

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

*На правах рукописи*



**Чупахина Виталия Валерьевна**

**Прогноз распространения пород-коллекторов в отложениях  
верхнедевонского доманикоидного комплекса Муханово-  
Ероховского прогиба Волго-Уральского НГБ**

Специальность: 1.6.11. Геология, поиски, разведка и  
эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2023

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

**Научный руководитель** — **Ступакова Антонина Васильевна**  
*доктор геолого-минералогических наук,  
доцент*

**Официальные оппоненты** — **Дзюбло Александр Дмитриевич**  
*доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, ФГАОУ ВО «РГУ нефти и  
газа (НИУ) имени И.М. Губкина»,  
заместитель заведующего кафедрой  
освоения морских нефтегазовых  
месторождений по научной работе*

**Немова Варвара Дмитриевна**  
*доктор геолого-минералогических наук,  
ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», начальник  
отдела геологического изучения  
трудноизвлекаемых объектов*

**Кравченко Мария Николаевна**  
*кандидат геолого-минералогических наук,  
«ФГБУ «ВНИГНИ», заведующий отделом  
«Ресурсов и запасов нефти и газа»*

Защита диссертации состоится «16» июня 2023 г. в 11 часов 00 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.8 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Главное здание МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, ауд. 621.

E-mail: [poludetkinaelena@mail.ru](mailto:poludetkinaelena@mail.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на сайте ИАС «ИСТИНА» <https://istina.msu.ru/dissertations/552889615/>

Автореферат разослан «15» мая 2023 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета МГУ.016.8,  
кандидат геолого-минералогических наук



Е.Н. Полудеткина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследований.** Работа посвящена изучению состава и строения пород-коллекторов верхнедевонских высокоуглеродистых доманикоидных отложений и прогнозу их распространения в районе Среднего Поволжья Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна. В связи с расширением поисково-разведочных работ на нефть и газ в нетрадиционных коллекторах обоснование возможностей развития пустотного пространства, способного вмещать и отдавать углеводороды в породах доманикоидного типа, требует специального изучения. До сих пор эти отложения рассматривались лишь как нефтегазоматеринские, отдающие углеводороды в выше и нижезалегающие природные резервуары. В настоящее время актуальным становится оценка возможности самих доманикоидных отложений вмещать углеводороды, которые они производят. Нефтегазоносность отложений доманикоидного типа уже доказана открытием залежей в Самарской и Оренбургской областях (ПАО «НК «Роснефть», ООО «Директ Нефть»). Нефтепроявления из отложений доманикоидного типа отмечаются практически на всей территории Тимано-Печорского и Волго-Уральского бассейнов. Однако из-за сложного и неоднородного строения пород, неравномерного насыщения их органическим веществом (ОВ) и низких значений пористости схема оценки фильтрационно-емкостных свойств находится на низкой стадии разработки. Прогноз развития зон коллекторов и понимание зависимости их емкостно-фильтрационных характеристик от особенностей строения и условий образования необходимы для обоснования оценки ресурсов и запасов углеводородов в нетрадиционных коллекторах доманикоидного типа.

Район исследований относится к южной части Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна (НГБ), который является одним из старейших нефтедобывающих регионов России с хорошо развитой инфраструктурой. Крупнейшие месторождения были открыты еще в середине XX века (Ромашкинское, Новоелховское, Туймазинское и др.) и большинство из них разрабатываются уже более 50-60 лет. Вовлечение в разработку трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) из высокоуглеродистой формации (ВУФ) доманикоидного типа поможет повысить эффективность восполнения ресурсной базы этого региона.

**Объект и предмет исследования** являются природные резервуары доманикоидного верхнедевонского комплекса южной части Волго-Уральского НГБ в пределах Муханово-Ероховского прогиба. Предметом исследования является литологический состав и структура емкостного пространства пород доманикоидной формации, которые зависят от обстановок осадконакопления пород и их постседиментационных преобразований. Анализ взаимоотношения типов пород в зависимости от условий их осадконакопления лег в основу построения седиментационно-емкостных

моделей и оценки качества коллекторских свойств природных резервуаров доманикоидной высокоуглеродистой формации.

**Целью** данной работы является прогноз распространения пород-коллекторов для оценки перспектив нефтегазоносности отложений доманикоидного комплекса Муханово-Ероховского прогиба.

**Задачи:**

1. Изучение литологического состава верхнедевонских пород высокоуглеродистой формации, выделение литотипов и парагенетических ассоциаций пород и постседиментационных процессов.
2. Определение структуры пустотного пространства и параметров коллекторских свойств различных парагенетических ассоциаций пород.
3. Прогноз распространения пород-коллекторов в разрезе доманикоидного комплекса Муханово-Ероховского прогиба.

**Фактический материал и личный вклад.** В основу работы положены материалы исследований 7 скважин с данными керна, а также более 80 скважин с данными ГИС по Самарской и Оренбургской областям (Рисунок 1). База данных исследования включает более 400 метров кернового материала, достаточного для построения композитного литолого-стратиграфического разреза среднефранско-фаменских отложений. Литологическая типизация пород была проведена автором на основании самостоятельного описания керна и анализа более 350 петрографических шлифов. Автором был выполнен комплексный анализ результатов лабораторных исследований ФЕС, РФА и РЭМ, которые легли в основу определения структуры емкостного пространства пород и их коллекторских свойств. Кроме того, автором были построены схемы корреляций скважин по данным ГИС для выделения интервалов разреза, обладающих относительно высокими коллекторскими свойствами, и дан прогноз их распространения по площади.

**Методы исследования.** Изучение литологического состава и строения пород высокоуглеродистого доманикоидного комплекса позднедевонского возраста позволило выделить литологические типы пород и описать характерные для них вторичные изменения структуры пустотного пространства. Разные соотношения литологических типов, соответствующих определенным условиям осадконакопления, объединены в пачки, представляющие собой парагенетические ассоциации пород. На основании исследований керна определены основные структурные характеристики емкостного пространства пачек пород, а также проведена оценка параметров их коллекторских свойств. Выделены потенциально перспективные интервалы развития нетрадиционных относительно емких и высокеемких

коллекторов, нефтегазоносность которых подтверждена результатами испытания скважин на исследуемой территории.

**Научная новизна.** Для сложнопостроенных доманикоидных отложений Муханово-Ероховского прогиба с высоким содержанием органического вещества определены парагенетические ассоциации пород, которые обладают пустотным пространством, достаточным для формирования пород-коллекторов. Определена структура их пустотного пространства и установлено, что наилучшими коллекторскими свойствами обладают керогеново-карбонатно-кремнистые породы, обогащенные скелетными остатками радиолярий и пирокластическим материалом. Поровое пространство в таких породах располагается внутри незалеченных камер радиолярий, а емкость породы увеличивают микрокаверны, сформированные за счет кристаллизации исходного кремнистого вещества. Впервые спрогнозирована доля пород-коллекторов в разрезе доманикоидных отложений различных палеогеографических зон Муханово-Ероховского прогиба.

**Защищаемые положения.**

1. Изменение типов пород доманикоидных отложений от преимущественно керогеновых, накапливавшихся в условиях относительно глубоководных внутришельфовых впадин, до карбонатных пород мелководно-морского генезиса приводит к смене их структуры емкостного пространства. В породах относительно глубоководной впадины формируется трещинно-микрокаверно-поровый тип емкостного пространства. Для пород, накапливавшихся в условиях мелководно-морского шельфа, емкостное пространство представлено каверново-поровым, поровым и трещинно-поровым типами.

2. Относительно высокими коллекторскими свойствами обладают породы, накапливавшиеся в условиях относительно глубоководных внутришельфовых впадин, где широко развиты керогеново-карбонатно-кремнистые породы, а кремневое вещество представлено скелетными остатками радиолярий и пирокластическим материалом. Смена парагенетических ассоциаций пород, с относительно глубоководных на относительно мелководные, приводит к уменьшению коллекторских свойств пород.

3. Зона максимального развития относительно высокеемких пород-коллекторов в разрезе доманикоидного комплекса связана с верхнефранскими отложениями центральной части Муханово-Ероховского прогиба. По мере перехода из палеогеографической зоны впадины к зонам склона и ее бортам доля относительно высокеемких коллекторов уменьшается и увеличивается доля низкеемких и весьма низкеемких коллекторов.

**Теоретическая и практическая значимость.** Результаты исследования могут быть использованы при проведении поисково-

разведочных работ в отложениях доманикоидной высокоуглеродистой формации для прогноза фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) нетрадиционного коллектора, обладающего пустотным пространством, благоприятным для вмещения углеводородов.

#### **Степень достоверности результатов.**

Все представленные в работе результаты получены с помощью современного программного обеспечения, лабораторного и скважинного оборудования. Теория построена на известных, проверяемых фактах, согласуется с опубликованными в литературе данными других исследований. Полученные соискателем результаты не противоречат данным, представленным в независимых источниках по данной тематике. В работе использованы современные методики сбора и обработки исходной информации с использованием пакетов прикладных компьютерных программ.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований докладывались на российских и международных совещаниях и конференциях с 2015 по 2022 годы, среди них X Межрегиональная научно-техническая конференция молодых специалистов ОАО "НК "Роснефть" (г. Москва, 2015), V Международная конференция молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского (г. Санкт-Петербург, 2017), Конференция научно-исследовательских проектов в рамках разработки концепции научно-технологической долины МГУ "ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ" (г. Москва, 2017), European Geosciences Union General Assembly (Vienna, 2017), Международная научно-практическая конференция "Новые идеи в геологии нефти и газа - 2017" (г. Москва, 2017), The 2ND INTERNATIONAL YOUTH SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE "INNOVATIONS IN GEOLOGY, GEOPHYSICS AND GEOGRAPHY-2017" (г. Севастополь, 2017), III Всероссийский молодежный научный форум «Наука будущего – наука молодых» (г. Нижний Новгород, 2017), XII Всероссийская конференция молодых ученых, специалистов и студентов "Новые технологии в газовой промышленности" (г. Москва, 2017), Новые идеи в геологии нефти и газа-2019 (Москва, 2019), IV Международная молодежная конференция TATARSTAN UpExPro (г. Казань, 2020) Всероссийское литологическое совещание ГИН РАН (г. Москва, 2021), Международная конференция "Рассохинские чтения" (г. Ухта, 2022), Ломоносовские чтения (г. Москва, 2022)

Основные результаты автора по теме диссертации изложены в 7 публикациях на русском языке, которые изданы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus, RSCI, и в изданиях из перечня, рекомендованных Минобрнауки РФ.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа общим объемом 122 страниц, состоит из 5 глав, введения и заключения, 75 рисунков, 4 таблиц и списка литературы из 120 наименований

**Благодарности.** Диссертационная работа подготовлена на кафедре геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Глубокую признательность автор выражает своему научному руководителю профессору, Ступаковой Антонине Васильевне за постоянное внимание, поддержку и содействие в подготовке данной работы.

Автор выражает особую благодарность Коробовой Н.И., Завьяловой А.П. и Калмыкову Г.А. за помощь и консультации при подготовке работы, а также всем сотрудникам, аспирантам и выпускникам за помощь в написании работы: Сауткину Р.С., Сусловой А.А., Мордасовой А.В., Шелкову Е.С., Желановой О.В, Гилаеву Р.М.

Искреннюю признательность автор выражает сотрудникам кафедры, Жемчуговой В.А., Конюхову А.И., Карнюшиной Е.Е., Прониной Н.В., Митронову Д.В., Ахманову Г.Г., Фролову С.В., Хамидуллину Р.А., Калмыкову А.Г., Соболевой Е.В., Фадеевой Н.П., Полудеткиной Е.Н., Бакай Е.А., Макаровой Е.Ю.

Отдельную благодарность автор выражает членам своей семьи за неоценимую поддержку в процессе написания диссертационной работы.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. Физико-географический очерк и история геологического изучения.**

В главе кратко описываются физико-географические, климатические условия, гидрологическая характеристика и история геологического изучения Волго-Уральского бассейна. Изучаемый регион является одним из старейших нефтегазоносных бассейнов, история освоения которого началась в тридцатых годах прошлого столетия. Впервые продуктивность девонского комплекса была выявлена в Самарской области в 1944 году. Состояние изученности исследуемой территории оценивается как высокое, где плотность бурения составляет 50-100 скв/тыс. км<sup>2</sup>, а плотность сейсмической изученности МОГТ 2D для Самарской и Оренбургской областей составляет 2.4 и 2.3 пог.км/км<sup>2</sup> соответственно. Новейший этап развития региона связан с падением добычи из традиционных залежей и необходимостью высокотехнологической разработки трудноизвлекаемых запасов, к которым относится доманикоидная высокоуглеродистая формация.

Изучение строения, состава, геохимических особенностей и условий формирования доманикоидных отложений было направлено на выявление их генерационного потенциала как основной нефтегазоматеринской толщи Волго-Уральского НГБ. основополагающими являются работы Н.М. Страхова и соавторов (1939, 1955, 1962), в которых он на основании изучения образцов доманиковых отложений Волго-Уральского бассейна дает подробное литолого-петрофизическое и геохимическое их описание. Изучением состава доманиковых отложений занимались многие

исследователи. Среди последних обобщающих работ, рассматривающих доманикодиную толщу как нетрадиционный резервуар нефти и газа, следует отметить работы Н.К. Фортунатовой, В.Г. Кузнецова, О.М. Прищепы, А.И. Варламова, А.Э. Конторовича, А.С. Канева, А.П. Завьяловой, Р.С. Хисамова, Т.В. Белоконь, В.И. Петерсилье, Г.Ф. Ульмишека. Большие научно-исследовательские проекты по изучению доманикоидных отложений и прогноза их свойств были выполнены научными коллективами МГУ им. М.В. Ломоносова (2013 – 2015 гг.) и ФГБУ «ВНИГНИ» (2016 г.).

## **Глава 2. Геологическое строение и нефтегазоносность доманикоидных отложений Муханово-Ероховского прогиба.**

Изучаемые отложения охватывают стратиграфический интервал от доманикового горизонта среднего подъяруса франского яруса до фаменского яруса верхнего отдела девонской системы. Состав этих отложений изменчив в пределах разных структурных элементов и варьирует от высокобитуминозных карбонатно-кремнистых, глинисто-кремнисто-карбонатных пород, до карбонатных – известняков и доломитов. Муханово-Ероховский прогиб – отрицательная структура третьего порядка, южная ветвь позднедевонской Камско-Кинельской системы прогибов (ККСП), в современном структурном плане приуроченная к северной части Бузулукской впадины. Ограничен Муханово-Ероховский прогиб крупными положительными структурами Жигулевским, Восточно-Оренбургским, Южно-Татарским сводами и Сокской седловиной.

Среднефранские отложения формировались в обстановках обширного морского бассейна. Позднефранско-фаменская перестройка структурного плана привела к обособлению внутришельфовых линейных прогибов Камско-Кинельской системы и смене обстановок осадконакопления от мелководно-морских до относительно глубоководных. Впадины постепенно заполнялись сносимым с относительно мелководных областей шельфа материалом. В результате прогибы сокращались и окончательно закрылись в раннекаменноугольное время.

Изучаемые отложения относятся к верхнедевонско-турнейскому нефтегазоносному комплексу. Нефтепроявления из отложений доманикоидного типа отмечаются практически на всей территории Тимано-Печорского и Волго-Уральского бассейнов. Доманиковый горизонт, является доказанной нефтепроизводящей толщей для вышележащих комплексов. Последние исследования позволяют рассматривать доманикоидную ВУФ как сложнопостроенный нетрадиционный коллектор, содержащий большие объемы трудноизвлекаемых нефти и газа.

Промышленные притоки из доманикоидной ВУФ впервые были получены в Оренбургской области на Троицком и Красногорском месторождениях соответственно из верхнефранских кремнисто-карбонатных

пород, обогащенных органическим веществом (ОВ), где приток нефти составил 70 м<sup>3</sup>/сут и 130 м<sup>3</sup>/сут. На государственный баланс на 2020 г. поставлены запасы открытых нетрадиционных залежей Троицкого, Лещевского, Красногорского и Южно-Неприковского месторождений, суммарные геологические запасы которых превышают 2.5 млрд. т.



Рисунок 1. Карта фактического материала. Данные керна по 7 скважинам в интервале среднефранско-фаменского возраста.

### Глава 3. Литологическая типизация и постседиментационные преобразования.

**3.1. Литологический состав пород.** Изучение состава и строения пород высокоуглеродистого доманикоидного комплекса отложений позднедевонского возраста позволило выделить 13 литологических типов пород, отличающихся друг от друга вещественным составом, соотношением форменных компонентов. В основе литологической типизации лежит весовое содержание основных компонентов породы - глинистых, карбонатных, кремнистых, а также органическое вещество. Расчеты содержания основных компонентов породы проводятся методом рентгенофазового анализа с учетом содержания органического вещества. Для пород, содержащих органическое вещество, в работе используется термин «керогеновые» породы. Термин «кероген» был введен в геохимии для определения углеводородных соединений, нерастворимых в органических растворителях (Баженова, Бурлин и др., 2000, Богородская и др., 2004). Поскольку при изучении породы в шлифе без дополнительных исследований разделить кероген от битумоидов невозможно, для литологической типизации пород термин «кероген» характеризует всю совокупность ОВ до экстракции без подвижной нефти, которое может являться как компонентом матрицы, так и занимать пустотное пространство породы. Количественная оценка содержания ОВ в образцах рассчитывалась из показаний пиролитических исследований керна (ТОС).

Литотипы (Лт) сгруппированы в три группы по преобладающему составу. *Группа карбонатных пород* ( $Cor_2 < 2.5\%$ ) представлена известняками микритовыми (Лт-1), биокластовыми (вак-грейнстоун) (Лт-2), водорослевыми (баундстоун) (Лт-3), обломочными (Лт-4) и доломитами (Лт-5). *Группа смешанных* ( $Cor_2 < 2.5\%$ ) представлена кремневыми (Лт-6) глинисто-кремнисто-карбонатными (Лт-7), карбонатно-кремнистыми (Лт-8) и кремнисто-карбонатными породами (Лт-9). *Керогеновая группа пород* ( $Cor_2 > 2.5\%$ ) представлена керогеново-карбонатными (Лт-10), керогеново-кремнисто-карбонатными (Лт-11), керогеново-карбонатно-кремнистыми (Лт-12) и керогеново-кремнистыми породами (Лт-13).

*Литотипы* слагают слои толщиной от первых миллиметров до 10-20 см, которые трудно проследить на большой площади. Для последующей корреляции литотипов они были сгруппированы в *Пачки* – парагенетические ассоциации пород, характеризующиеся сходными структурно-генетическими признаками и вещественным составом. Соотношение преобладающих пачек и их распределение в разрезе позволяет восстановить обстановки осадконакопления в различных палеогеографических зонах (Рисунок 2).

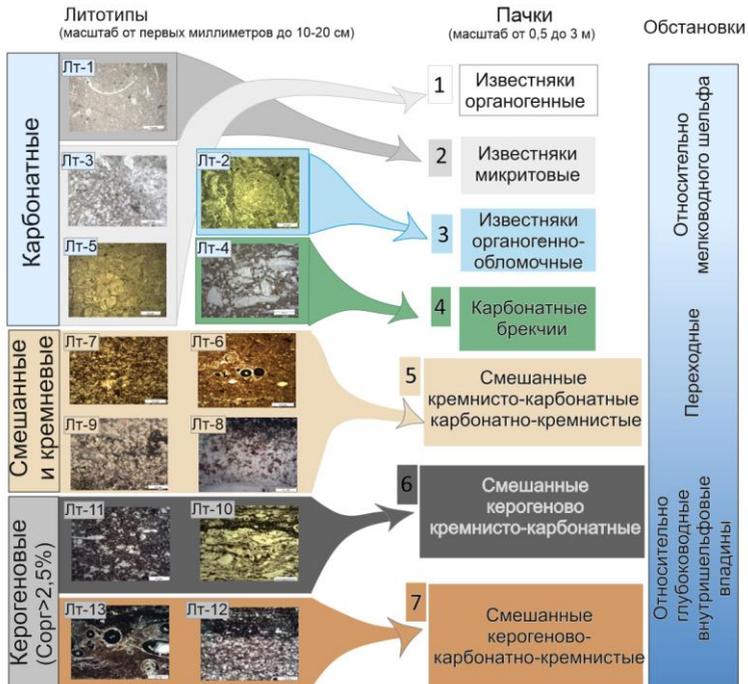


Рисунок 2. Литологическая типизация и выделение парагенетических ассоциаций пород.

В обстановках относительно мелководного шельфа разрез сложен известняками микритовыми и органогенно-обломочными с большой долей микритового матрикса от 60 до 90 % (Пачка 2 и 3). Также локально развиты органогенные известняки (Пачка 1), по-видимому, сформировавшиеся в условиях развития локальных отмелей. В относительно глубоководных внутришельфовых впадинах разрез сложен переслаиванием пачек керогеново-кремнисто-карбонатных и керогеново-карбонатных пород (Пачка 6), а также керогеново-карбонатно-кремнистых пород (Пачка 7), которые сложены пелитоморфной кальцитово-халцедоновой массой, насыщенной бесструктурным органическим веществом (ОВ). Форменные компоненты таких пород представлены раковинами радиолярий и тентакулит, и биогенным детритом. Для пород, слагающих пачку 7, также встречаются прослои с примесью пирокластического материала. В условиях изменения относительного уровня моря (ОУМ) уменьшается доля органического вещества и формируются смешанные кремнисто-карбонатные и карбонатно-кремнистые породы (Пачка 5). В переходной зоне склона впадины формировались преимущественно карбонатные брекчии (Пачка 4) с прослоями смешанных кремнисто-карбонатных и карбонатно-кремнистых пород (Пачка 5) иногда с прослоями керогеново-карбонатно-кремнистых пород (Пачка 7) и прослоев органогенно-обломочных известняков (Пачки 2,3).

Фациальное разнообразие, предопределяющее латеральную и вертикальную изменчивость пород, вызвано многими факторами. К основным относятся тектоническая перестройка и формирование ККСП, а также изменение относительного уровня моря. В результате в строении изучаемого разреза формируется циклично построенная толща, в пределах которой выделяются четыре региональных циклита: среднефранский, верхнефранский, фаменский и турнейский.

Для отложений *среднефранского циклита*, которые практически повсеместно накапливались в условиях относительно глубоководного шельфа, наиболее распространенными являются породы керогеновой группы (Пачки 6,7). Вверх по разрезу циклита, по мере смены глубоководных фациальных ассоциаций на более мелководные, происходит смена керогеновой группы пород на смешанные породы (Пачки 4,5). Заканчивается разрез среднефранского циклита группой карбонатных пород (Пачки 1-3).

В *позднефранском циклите* породы керогеновой группы характерны для центральной, наиболее погруженной части позднедевонской внутришельфовой впадины Муханово-Ероховского прогиба. В период максимально высокого ОУМ накапливались керогеново-карбонатно-кремнистые и керогеново-кремнистые породы (Пачка 7). По мере продвижения к склону Муханово-Ероховского прогиба, в условиях изменения ОУМ, начинают преобладать породы смешанной группы. Завершают позднефранский циклит мелководно-морские карбонатные породы с

преобладанием известняков органогенно-обломочных и обломочных (Пачки 2, 3 и 4) (Рисунок 3).



Рисунок 3. Типы разрезов в различных зонах Муханово-Ероховского прогиба и принципиальная модель осадконакопления.

**3.2. Постседиментационные преобразования.** Постседиментационные процессы в породах доманикоидной высокоуглеродистой формации можно разделить на 4 основные группы, которые в разной степени влияют на пустотное пространство пород. К ним относятся перекристаллизация и вторичная карбонатизация пород, метасоматоз и аутигенное минералообразование, трещинообразование, а также растворение и выщелачивание (Рисунок 4). Вторичные процессы и частота их встречаемости изучались для каждого литологического типа пород.

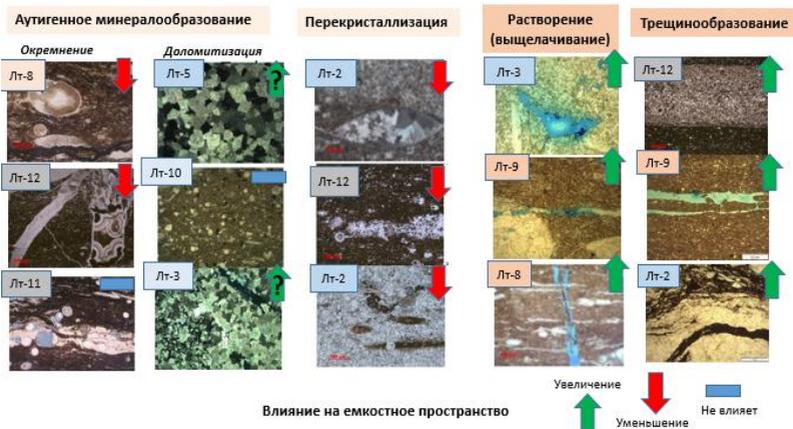


Рисунок 4. Постседиментационные процессы и их влияние на формирование емкостного пространства пород.

Процессы доломитизации и перекристаллизации, как основного матрикса породы, так и биокластов, наиболее характерны для карбонатной группы пород. Эти процессы также отмечаются в породах смешанной и керогеновой групп, где происходит перекристаллизация и вторичная карбонатизация биокластов. Процессы доломитизации проявляются в виде роста отдельных кристаллов. Для смешанных и керогеновых пород характерны процессы окремнения по внутриформенным полостям раковин радиолярий и тентакулит, а также трещинам. Трещиноватость отмечается во всех типах пород. Встречаются открытые разноориентированные трещины, по которым видны следы выщелачивания, а также залеченные трещины яснокристаллическим кальцитом или кварц-халцедоновым агрегатом. Для группы смешанных и керогеновых пород среди трещин преобладают субгоризонтальные, которые часто заполнены ОВ.

#### **Глава 4. Природные резервуары доманикоидного типа. Структура пустотного пространства и коллекторские свойства пород.**

##### ***4.1. Структура пустотного пространства пород доманикоидного типа.***

Пустотное пространство пород доманикоидной толщи характеризуется сложным неоднородным строением. В изученных разрезах прослеживается резкая латеральная и вертикальная изменчивость пород, связанная в первую очередь с изменением вещественного состава пород, а также последующими литогенетическими преобразованиями. Для каждой пачки парагенетической ассоциации пород, на основе изучения ее литологического состава и свойственных литотипам постседиментационных процессов были выделены наиболее характерные типы пустотного пространства. Под пустотным (емкостным) пространством в данной работе понимается вся совокупность пустот в породе, которая формируется порами, кавернами и трещинами, различными по генезису и структуре, которые часто могут быть заполнены ОВ.

Для отложений, накапливавшихся в обстановках относительно-мелководного шельфа, представленных карбонатными породами (Пачки 1-3), характерно развитие межкристаллических пор, приуроченных к участкам перекристаллизации и доломитизации форменных компонентов и исходного пелитоморфного кальцита, реже внутриформенных. В органогенных известняках часто встречаются каверны, приуроченные к участкам выщелачивания, последующей перекристаллизации и доломитизации. Реже встречаются открытые трещины. Характерный тип пустотного пространства поровый, каверно-поровый, реже трещинно-поровый (Рисунок 5). Для отложений переходного (склонового) комплекса пустотное пространство представлено сложными типами порово-трещинным и трещинно-поровым. Для карбонатных брекчий (Пачка 4) пустотное пространство формируют межзерновые и межкристаллические поры, а также система разноориентированных трещин, которые частично заполнены ОВ (Рисунок 6).

Для смешанных кремнисто-карбонатных и карбонатно-кремнистых пород (Пачка 5) отмечаются мелкие межкристаллические, реже внутрiformные поры, соединенные тонкими поровыми каналами и трещинами, часто ориентированными параллельно напластованию, которые заполнены ОВ, достаточно редко встречаются открытые разноориентированные трещины. Для таких пород преобладающим является трещинно-поровый тип пустотного пространства (Рисунок 7).



Рисунок 5. Типы пустотного пространства в пачках пород, формировавшихся в условиях мелководно-морского шельфа.

Стоит отметить, что для смешанных и керогеновых пород емкостное пространство формируется вследствие разнообразия вещественного состава пород, а также за счет постседиментационных преобразований частичного растворения, уплотнения и перераспределения различных исходных компонент пород, перекристаллизации, в результате которых формируются поры и трещины, часто ориентированные параллельно напластованию.

В пачках, сложенных породами керогеновой группы, формирование пористости происходит за счет деструкции керогена. Такие процессы были отмечены в работах Ульмишека Г.Ф. и др. (2015), Калмыкова Г.А. и др. (2016), когда на стадии катагенетического преобразования пород, соответствующих главной фазе нефтегазообразования (МК<sub>2</sub>-МК<sub>3</sub>) образуется «керогеновая» пористость. Изучаемые отложения, по данным пиролитических исследований, находятся на стадии преобразования МК<sub>2</sub> и выше. Поэтому можно ожидать развития такого типа пористости в породах керогеновой группы (Пачки 6 и 7). Для смешанных пород, с преобладанием керогеново-карбонатно-кремнистых (Пачка 7), емкостное пространство приурочено к участкам кристаллизации аморфного кремнистого вещества, внутрiformным полостям раковин радиолярий, реже тентакулит, которые заполнены ОВ. В отдельных участках керогеновых пород отмечается формирование извилистых протяженных микрокаверн (от 1-2 мм), инкрустированных кварц-халцедоновым агрегатом, которые создают дополнительную емкость. Микрокаверны могут быть заполнены ОВ. В керогеновых породах также встречаются прослои (от 1-2мм, до 0.5-1.5 см) обогащенные пирокластическим материалом.

Анализ емкостного пространства пород разного генезиса показал, что в центральных частях Муханово-Ероховского прогиба, во внутришельфовой впадине накапливались тонкослоистые отложения керогеново-карбонатно-кремнистого, карбонатно-кремнистого и кремнисто-карбонатного состава, слагающие природный резервуар доманикоидного типа. Наложенные вторичные процессы изменяют структуру пустотного пространства породы и формируют сложнопостроенный коллектор трещинно-порового и трещинно-микрокаверно-порового типа.

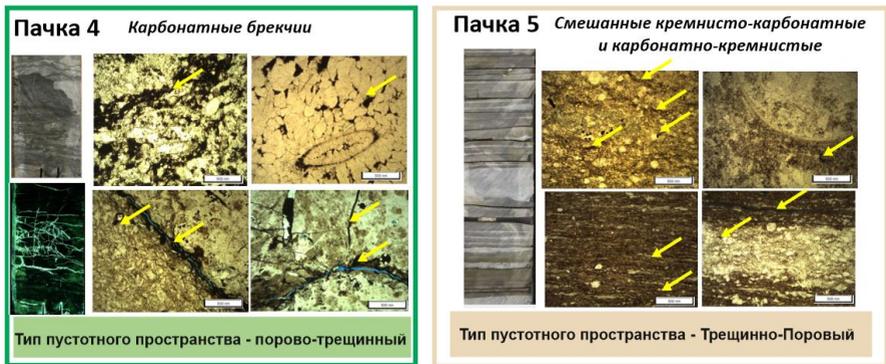


Рисунок 6. Типы пустотного пространства пород, формировавшихся в условиях перехода от относительно глубоководных условий к мелководным.



Рисунок 7. Типы пустотного пространства пород, формировавшихся в условиях относительно глубоководной впадины на шельфе.

**4.2. Коллекторские свойства пород.** Структурно-текстурная неоднородность, а также вещественное разнообразие пород формируют сложнопостроенный нетрадиционный коллектор, который характеризуется низкими значениями пористости и проницаемости. В отличие от традиционных коллекторов, для которых фильтрационная характеристика имеет важное значение, принцип разработки нетрадиционных коллекторов

подразумевает применение технологии гидроразрыва пласта, в результате которого искусственно формируют каналы фильтрации. Поэтому для таких коллекторов, слагающих единую неструктурная залежь, содержащую большое количество ещё не эмигрированных УВ, первостепенным является емкостной параметр. Оценка коллекторских свойств изучаемых пород проводилась на основании анализа лабораторных исследований керна, а именно коэффициента открытой пористости газовойolumетрическим методом по газу азоту и абсолютной газопроницаемости нестационарным методом по азоту (Рисунок 8).

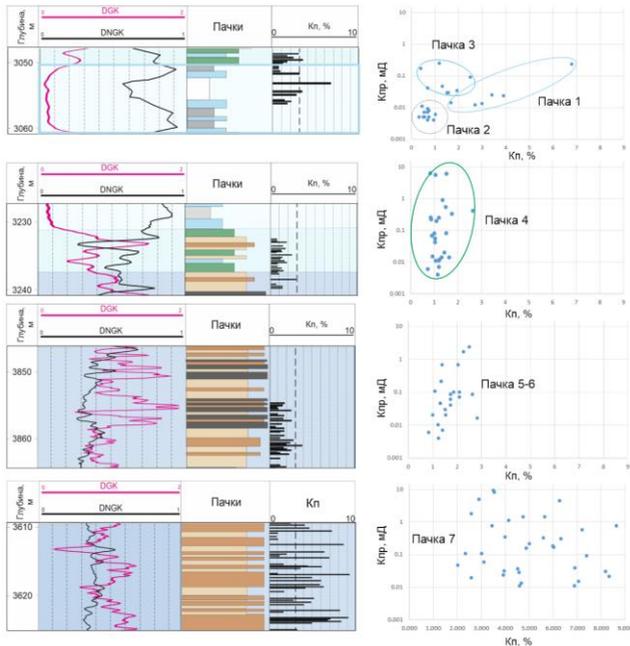


Рисунок 8. Распределение пачек в разрезе скважин и графики зависимости коэффициента открытой пористости и абсолютной проницаемости по газу для разных пачек пород. Условные обозначения на рисунке 3.

Доманикоидные породы характеризуются низкими коллекторскими свойствами. По емкости они были ранжированы на 4 класса - весьма низкоемкие ( $K_p < 1\%$ ), низкоемкие ( $K_p 1-3\%$ ), емкие ( $K_p 3-5\%$ ) и относительно высокоемкие ( $K_p > 5\%$ ) (Рисунок 9). К классу весьма низкоемких относятся плотные микрокристаллические известняки (Пачка 2), в которых пустотное пространство практически отсутствует, либо формируется в участках перекристаллизации. К классу низкоемких коллекторов относятся органогенные, органогенно-обломочные известняки (Пачки 1 и 3) емкостное

пространство которых формируют поры и каверны, приуроченные к участкам доломитизации и перекристаллизации, а также редким трещинам.

Весьма низкоемкий (Кл<1%)	Низкоемкий (Кл 1-3%)	Емкий (Кл 3-5%)	Относительно Высокоемкий (>5%)
<p><b>2</b> Известняки микрокристаллические</p> <p><b>Поровый тип</b> Кл&lt;1%, Кпр&lt;0.01 мД</p>	<p><b>1</b> Известняки органигенные</p> <p><b>Каверново-поровый тип</b> Кл=1,5-6%, Кпр&lt;0,1мД</p>		
	<p><b>3</b> Известняки органигенно-обломочные</p> <p><b>Трещинно-поровый тип</b> Кл=1-2%, Кпр &lt; 1 мД</p>		
	<p><b>4</b> Карбонатные брекчии</p> <p><b>Порово-Трещинный тип</b> Кл=1-2,5 %, Кпр &gt; 1 мД</p>	<p><b>5</b> Смешанные породы кремнисто-карбонатного и карбонатно-кремнистого состава</p> <p><b>Трещинно-Поровый тип</b> Кл=1-2%, Кпр 0.01-1 мД</p>	<p><b>7</b> Смешанные породы с преобладанием керогеново-карбонатно-кремнистых и керогеново-кремнистых</p> <p><b>Трещинно-поровый тип</b> <b>Трещинно-микрокаверново-поровый тип</b> Кл=3-5% до 10, Кпр &gt;1 мД</p>
	<p><b>6</b> Смешанные породы с преобладанием керогеново-кремнисто-карбонатных и керогеново-карбонатных пород</p> <p><b>Трещинно-поровый тип</b> Кл=1-2%, Кпр 0.01-1 мД</p>		

Рисунок 9. Качественная оценка нетрадиционных коллекторов верхнедевонского доманикоидного комплекса.

Породы, слагающие Пачку 4, также относятся к низкоемким. Емкостное пространство в них формируется порами, часто заполненными ОВ, и разнонаправленными трещинами. К классу низкоемких пород относятся и смешанные разности, слагающие Пачки 5 и 6. Пустотное пространство в этих породах связано с перераспределением, неравномерным уплотнением и перекристаллизации, в результате которого формируются поры, сообщающиеся по тонким поровым каналам и преимущественно субгоризонтальным трещинам.

Относительно высокими коллекторскими свойствами (класс емкие и высокоемкие) обладают породы смешанного состава с преобладанием керогеново-кремнистых и керогеново-карбонатно-кремнистых пород (Пачка 7). В таких породах преобладающим является трещинно-микрокаверново-поровый тип коллектора, и связан он с исходной биогенной структурой кремнистого вещества, его перераспределением и кристаллизацией в процессе литогенеза. Значение емкости в таких породах может достигать 10%.

## Глава 5. Прогноз распространения пород-коллекторов в отложениях доманикоидной высокоуглеродистой формации.

Литолого-фациальная характеристика, выделение природных резервуаров, характеризующихся различными структурно-генетическими особенностями, классификация пород по емкостным характеристикам, позволяют прогнозировать развитие пород-коллекторов с различными свойствами в скважинах, не охарактеризованных керном. Для сопоставления данных, полученных по результатам комплексного анализа керна в различных



мощность не превышает 0.5 м. В целом, породы этого циклита относятся к низкоперспективным. Для *верхнефранского циклита* характерно развитие относительно высокочемких коллекторов, представленных смешанными породами с преобладанием керогеново-карбонатно-кремнистых пород (Пачка 7). Доля таких пород-коллекторов в центральной части внутришельфовой впадины максимальна. Наличие коллектора этого типа делает верхнефранский разрез в пределах центральной части Муханово-Ероховского прогиба перспективным для освоения. По направлению к склону прогиба увеличивается доля низкоземких и весьма низкоземких пород (Рисунок 11).

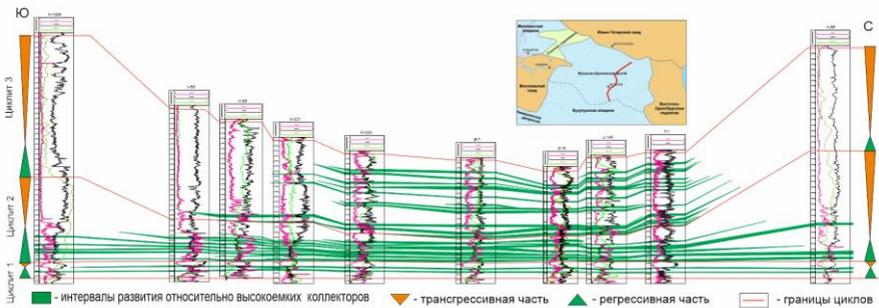


Рисунок 11. Распространение в разрезе Муханово-Ероховского прогиба пород с относительно высокими коллекторскими свойствами.

Для *фаменского циклита* относительно высокочемкие коллекторы развиты также в центральной части внутришельфовой впадины, но при этом заметно увеличивается доля низкоземких пород. В верхней части фаменского циклита центральных частей прогиба, в отличие от верхнефранского, увеличивается доля весьма низкоземких пород. На бортах Муханово-Ероховского прогиба в разрезе доманикоидных отложений, представленных преимущественно мелководно-морскими отложениями, преобладают весьма низкоземкие и низкоземкие породы.

Выделение пород-коллекторов в разрезе и по площади позволило сделать прогноз наиболее перспективных интервалов развития относительно емких и высокочемких коллекторов доманикоидной толщи. К ним относится центральная часть внутришельфовой впадины, где прогнозируется максимальное количество интервалов с относительно высокочемкими коллекторами в разрезе верхнефранского и частично фаменского циклитов. По мере увеличения мощности отложений к склону и борту впадины общее количество высокочемких пород-коллекторов сокращается, а относительно высокочемкие породы замещаются на низкоземкие. Результаты прогноза зональности распространения относительно высокочемких коллекторов подтверждаются испытаниями скважин в пределах Красногорского месторождения, где в интервале верхнефранских отложений в скважине

Кашаевкая 74 в результате применения технологии гидроразрыва пласта полученный приток нефти составил 17.3 м<sup>3</sup>/сут.

Выявленные закономерности распространения коллекторов в разрезе скважин, охарактеризованных керном, и качественная интерпретация ГИС позволили спрогнозировать зоны с разным суммарным долевым участием интервалов относительно высокеемких и емких пород-коллекторов в пределах Муханово-Ероховского прогиба для верхнефранского и фаменского циклитов (Рисунок 12-13). Центральные части глубоководных внутришельфовых впадин, картируемых по минимальным толщинам в рамках каждого циклита, содержат высокеемкие природные резервуары верхнефранско-фаменского возраста, где доля коллекторов в разрезе франского циклита достигает 0.59, а фаменского не превышает 0.35.

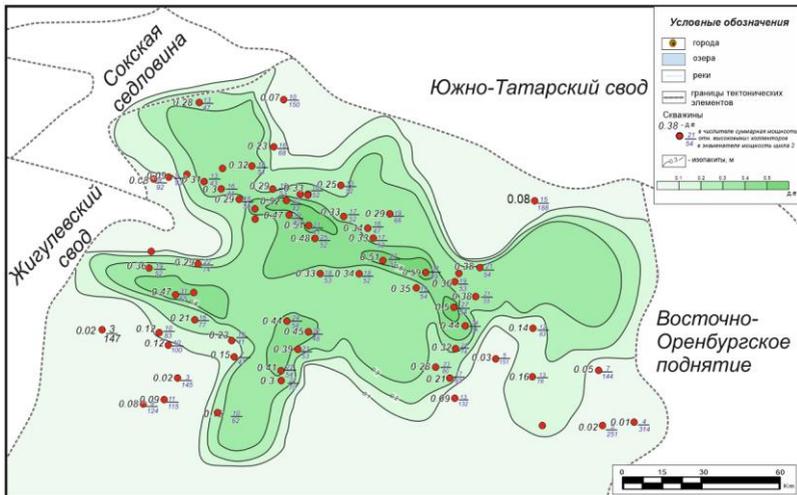


Рисунок 12. Схема суммарного долевого участия интервалов относительно высокеемких коллекторов в разрезе верхнефранского циклита.

В зонах склона Муханово-Ероховского прогиба сокращается доля относительно высокеемких и емких пород-коллекторов, главным образом, за счет отложений фаменского циклита. Во франском циклите здесь присутствуют породы-коллекторы, аналогичные тем, что распространены в центральной части Муханово-Ероховского прогиба (Рисунок 13). В бортовой зоне Муханово-Ероховского прогиба в доманикоидном комплексе отложений присутствуют в основном низкеемкие природные резервуары, за исключением традиционных карбонатных резервуаров, сформированных в условиях мелководно-морского шельфа за счет роста биогермных построек.

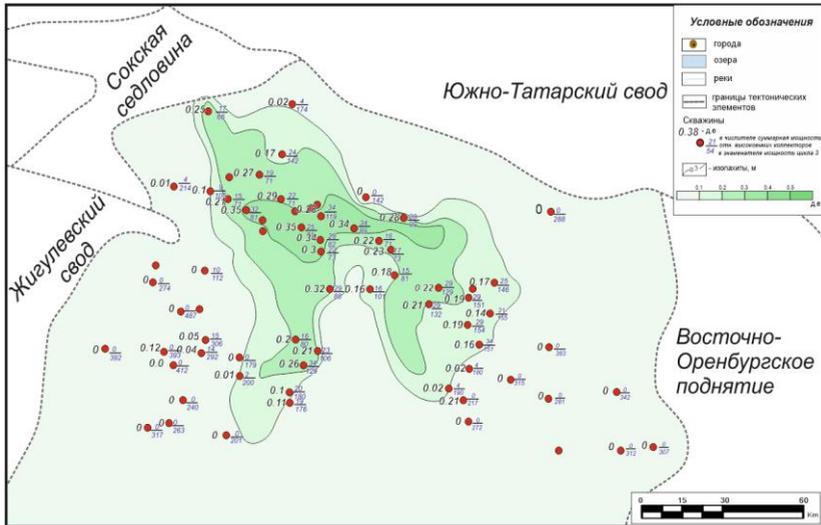


Рисунок 13. Схема суммарного долевого участия интервалов относительно высокочемких коллекторов в разрезе фаменского циклита.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В строении верхнедевонской высокоуглеродистой доманикоидной толщи Муханово-Ероховского прогиба участвуют различные типы пород: карбонатные, кремневые, смешанного состава и керогеновые с повышенным содержанием органического вещества. Парагенетические ассоциации пород показывают, что они сформировались в условиях относительно глубоководной внутришельфовой впадины, ее склона и борта.

Смена обстановок осадконакопления происходит как по площади, так и по разрезу регионально выдержанных циклитов среднефранского, верхнефранского и фаменского возрастов. В основании циклитов залегают породы преимущественно керогеновой группы, которые формировались в относительно глубоководных условиях. По мере изменения относительного уровня моря керогеновые породы сменяются группой смешанных пород. Заканчивается разрез циклита карбонатными породами мелководно-морского генезиса.

Среди постседиментационных процессов в породах доманикоидной высокоуглеродистой формации можно выделить 4 группы, в различной степени влияющих на емкостное пространство пород. К ним относятся перекристаллизация и вторичная карбонатизация пород, доломитизация и окремнение, трещинообразование, а также растворение и выщелачивание. Для смешанных и керогеновых пород наиболее часто встречаются процессы окремнения, развивающимся по внутренним полостям раковин, а также трещинам. Трещиноватость отмечается во всех типах пород. Для группы

смешанных и керогеновых пород среди трещин преобладают субгоризонтальные, которые часто заполнены ОВ.

По вещественному составу пород, структуре пустотного пространства и емкостным характеристикам выделены 4 класса пород-коллекторов. Наилучшими коллекторскими свойствами обладают породы смешанного состава с преобладанием керогеново-кремнистых и керогеново-карбонатно-кремнистых разностей, обогащенных скелетными остатками радиолярий и пирокластическим материалом, где емкость пород увеличивают микрокаверны, сформированные за счет кристаллизации исходного кремнистого вещества. Для таких пород коэффициент пористости может достигать 10%.

Комплексирование разномасштабных методов позволило спрогнозировать распространение относительно емких и высокеемких коллекторов на площади. Зона максимального развития относительно высокеемких пород-коллекторов в разрезе высокоуглеродистых доманикоидных отложений связана с верхнефранскими отложениями и приурочена к области развития относительно глубоководной впадины Муханово-Ероховского прогиба. По мере перехода из палеогеографической зоны впадины к зоне склона и ее борта доля относительно высокеемких коллекторов уменьшается и увеличивается доля низкеемких и весьма низкеемких коллекторов.

### Публикации по теме диссертации

**Статьи, опубликованные в журналах Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.6.11:**

1. **Чупахина В.В.**, Коробова Н.И., Калмыков Г.А., Завьялова А.П., Карпушин М.Ю., Радченко К.А. Генетическая обусловленность различных типов пустотного пространства и оценка качества нетрадиционных коллекторов отложений верхнедевонского доманикового комплекса Муханово-Ероховского прогиба // Георесурсы. 2022. том 24. № 2. С. 143-153 DOI <https://doi.org/10.18599/grs.2022.2.14> (авторский вклад - 60%; разработана структура пустотного пространства пород-коллекторов и оценена емкость пород) Импакт-фактор журнала по Scopus, 2022: 0.713; РИНЦ, 2022: 1,686.

2. Карпушин М.Ю., Ступакова А.В., Завьялова А.П., Суслова А.А., **Чупахина В.В.**, Радченко К.А. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности доманиковой высокоуглеродистой формации центральной части Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна // Георесурсы. 2022. том 24. № 2. С. 133-142 DOI <https://doi.org/10.18599/grs.2022.2.13> (авторский вклад 10%; типы пород-коллекторов увязаны с зонами перспектив нефтегазоносности) Импакт-фактор журнала Scopus, 2022: 0.713; РИНЦ, 2021: 1,686.

3. Карпушин М.Ю., Ступакова А.В., Завьялова А.П., Калмыков Г.А., **Чупахина В.В.**, Коробова Н.И., Суслова А.А., Радченко К.А. Строение и

перспективы нефтегазоносности отложений доманикоидной высокоуглеродистой формации франско-турнейского возраста центральной части Волго-Уральского бассейна // Нефтяное хозяйство. 2023. № 4. С. 14-19 DOI: 10.24887/0028-2448-2023-4-14-19 (авторский вклад 10%; типы пород привязаны к осадочным циклитам) Импакт-фактор журнала Scopus, 2023: 0.280; РИНЦ, 2021: 0,645.

4. Завьялова А.П., **Чупахина В.В.**, Ступакова А.В., Гатовский Ю.А., Калмыков Г.А., Коробова Н.И., Сулова А.А., Большакова М.А., Санникова И.А., Калмыков А.Г. Сравнение разрезов доманиковых отложений Волго-Уральского и Тимано-Печорского бассейнов в местах естественного выхода на дневную поверхность // Вестник Московского университета. Серия 4. 2018. № 6. С. 57-73. (авторский вклад - 40%; описаны литологические типы пород) Импакт-фактор журнала РИНЦ, 2021: 0,411.

5. Ступакова А.В., Калмыков Г.А., Коробова Н.И., Фадеева Н.П., Гатовский Ю.А., Сулова А.А., Сауткин Р.С., Пронина Н.В., Большакова М.А., Завьялова А.П., **Чупахина В.В.**, Петракова Н.Н., Мифтахова А.А. Доманиковые отложения Волго-Уральского бассейна – типы разреза, условия формирования и перспективы нефтегазоносности // Георесурсы. 2017. Спецвыпуск. Ч.1. С. 112-124. DOI: 10.18599/grs.19.122015. (авторский вклад 10%; описаны типы разреза доманикоидных отложений) Импакт-фактор журнала РИНЦ, 2021: 1,737 .

6. Радченко К.А., Коробова Н.И., Большакова М.А., Ступакова А.В., Завьялова А.П., **Чупахина В.В.** Литолого-геохимическая характеристика естественных выходов доманиковых отложений в районах Предуралья краевого прогиба Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна // Вестник Московского университета. Серия 4. 2019. № 6. С. 28-33. (авторский вклад 10%; описан тип керогеновых пород) Импакт-фактор журнала РИНЦ, 2021: 0,411.

7. Кирюхина Т.А., Большакова М.А., Ступакова А.В., Коробова Н.И., Пронина Н.В., Сауткин Р.С., Сулова А.А., Мальцев В.В., Сливко И.Э., Лужбина М.С., Санникова И.А., Пушкарева Д.А., **Чупахина В.В.**, Завьялова А.П. Литолого-геохимическая характеристика доманиковых отложений Тимано-Печорского бассейна // Георесурсы. 2015. том 61. № 2. С. 87-100. (авторский вклад 10%; описана геохимическая обстановка осадконакопления) Импакт-фактор журнала РИНЦ, 2021: 1,737.