью и проницаемостью часто сопровождаются сильным нефтенасыщением и высоким содержанием битумоидов.

В таблице 4 показана устойчивая прямая зависимость между фильтрационно-емкостными свойствами и интенсивностью нефтенасыщения.

Таблица 4

Сопоставление коллекторских характеристик с содержанием битумоидов

Содержание битумоидов	ФЕС (средние)	
	K_n (%)	$K_{пр}$ (мкм ² *10 ⁻³)
Низкое (2 мг/г и менее)	2,6	0
Среднее (2-5 мг/г)	4,2	0,46
Высокое (5 мг/г и более)	6,2	1,0

Несмотря на то, что породы нижнего пласта обладают высокой кавернозностью, нефтенасыщение в них слабое, реже среднее. Это объясняется частичным или полным запечатыванием пор и каверн ангидритом и галитом. Открытая пористость подвержена двойственному влиянию ангидрита: во-первых, ангидрит снижает пористость за счет раннего диагенетического засоления в породах литотипов Б и В, в них отмечаются незначительные содержания битумоидов; во вторых, ангидрит совместно с галитом частично заполняет поры выщелачивания, сохраняя открытое поровое пространство в породах с повышенным содержанием битумоидов.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы: нефтенасыщение пород, предположительно, произошло после их перекристаллизации и кавернообразования; засоление пород многоэтапное, что определяется по присутствию ангидрита и галита разных генераций; нефтенасыщение доломитов уменьшается с увеличением их засоления.

ПОЛОЖЕНИЕ 3. Разработан комплекс критериев локального прогноза коллекторов для постановки первой очереди разведочно-эксплуатационных работ, включающий фациальные, геохимические (V/Cr, Mo/Mn, Sr/Ba, $\Sigma Ce/\Sigma Y$, LREE/HREE) и литологические критерии.

Выполненные исследования позволили выделить группы критериев, которые в различных сочетаниях целесообразно применять при выполнении поисково-оценочных и разведочно-эксплуатационных работ:

Фациальные. Фациальные критерии определяются путем выполнения литолого-фациального анализа. Формирование отложений в мелководно-морских условиях при высокой гидродинамической активности среды под влиянием приливно-отливных течений с образованием баровых систем и строматолитовых построек является благоприятным критерием формирования коллекторов. Неблагоприятным фактором является формирование отложений в спокойном режиме, что способствует накоплению глинистого материала и понижает коллекторские свойства.

Геохимические. Геохимическая характеристика условий осадконакопления основывалась на данных ICP-MS анализа. По рассчитанным геохимическим показателям проведена реконструкция условий осадконакопления, которая подтвердила результаты литолого-фациального анализа. Это позволит использовать геохимические критерии в комплексе с литолого-фациальными в качестве прогнозных для определения зон перспективных карбонатных коллекторов в отложениях усть-кутского горизонта.

Автором подсчитаны основные соотношения химических элементов для выяснения глубины области осадконакопления, солености, окислительно-восстановительных особенностей и др. по методикам А.В. Маслова, Я.Э. Юдовича, Е.Ф. Летниковой.

В карбонатных отложениях усть-кутского горизонта основные типоморфные элементы имеют схожее распределение с субплатформенными отложениями древних континентальных блоков и микроконтинентов, которые отлагались в мелководных обстановках. Согласно Е.Ф. Летниковой, область значений усть-кутского горизонта попадает на мелководные типы (Летникова, 2005).

Небольшое количество Ti и Zr показывает, что формирование отложений происходило на значительном удалении от суши в бассейне с пассивным тектоническим режимом.

Значения Sr ниже кларка указывает на образование зернистых доломитов в условиях повышенной гидродинамической активности вод, при которых Sr мог выноситься.

Распределение типоморфных элементов (Ti, Mn, Zr, Sr, Ba) соответствует мелководным обстановкам формирования отложений.

Содержание элементов-примесей (Cr, Ni, Co, Cu, Be) показывает близость источника сноса основного и кислого состава.

По содержанию TR можно судить о геодинамической обстановке осадконакопления. Для реконструкции условий седиментогенеза карбонатных пород можно использовать отношение легких редкоземельных элементов (LREE) к тяжелым (HREE). В карбонатных отложениях усть-кутского горизонта отношение LREE/HREE изменяется в достаточно широком диапазоне (от 4 и более) и соответствует пассивной континентальной окраине.

Одним из индикаторов палеоклимата является отношение $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ (отношение цериевых к иттриевым редкоземельным элементам). В рассматриваемых отложениях величина индекса варьирует от 2 до 4 (рис. 7.), что соответствует семиаридному климату.

По отношению Sr/Ba в осадках одного возраста можно проследить переход от пресноводных отложений к морским. В первых величина отношений Sr/Ba составляет менее 1, во вторых – более 1. Это отношение можно использовать как показатель аридности (Мартынов, Надененко, 1980). Для большей части образцов усть-кутского горизонта отношение Sr/Ba значительно больше единицы, что соответствует морским условиям осадконакопления (рис. 8).



Рис. 7. Отношение $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ как индикатор палеоклимата.



Рис. 8. Отношение Sr/Ba как показатель солености.

Для докембрийских отложений, измененных вторичными процессами, использование различных методов для реконструкции окислительно-восстановительных обстановок затруднительно. Поэтому вывод автором был сделан в результате сравнения подсчитанных значений геохимических индексов усть-кутского горизонта с данными Ю.О. Гаврилова и др. (2002), А.В. Маслова и др. (2003). Для оценки окислительно-восстановительных условий усть-кутского горизонта автором были использованы наиболее информативные геохимические индексы (рис. 9).

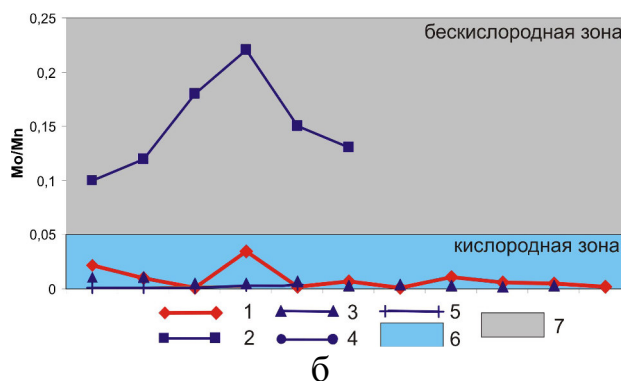
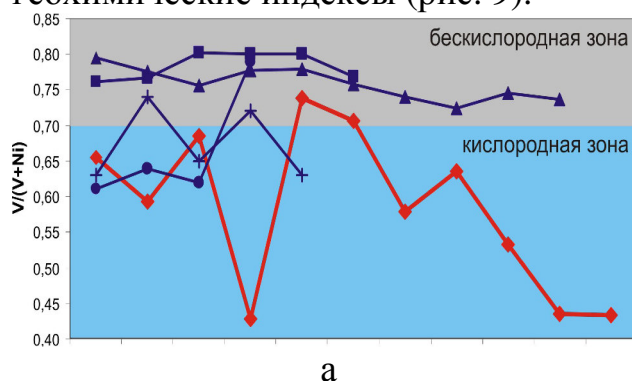


Рис. 9. (а, б). Основные геохимические отношения, характеризующие окислительно-восстановительные условия.

Примечание: условные обозначения для графиков приведены на рис.9б.

1 – Усть-кутский горизонт; 2 – Нижнеаптские битуминозные сланцы центральных районов Русской плиты; 3 – Нижнеаптские небитуминозные глинистые породы центральных районов Русской плиты; 4 – Нижний венд западного склона Среднего Урала; 5 – Средний рифей западного склона Среднего Урала; 6 – зона хорошо аэрируемого бассейна – окислительные условия; 7 – бескислородная зона – восстановительные условия (Jones, Manning, 1994; Холодов, Недумов, 1991; Эрнст, 1976; Hatch, Leventhal, 1992).

На рис. 9 показано преобладание величин индексов, которые соответствуют обстановкам хорошо аэрируемого, обогащаемого кислородом бассейна. Но также нельзя исключать присутствие умеренно бескислородных обстановок. Чаще всего пробы, попадающие в бескислородную зону представлены глинистыми доломитами и глинисто-карбонатно-сульфатными отложениями (литогенетический тип Б и В).

Литологические. Литологические критерии выявлены с помощью макро и микроскопического изучения кернa. Минералогический состав пород установлен рентгенофазовым и петрографическим анализом. Благоприятными структурно-текстурными особенностями обладают доломиты зернистые и доломиты полностью перекристаллизованные с повышенной пористостью относительно других пород. Зернистые доломиты, с невысоким содержанием микритового материала, образуют баровые тела, их первичная структура благоприятна для формирования коллектора.

Микроструктурные критерии определены по результатам петрографического анализа и растровой электронной микроскопии. Строение пустотного пространства пород-коллекторов сложное, неоднородное с преобладанием пустот, образованных в результате постседиментационных процессов. Определены благоприятные микроструктурные особенности пород-коллекторов, к которым относятся первичная и вторичная пористость (поры перекристаллизации, выщелачивания, унаследованная седиментационная) и сообщаемость пор и каверн. Невысокие показатели проницаемости нефтеносных пород-коллекторов свидетельствуют о наличии изолированных и запечатанных пор и каверн, что относится к неблагоприятным критериям.

Постседиментационные процессы внесли значительные изменения в структуру пустотного пространства коллекторов. Особенности влияния этих процессов изучались в ходе макро- и микроописания кернa и петрографического анализа шлифов. Проведенная оценка влияния постседиментационных процессов на пористость и проницаемость пород показала, что улучшению коллекторских свойств способствовали перекристаллизация и выщелачивание. Отрицательно повлияли на коллекторские свойства пород процессы, связанные с новообразованием минералов – сульфатизация, галитизация (засолонение), окремнение.

Петрофизические параметры использовались для характеристики пород-коллекторов. Исследования коэффициентов проницаемости и пористости по гелию проводили на установке AP-608 Core test systems. Низкие показатели фильтрационно-емкостных свойств главным образом связаны с засолонением. Так, после отмыва образцов пород от солей, установлено существенное улучшение коллекторских свойств в 2-3 раза. Благоприятным фактором можно считать прямую зависимость интенсивности нефтенасыщения от фильтрационно-емкостных свойств. Неоднородное распределение ФЕС внутри каждого литогенетического типа является неблагоприятным (таблица 5).

Таблица 5

Критерии локального прогноза пород-коллекторов в карбонатных отложениях усть-кутского горизонта

Критерии		Благоприятные	Неблагоприятные
Фациальные и геохимические		• мелководно-морские условия, соленый бассейн Sr/Ba (>1); • высокая гидродинамическая активность среды, Sr (<610 г/т) - ниже кларка; • влияние приливно-отливных течений с образованием баровых систем и строматолитовых построек; • теплый, семиаридный климат $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ (от 2 до 4); • пассивная континентальная окраина, LREE/HREE (от 4 и более); • хорошо аэрируемый, обогащенный кислородом бассейн V/Cr (0-1), Mn/Mo (0,00-0,05), V/(V+Ni) ($<0,70$), Ni/Co (2,30-4,80).	• низкая гидродинамическая активность среды; • большое количество микритового и глинистого материала. • бескислородная зона, восстановительные условия V/Cr (>1), Mn/Mo ($>0,05$), V/(V+Ni) ($>0,70$), Ni/Co ($>4,80$).
Литологические	Состав	• зернистые доломиты; • доломиты перекристаллизованные.	• доломиты микритовые, глинистые; • доломит-ангидритовые породы.
	Микроструктура	• перекристаллизация форменных элементов, межзернового пространства равномерная перекристаллизация; • открытая пористость, унаследованная седиментационная пористость, кавернообразование; • сообщаемые поры и каверны.	• изолированные поры; • сульфатная минерализация, засоление, запечатывание пор и каверн.
	Постседиментационные процессы	• доломитизация; перекристаллизация; • выщелачивание.	• сульфатизация; • галитизация (засоление); окремнение.
	Петрофизика	• интервалы с повышенной пористостью и проницаемостью сложены зернистым доломитом и сопровождаются сильным нефтенасыщением; • устойчивая прямая зависимость между фильтрационно-емкостными свойствами и интенсивностью нефтенасыщения.	• неоднородное распределение ФЕС внутри каждого литогенетического типа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По теме диссертации получены следующие результаты:

1. На основе микро- и макроскопического изучения керна составлена общая характеристика разреза, проведена литогенетическая типизация пород усть-кутского горизонта и составлена схема-модель их формирования.

2. Дана характеристика литогенетических типов как пород-коллекторов. Изучены их фильтрационно-емкостные свойства и структура пустотного пространства. Прослежены изменения коллекторских свойств пород по разрезам скважин и приведено сравнение верхнего и нижнего пластов горизонта. Наиболее высокими фильтрационно-емкостными свойствами обладают доломиты зернистые (тип А) и доломиты полностью перекристаллизованные (типы А₄ и Б₂).

3. Детально изучены постседиментационные процессы, их распространение по разрезу в целом и внутри литогенетических типов пород. Значительное влияние вторичных процессов на фильтрационно-емкостные свойства пород подтверждено выполненным анализом коэффициентов корреляции между открытыми и закрытыми порами и кавернами, и коэффициентами пористости и проницаемости.

4. Люминесцентно-микроскопическим анализом установлен состав и распределение битумоидов в литогенетических типах, выявлена связь нефтенасыщения с коллекторскими свойствами пород и вторичными изменениями.

5. На основании рассчитанных автором геохимических коэффициентов реконструированы условия образования отложений усть-кутского горизонта.

6. Разработан комплекс критериев для локального прогноза карбонатных коллекторов. Участки наиболее вероятного размещения пород с улучшенными коллекторскими свойствами могут рассматриваться как зоны, перспективные для выявления залежей нефти, определяя наиболее эффективное направление поисково-оценочных и разведочно-эксплуатационных работ как на хорошо изученных бурением территориях, так и за их пределами.

7. Результаты диссертационной работы вошли в научные и производственные отчеты и могут использоваться как рекомендации для поисковых работ на углеводородное сырье.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах и изданиях рекомендованных ВАК РФ:

1. Лемешко, М.Н. Состав и строение отложений преображенского нефтегазоносного горизонта Севостьяновского нефтяного месторождения (Восточная Сибирь) / Е.А. Жуковская, Я.Н. Рощина, Е.Д. Полумогина, М.Н. Шелыхаева (**М.Н. Лемешко**), М.И. Шамина // Научно-технический и производственный журнал «Нефтяное хозяйство». М: ЗАО «Изд-во «Нефтяное хозяйство», 2011 – С. 18-22.

2. Лемешко, М.Н. Связь нефтенасыщения карбонатных коллекторов с процессами формирования пустотного пространства (на примере древних отложений Восточной Сибири) / **М.Н. Лемешко**, Е.А. Жуковская, И.В.

Вараксина // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 1. – С. 93-99.

3. Лемешко, М.Н. Роль постседиментационных процессов в формировании карбонатных коллекторов усть-кутского продуктивного горизонта в центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы / **М.Н. Лемешко** // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – №(17). – С. 51-58.

В других журналах и изданиях:

4. Лемешко, М.Н. Использование результатов литолого-петрографических и люминесцентно-битуминологических исследований отложений венда-риффея Восточной Сибири для оценки нефтегазоносности / **М.Н. Лемешко** // Труды XV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова. Том I. ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – С.81-82.

5. Лемешко, М.Н. Литологические особенности и характер нефтенасыщения продуктивных горизонтов скв. 4 Санарского лицензионного участка (Восточная Сибирь) / **М.Н. Лемешко**, Я.Н. Рощина // Тезисы докладов научно-практической конференции «Современные вызовы при разработке и обустройстве месторождений нефти и газа Сибири», 2011. – С.138-139.

6. Лемешко, М.Н. Литологические особенности и оценка нефтегазоносности карбонатных коллекторов преображенского горизонта (Восточная Сибирь) / **М.Н. Лемешко** // Труды всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых, посвященной 100-летию академика А.А. Трофимука. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2011 – С. 344-346.

7. Лемешко, М.Н. Влияние литологических характеристик отложений преображенского горизонта на их коллекторские свойства и характер нефтенасыщения / **М.Н. Лемешко**, Е.А. Жуковская // Ашировские чтения: Сб. трудов Международной научно-практической конференции. Том I / Отв. редактор В.В Живаева. – Самара: Самар. гос. техн. Ун-т, 2012. – С. 39-43.

8. Лемешко, М.Н. Связь нефтенасыщения карбонатных коллекторов с процессами формирования пустотного пространства (на примере древних отложений Восточной Сибири) / **М.Н. Лемешко** // Тезисы докладов пятой региональной научно-практической конференции молодых специалистов ОАО «ТомскНИПИнефть». – Томск: ТМЛ-Пресс, 2012. – С.142-147.

9. Лемешко М.Н. Возможности и ограничения литолого-фациального анализа древних карбонатных отложений по керну (на примере месторождений Восточной Сибири) / **М.Н. Лемешко**, Я.Н. Рощина // Фациальный анализ в нефтегазовой литологии: труды II Регионального совещания посвященного 100-летию со дня рождения доктора геолого-минералогических наук Л.Н. Ботвинкиной; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ЦППС НД, 2012. – С. 292-294.

10. Лемешко, М.Н. Литолого-петрографические особенности и условия формирования усть-кутского горизонта в Юго-Западной части Непского свода / **М.Н. Лемешко** // Труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова. Том I. ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 296-298.