

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи



Рясной Андрей Андреевич

**Условия формирования пород-коллекторов и
нефтегазоматеринские свойства ордовикско-силурийских
отложений севера Тунгусской синеклизы**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2024

Диссертация подготовлена в литологической лаборатории Отдела литологии Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского.

- Научный руководитель** – **Соболев Пётр Олегович** – кандидат геолого-минералогических наук
- Официальные оппоненты** – **Баженова Татьяна Константиновна** – доктор геолого-минералогических наук, АО «ВНИГРИ-Геологоразведка», главный научный сотрудник (до 2022 года)
- Морозов Владимир Петрович** – доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГАОУ ВО КФУ, заведующий кафедрой минералогии и литологии
- Федорович Марина Олеговна** – кандидат геолого-минералогических наук, ФГБУН ИНГТ СО РАН, старший научный сотрудник лаборатории геологии нефти и газа Сибирской платформы

Защита диссертации состоится «14» июня 2024 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.8 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, МГУ, аудитория 621

E-mail: poludetkinaelena@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3026>

Автореферат разослан «__» мая 2024 г.

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



Е.Н. Полудеткина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Тунгусская синеклиза является одним из перспективных объектов для постановки геологоразведочных работ на нефть и газ в Восточной Сибири. Она занимает значительную часть Сибирской платформы, где широко представлены отложения ордовикско-силурийского возраста. Перспективы нефтегазоносности этих образований связаны с северной территорией синеклизы, где слагающие их толщи залегают на глубинах, благоприятных для сохранности возможных скоплений углеводородов. Большая мощность исследуемых отложений, наличие в разрезе нафтидо- и газопроявлений, нефтематеринских и коллекторских толщ, создают предпосылки для нефтегазопоисковых работ в пределах синеклизы. Комплексные исследования вещественно-минералогического состава, коллекторских и нефтегазоматеринских свойств отложений на современном методическом уровне способствуют научно-обоснованному прогнозу на нефть и газ в данном регионе.

Степень разработанности. Вещественный состав ордовикских и силурийских отложений охарактеризован в работах следующих авторов: Н.Н. Предтеченского, Ю.И. Тесакова, А.Я. Бергера, Е.С. Рабиханукаевой, Т.А. Дивиной, Вл. Н. Зинченко, И.В. Вараксиной, в которых приведены общие сведения о вторичных преобразованиях пород и последовательности постседиментационных процессов. В этих публикациях отсутствуют сведения о генезисе вторичных доломитов венлокского отдела и модели их формирования.

Коллекторские свойства исследуемых отложений и условия их формирования изучались Н.В. Мельниковым, Т.Ф. Антоновой, Т.И. Гуровой, Т.А. Дивиной, П.П. Скоробогатых, Вл. Н. Зинченко, И.В. Вараксиной. При выделении классов коллекторов выполнена их дифференциация по оценочной классификации А.А. Ханина, которая не учитывает сложное строение карбонатных коллекторов.

Литолого-геохимические исследования нижнесилурийских отложений выполнялись Л.Г. Марковой и Т.К. Баженовой в период с 1960 по 1992 г. (экстракция, люминесцентно-битуминологический анализ и углехимический анализ концентратов керогена). Работы, посвященные граптолитовым сланцам нижнего силура Сибирской платформы в аспекте перспектив нефтегазоносности данного региона не публиковались более 30 лет.

Объект исследования – осадочные породы ордовикской и силурийской систем северной части Тунгусской синеклизы (Северо-Тунгусская НГО), которые имеют различный вещественный состав и характеризуются наличием в основании разреза силурийских отложений пачки углеродистых мергелей (граптолитовых сланцев).

Цель работы – определение уровней развития пород-коллекторов и флюидоупоров, установление нефтегазоматеринских свойств и оценка перспектив нефтегазоносности ордовикско-силурийских отложений севера Тунгусской синеклизы.

Основные задачи.

1. Изучить вещественный состав отложений и определить литогеохимические особенности формирования и преобразования терригенных и карбонатных пород.

2. Проанализировать коллекторские свойства пород, выполнить дифференциацию по генетическим типам пустотного пространства, определить классы, типы коллекторов, их положение в разрезе, выявить наличие признаков нефтеносности в пористых и трещиноватых разностях.

3. Установить степень постседиментационного преобразования пород-коллекторов, реконструировать процесс, последовательность вторичных преобразований пород и оценить их влияние на структуру порового пространства и коллекторские свойства.

4. Исследовать закономерности изменения пиролитических параметров нефтегазоматеринских отложений, состава нерастворимого органического вещества (ОВ) и распределения битумоидов в катагенезе.

5. Построить структурный план и дифференцировать территорию по категориям перспектив нефтегазоносности.

Научная новизна.

1. Для терригенных отложений среднего ордовика северо-востока синеклизы определены литогеохимические особенности их формирования на основе вариации величин системы петрохимических модулей и элементных фациальных индикаторов отложений, изучены состав и стадийность образования минералов, слагающих аутигенные цементы, и влияние последних на коллекторские свойства.

2. В доломитах замещения нижнего силура выделены две генерации кристаллов доломита на основе впервые проведенных катодоллюминесцентных исследований образцов, выполнены

микротермометрические исследования флюидных включений и составлена концептуальная модель доломитизации. Посредством проведенных микротомографических исследований доломитов реконструировано строение их пустотного пространства.

3. Выполнена комплексная интерпретация фильтрационно-емкостных, капиллярных свойств и структуры пустотного пространства пород, установлено положение в разрезе выделенных классов и типов коллекторов. Впервые осуществлена дифференциация карбонатных коллекторов по классификации К.И. Багринцевой.

4. На основе совокупности методов исследования ОВ изучены степень катагенеза и нефтематеринские свойства граптолитовых сланцев в широком диапазоне градаций катагенеза от МК₁ до АК₃. Построена карта перспектив нефтегазоносности ордовикско-силурийских отложений Тунгусской синеклизы.

Теоретическая и практическая значимость работы.

1. При создании концептуальной модели выявлено влияние доломитизации и сопряженных с ней вторичных процессов на формирование и преобразование пустотного пространства карбонатных пород нижнего силура, что практически важно с точки зрения прогноза изменения их коллекторских свойств по разрезу.

2. Комплексный анализ коллекторских свойств, данных микрорентгеномографии и капиллярметрии позволил установить тип пустотного пространства пород и обосновать класс и тип коллектора в песчаниках и вторичных доломитах.

3. На основе комплекса литолого-геохимических, петрофизических данных и структурного плана территории впервые построена карта перспектив нефтегазоносности ордовикско-силурийских отложений Тунгусской синеклизы.

Фактический материал и методы исследования. В основу работы легли комплексные литолого-петрографические, геохимические и петрофизические исследования образцов пород, вскрытых 3 скважинами (скважины Ледянской площади и Кыстыктахская 1П), макроскопически изученных автором в ИНГГ СО РАН им. А.А. Трофимука (Новосибирск) и НК Роснефть – НТЦ (Краснодар). Проинтерпретированы также геохимические параметры органического вещества образцов пород из разрезов 6 скважин (Микчангдинская 31, Южно-Пясинская 30, Убойная 24, Дьявольская

8, Бильчанская 1, Бираминская 10) и 4 обнажений (реки Курейка, Летняя, Тенна-Сесь и Мойеро) (рис. 1).

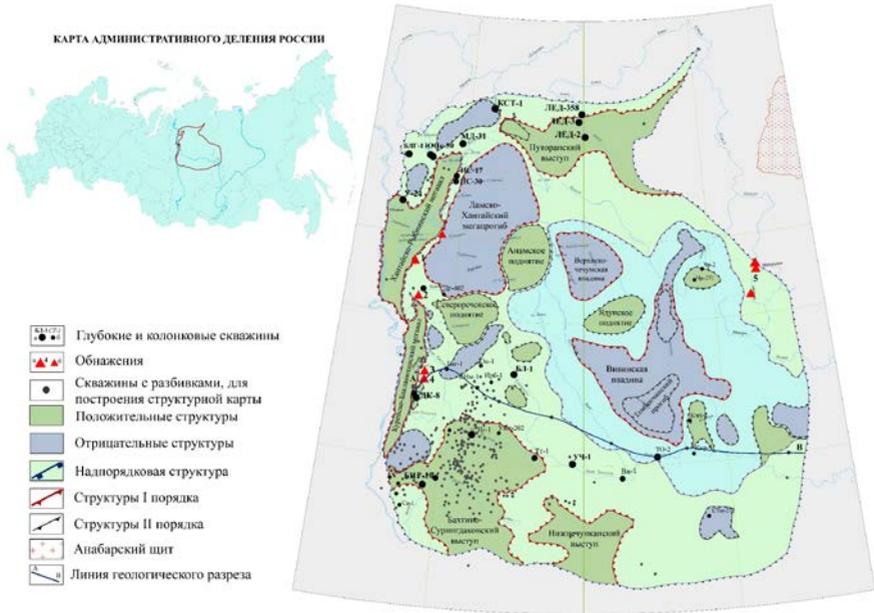


Рисунок 1. Карта тектонического районирования Тунгусской синеклизы по подшиве нижнего силура с фактическим материалом

Выполнены оптико-микроскопические исследования 146 шлифов, электронно-зондовый микроанализ и катодолюминесцентные исследования 19 ППШ, микротермометрические исследования 38 флюидных включений; проинтерпретированы результаты рентгеноспектрального силикатного анализа 86 образцов, определения железа закисного 66 образцов, 14 редкоземельных элементов 42 образца, 5 малых элементов (V, Cr, Rb, Sr, Ba) 66 образцов, рентгенофазового анализа минералов цемента из трех образцов; результаты микротомографии 12 образцов, коллекторских свойств пород 206 (196) образцов, остаточной водонасыщенности 70 образцов; содержания C_{org} 131 (35) образца, геохимических параметров битумоидов 20 (15) образцов и керогена 18 (15) образцов, пиролиза Rock-Eval 17 (6) образцов, углепетрографические исследования 10

шлифов и капельно-люминесцентный анализ 149 образцов. В скобках указаны значения, собранные по фондовым данным.

Личный вклад автора. Выполнено макроскопическое описание керна, отобраны образцы, проведены оптико-микроскопические и катодолуминесцентные исследования, капельно-люминесцентный анализ. Принято участие в углепетрографических, электронно-микроскопических, микрофотографических, микротермометрических исследованиях и проинтерпретированы их результаты. Проведен стадийный анализ вторичных преобразований и составлена модель доломитизации. Исследованы данные химического и рентгенофазового анализа, коллекторских и капиллярных свойств пород, геохимических параметров ОВ.

Защищаемые положения.

1. Кварцевые псаммиты вихоревского горизонта среднего ордовика сложены зрелым переотложенным материалом, накопившимся в прибрежно-морской обстановке в условиях семиаридного климата. Коллекторские свойства песчаников обусловлены вторичными изменениями, заключающимися в уплотнении пород, регенерации кварца, карбонатизации и селективном выщелачивании. Доломиты венлокского отдела нижнего силура образовались в результате замещения первичных известняков под воздействием гравитационно-рассольного катагенеза при участии траппового магматизма.

2. Гранулярные коллекторы III и IV классов (по А.А. Ханину) в отложениях среднего ордовика приурочены к песчаникам вихоревского горизонта. Поровые коллекторы V и VI классов и сложные коллекторы трещинно-порового, каверново-трещинного и трещинного типов VI и VII классов (по К.И. Багриной) приурочены к вторичным доломитам венлокского отдела нижнего силура. Сплошная метасоматическая доломитизация и сопутствующие ей вторичные процессы привели к развитию сложных типов коллекторов.

3. Основной нефтегазоматеринской толщей выступают углеродистые мергели и аргиллиты (граптолитовые сланцы) нижнего силура. В зоогенном типе органического вещества с граптолитовой основой максимум генерации битумоида приходится на начало градации МК₁. Толща испытала влияние регионального катагенеза (градации мезокатагенеза МК₁–МК_{4.5}) и в некоторых разрезах

наложенного катагенеза, вызванного воздействием базитовых интрузий. Наиболее перспективные территории для поисков нефти и газа в ордовикско-силурийских отложениях приурочены к положительным структурам, расположенным в центральных и северных частях синеклизы и ее бортовым зонам.

Достоверность результатов определяется тщательной проработкой большого фактического материала современными методами анализа, демонстрацией аналитических данных в виде таблиц, приложений и обсуждением результатов в печати.

Апробация результатов и публикации. По теме диссертации опубликованы 7 научных работ, из которых 3 статьи – в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, а также входящих в международные базы данных Scopus, GeoRef и базу Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science.

Основные положения диссертации опубликованы в тезисах следующих конференций: IV Всероссийской школы студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов по литологии (Екатеринбург, 2020); Научных чтениях Экзолит 2021 «Актуальные проблемы литологии: задачи и решения» (Москва, 2021); V Международ. науч.-практ. конф. «Новые идеи в геологии нефти и газа. Новая реальность 2021» (Москва, 2021); VI Всерос. молодежной науч. конф., посвящ. памяти акад. Н.Л. Добрецова (Улан-Удэ, 2021).

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения. Объем работы – 202 страницы, из них 72 рисунка, 8 таблиц. Список литературы содержит 102 наименования.

Благодарности. Автор благодарен научному руководителю П.О. Соболеву за помощь в работе. Сердечно благодарен Е.А. Предтеченской, В.Ю. Прокофьеву, С.В. Кашину за ценные консультации. Автор также благодарен А.И. Ларичеву, С.В. Видик, А.В. Брылиной, способствовавшим проведению исследований; Н.В. Сенникову, А.В. Корниенко, Е.А. Волошину за возможность изучения керна скважин.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Геологическое строение района исследований

Исследуемая территория приурочена к Тунгусской синеклизе – крупнейшей надпорядковой структуре Сибирской платформы, в строении которой установлен наиболее полный стратиграфический диапазон отложений – от рифейской эонотемы до триасовой системы включительно (мощностью от 2000 до 8000 м и более).

Ордовикские и силурийские отложения широко развиты на площади Тунгусской синеклизы, вдоль обрамления которой они выходят на поверхность и вскрываются колонковыми скважинами. Наличие их в центральной части синеклизы подтверждается данными глубокого бурения на р. Нижняя Тунгуска.

Отложения ордовикской системы имеют терригенно-карбонатный состав с локальным развитием сульфатных пород. В составе пород силурийской системы доминируют карбонаты, глинистые в основании разреза, органогенные в его средней части, сульфатонасные – в пределах верхнего отдела. Сопоставление фациальных зон показывает, что в направлении с юга и юго-востока на северо-запад, к Норильскому району происходит увеличение мощностей отложений. Мощности ордовикских отложений изменяются от 240 до 1200 м, силурийских – от 180 до ~700 м.

Осадочный чехол Тунгусской синеклизы по особенностям внутреннего строения разделяется на 5 структурных ярусов: рифейский, венд-нижнепалеозойский, среднепалеозойский (девонско-нижнекаменноугольный), верхнепалеозойский и нижнетриасовый.

Формирование платформенного чехла синеклизы происходило на протяжении 6 стадий. Рифейская стадия характеризуется заложением в фундаменте платформы систем грабенообразных впадин, с которыми связано начало формирования осадочного чехла. В течение венд-силурийской стадии происходило прогибание территории, приведшее к перестройке структурного плана и распространению мелководного бассейна. В конце раннего палеозоя происходило заложение основных крупных структур современного тектонического плана. На протяжении девона-раннего карбона изменялось положение осей максимального прогибания, которые приурочены к северным и центральным районам региона. Позднепалеозойская стадия ознаменовалась формированием

Тунгусской синеклизы. В течение триаса происходило образование траптовой формации. Для мезозойско-кайнозойской стадии характерно преобладание восходящих тектонических движений.

В пределах Сухотунгусского вала в доломитах нижнего силура открыта пластовая залежь нефти, сильно измененная и разрушенная в зоне идио- и криптогипергенеза. Для Тунгусского бассейна характерно широкое развитие по всему осадочному чехлу вторичных нафтидов. Проявления нафтидов представлены различными генетическими линиями – собственно нефтями и продуктами их гипергенного или термально-метаморфического преобразования.

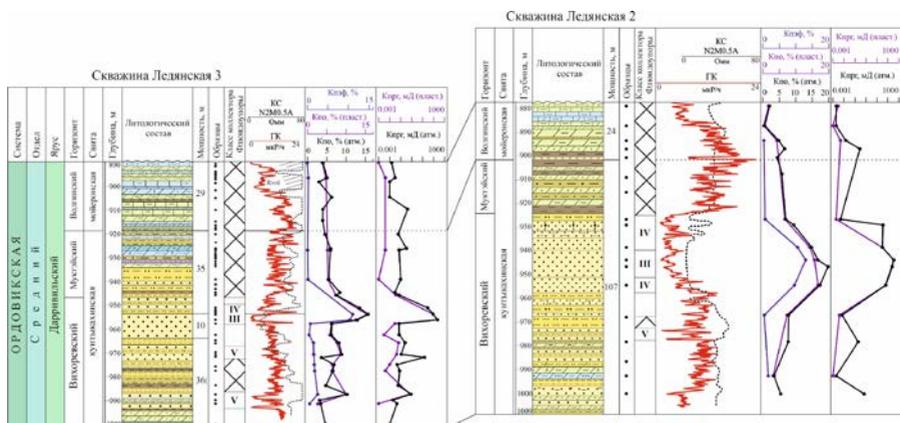
Глава 2. Методика исследований

Интерпретация полученного фактического материала осуществлялась автором на базе теоретических разработок К.И. Багринцевой, Т.К. Баженовой, О.К. Баженовой, С.Г. Вишнякова, Л.П. Гмид, В.Н. Кобрановой, А.Э. Конторовича, А.В. Маслова, С.Г. Неручева и О.А. Рогозиной, Е.А. Предтеченской, Э. Рёддера, Е.М. Смехова и Т.В. Дорофеевой, А.А. Ханина, Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис, Н.G. Machel и др. При дифференциации пород-коллекторов использованы классификации – А.А. Ханина (для терригенных пород) и К.И. Багринцевой (для карбонатных пород).

Глава 3. Вещественный состав и коллекторские свойства среднеордовикских карбонатно-терригенных отложений

В главе приводится вещественный состав обломочной части и цемента терригенных пород вихоревского горизонта; условия формирования карбонатно-терригенных отложений; состав аутигенных цементов песчаников и концептуальная модель их образования; фильтрационно-емкостные свойства пород, классы коллекторов и характеристика пород-флюидоупоров.

Макро- и оптико-микроскопическое изучение терригенных отложений вихоревского горизонта северо-востока синеклизы, вскрытых Ледянскими скважинами 2 и 3, показало преобладание в разрезе пестроцветных кварцевых и полевошпатово-кварцевых песчаников и алевролитов с прослоями аргиллитов (рис. 2).



Кпо и Кпэф – коэффициенты открытой и эффективной пористости, Кпрг – коэффициент газопроницаемости, атм. и пласт. – атмосферные и пластовые условия
 Рисунок 2. Литолого-петрофизическая характеристика среднеордовикских отложений

Результаты оптико-, электронно-микроскопического и рентгенофазового анализа выявили поликомпонентный состав цемента с наличием кварца, доломита, кальцита, ангидрита, иллита, гетита и гематита. Соотношение породообразующих элементов по данным силикатного анализа и расчет петрохимических модулей (низкие значения АМ и ГМ от 0,01 до 0,2 и их прямая корреляция; повышенные значения ТМ до 0,1–0,13 и отсутствие корреляции на модульной диаграмме параметров ГМ–ТМ) позволили установить, что кварцевые псаммиты сложены зрелым переотложенным материалом осадочных пород (second cycle rocks). Отношения фациальных индикаторов отложений (Ti/Zr 5,8–10,4; Fe/Mn 238–255; Sr/Ba 1,2–4) определили обстановки в области бассейна седиментации как прибрежно-морские с повышенной соленостью вод. Преобладание окисных форм железа над закисными (3 против 1,4 %), значения отношения V/Cr < 1 (0,52–0,97) и невысокие количества органического углерода в породах ($C_{орг}$ в среднем 0,29 %) свидетельствуют об окислительной и слабо восстановительной геохимической обстановке осадконакопления. Значения индексов химического выветривания гидрослюдистых аргиллитов (CIA, CIW 50–70) и литогеохимические индикаторы условий образования пород показали, что палеоклимат области размыва и конечного водоема стока был семиаридным. Химический состав исследуемых литогенных песчаников,

накопившихся в условиях семиаридного климата, свидетельствует об олигомиктовости их минерального состава. Повышенное содержание Са и Mg, отражает развитие аутигенного карбонатного цемента.

Песчаники среднего ордовика вихоревского горизонта являются основным региональным уровнем развития гранулярных коллекторов в нижне-среднепалеозойском разрезе исследуемого региона.

На основе изучения вещественного состава, емкостных и фильтрационных свойств, исследуемые песчаники отнесены к коллекторам III, IV и V классов по А.А. Ханину, газопроницаемость которых варьирует от менее 90 до 360 мД, открытая пористость от 9,4 до 20 %, мощность 4–15 м. Коллекторские свойства литологических разностей определяются диаметром порообразующих зерен и содержанием цемента (от 16–20 % до 25–40 %).

Песчаники характеризуются сложной геометрией порового пространства: одновременно присутствуют поры радиусом от менее 0,23 мкм до 32 мкм. Долевое содержание их в породах-коллекторах варьирует весьма значительно, что предопределяет класс коллектора и количество связанной воды (14,42–44,51 %), оказывающей влияние на величину эффективных фильтрационно-емкостных параметров.

К постседиментационным процессам, оказавшим положительное влияние на формирование коллекторских свойств песчаников вихоревского горизонта, следует отнести селективное растворение сульфатно-карбонатного цемента и трещиноватость. К отрицательным факторам принадлежат уплотнение пород, заполнение порового пространства регенерационным кварцем и карбонатными минералами.

Пачки песчаников вихоревского горизонта перекрываются глинистыми (гидрослюдистыми) и сульфатно-глинисто-карбонатными отложениями муктэйского и волгинского горизонтов с газопроницаемостью менее 0,1 мД, эффективной пористостью до 0,91 %, мощностью 47–57 м. Их поровое пространство представлено субкапиллярными порами, заполненными остаточной водой (86–98%).

Глава 4. Вещественный состав и коллекторские свойства силурийских карбонатных и сульфатно-карбонатных отложений

В главе охарактеризованы вещественный состав вторичных доломитов нижнего силура; реконструированы условия формирования вторичных доломитов; рассмотрены строение пустотного

пространства доломитов; фильтрационно-емкостные свойства пород, классы, типы коллекторов и породы-флюидоупоры верхнего силура.

В разрезе силурийских карбонатных отложений по степени доломитности четко выделяется уровень нижней границы вторичных доломитов, развитых преимущественно в составе пород венлокского отдела. При переходе к доломитам замещения заметно снижается содержание в породах стронция. Установлено, что доломиты в силурийских карбонатных отложениях северо-восточной части синеклизы образовались на стадии катагенеза. По данным оптико-микроскопических и катодоллюминесцентных исследований выделены две генерации доломита. *Доломит первой генерации* представлен крупными (до 1,07–1,5 мм) идиоморфными, зональными ромбэдрами или неправильно-ромбэдрическими кристаллами, для которых катодоллюминесцентная зональность не характерна; *второй генерации* – агрегатами гипидиморфных кристаллов, выполняющих каверны и трещины. Микротермометрические исследования флюидных включений в доломите показали, что доломитизирующим флюидом являлся рассол хлоридов Na, Ca и Mg, связанный с процессами нисходящей миграции эвапоритовых рассолов, захороненных в сульфатно-карбонатных верхнесилурийских и нижнедевонских отложениях. В доломите первой генерации обнаружены первичные двухфазовые включения, температура гомогенизации 134–139°C (градация МК₂, отвечающая региональному катагенезу северо-востока синеклизы). Для доломита второй генерации температура кристаллизации (с учетом поправки на давление) двухфазовых включений – 172–197°C (градации наложенного катагенеза МК₃₋₄, в результате дополнительного прогрева пластовых вод под действием интрузий). Установлена стадийность вторичных минералов: доломит 1 генерации – доломит 2 генерации – кальцит – гипс – кварц и халцедон.

Основные этапы доломитизации, выразившиеся в формировании доломита первой (породообразующей) и второй генераций, соответствовали эпохе максимального погружения территории Тунгусской синеклизы – триасовой, когда силурийские отложения находились в зоне прогрессивного развития процессов катагенеза в соответствии с реконструированными палеоглубинами и палеотемпературами отложений венлокского отдела, составляющими на северо-востоке синеклизы 2000 м и 100 °С. Автором разработана модель вторичной доломитизации, согласно которой доломиты

образовались путем замещения известняков в ходе гравитационно-рассольного катагенеза при участии траппового магматизма (рис. 3).

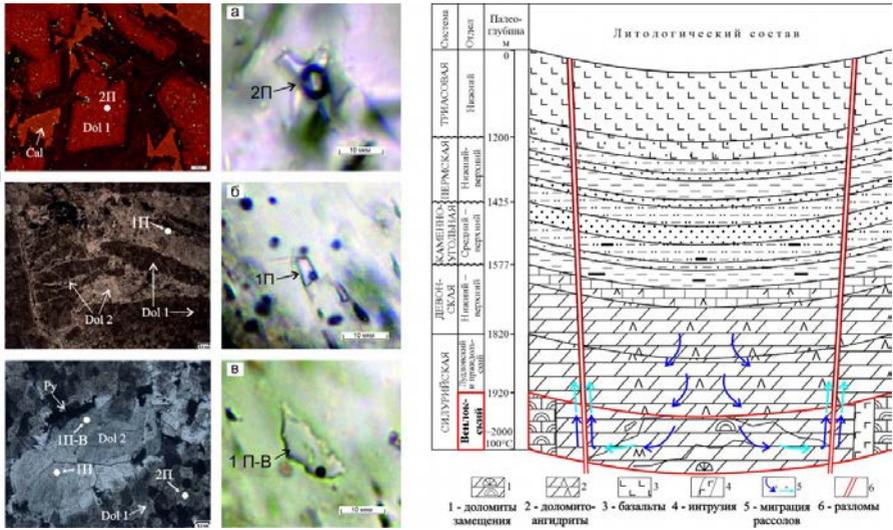
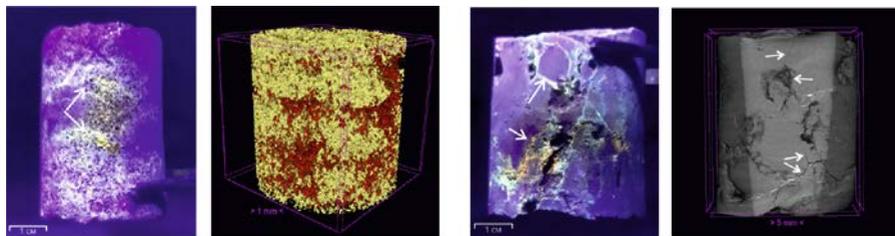


Рисунок 3. Микротермометрические исследования флюидных включений в доломитах и модель доломитизации карбонатных пород венлокского отдела

Литолого-петрографические и микротомографические исследования позволили выделить четыре типа пустот: межкристаллические доломитизации, пустоты последующего растворения по межкристаллическим порам, новообразованные каверны с растворением агрегатов кристаллов, трещины. При помощи капельно-люминесцентного анализа в доломитах обнаружены вторичные битумы как в разностях с равномерной матричной пористостью, так и в кавернозных доломитах, где каверны сообщаются посредством трещин (рис. 4). Характер распределения закрытых пор – следствие неравномерной доломитовой цементации, структурной неоднородности кристаллов доломита, а также степени заполнения пустотного пространства доломитом второй генерации, кальцитом, сульфатами кальция и/или кварцем.



Доломит средне-крупнозернистый с межкристаллическими порами. Поровый тип коллектора
Кпо = 6-8,3 %, Кпрг до 48,93 мД

Доломит кавернозный и трещиноватый. Каверново-трещинный тип коллектора
Кпо до 10,5 %, Кпрг до 495,27 мД

Рисунок 4. Особенности распределения пустотного пространства во вторичных доломитах (участки с открытой – желтый и закрытой – красный цвет пористостью)

Анализ соотношения емкостных и фильтрационных свойств вторичных доломитов в разрезах, вскрытых Ледянскими скважинами 2 и 3 (от 731,2 до 648,7 м) и Кыстыктахская 1П (2313–2265 м), показал, что их коллекторские свойства изменяются в широких пределах: пористость от 0,8 % до 10,5 %, проницаемость от 0,01 до 495 мД. Это свидетельствует о развитии в породах пустотного пространства различного типа. Выделены поровые коллекторы V и VI классов, а также сложные порово-трещинные, трещинно-поровые, каверново-трещинные и трещинные типы коллекторов VII класса. На больших глубинах в разрезе, вскрытом скв. Кыстыктахская 1П, развиты сложные типы коллекторов VII класса. Граничное значение – пористость в 6–7 % и проницаемость в 1 мД разделяет зону развития поровых или каверновых и сложных коллекторов. Породы пористостью менее 3 % рассматриваются как трещинный тип коллектора, в котором при аналогичной величине емкости породы характеризуются широким диапазоном проницаемости. Для поровых коллекторов характерна изотропность фильтрационных свойств в перпендикулярном и параллельном направлениях (коэффициент фильтрационной анизотропии 1,19–1,47). Резкая анизотропия фильтрационных свойств особенно характерна для коллекторов трещинного типа (с коэффициентом анизотропии до 25,34). Размеры фильтрующих пор в разрезе скважины Кыстыктахская 1П, отличаются от доломитов, вскрытых скважинами Ледянской площади. Их максимальные величины составляют 2,91 мкм против 10–32 мкм.

Экранирующие разности пород представлены комплексом глинисто-сульфатно-карбонатных и сульфатных верхнесилурийских

отложений мощностью 51–80,5 м с открытой пористостью, в среднем, 1,09 %, эффективной пористостью 0,08–0,09 %, газопроницаемостью 0,02 мД. Поровое пространство пород-флюидоупоров представлено субкапиллярными порами (менее 0,1–0,2 мкм), заполненными связанной водой, что определяет непроницаемость этих пород.

Глава 5. Граптолитовые сланцы нижнего силура и их нефтегазоматеринские свойства

В главе охарактеризованы геохимические параметры ОБ граптолитовых сланцев – керогена, битумоидов, пиролиза, изотопии и выполнены углепетрографические исследования коллохитинита в широком диапазоне градаций катагенеза МК₁–АК₃.

Наиболее обогащенными органическим веществом в разрезе силурийских отложений являются углеродистые мергели и аргиллиты (граптолитовые сланцы) основания лландоверийского отдела, мойероканского горизонта (S_1ln^{1-2}), с концентрацией $C_{орг}$ 1,4–16,3 %. Граптолитовые фации развиты вдоль всего западного обрамления Тунгусской синеклизы и фрагментарно – на ее восточном борту. В пределах развития граптолитовых фаций средние концентрации $C_{орг}$ по разрезам изменяются в пределах 0,5–5 %.

На градациях катагенеза МК₁–МК₂¹ (восточный и западный борты синеклизы) нефтегазоматеринский потенциал ОБ граптолитовых сланцев является высоким, о чем свидетельствуют суммарное количество углеводородов на породу (S_1+S_2 – 22,46 мг УВ/г породы) и на органическое вещество (НІ 278 мг УВ/г $C_{орг}$), уменьшающиеся по мере увеличения катагенетической зрелости ОБ и падения концентраций $C_{орг}$ от подошвы толщи к ее кровле. На градации МК₅ ОБ практически полностью реализовало свой нефтегазоматеринский потенциал (северо-запад синеклизы) (рис. 5).

Катагенетическая преобразованность ОБ изменяется от градации МК₁ до АК, которым отвечают значения отражательной способности коллохитинита (в пересчете на витринит) 0,51–2,01 %, при региональном катагенезе от МК₁ до МК₄₋₅ ($R^{°vt}$ – 0,51–1,69 %).

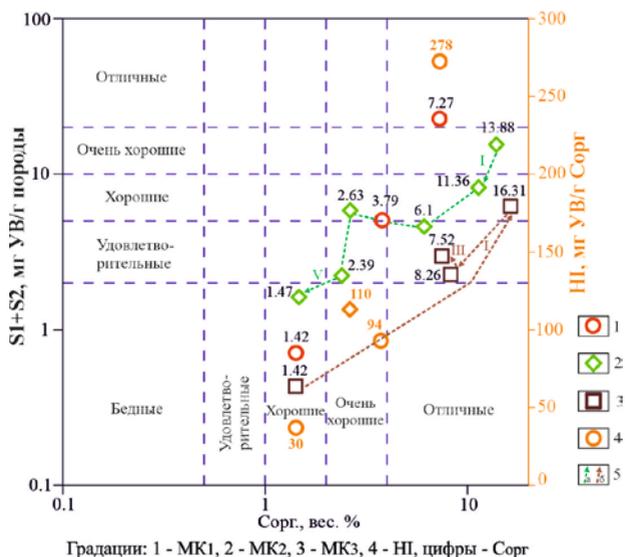
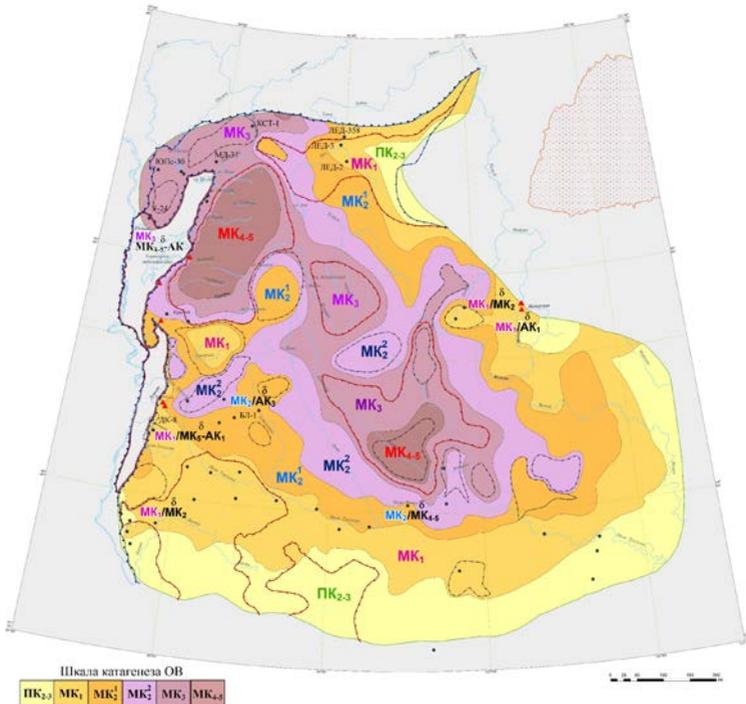


Рисунок 5. Диаграмма изменения концентрации Сорг и пиролитических параметров S1+S2 граптолитовых сланцев снизу вверх по разрезу

Региональный катагенез ОВ не исчерпывает всех его постдиагенетических изменений. Термальное воздействие траппов на углеродистые мергели обусловило, с одной стороны, ускорение созревания ОВ (от градации МК₁ к МК₂), а с другой – сильный метаморфизм ОВ в узких приконтактных зонах (подстадия АК).

В работе показано изменение элементного состава НОВ в зависимости от максимальной палеоглубины погружения. От градации МК₁ (палеоглубины 1800–2000 м) до МК₅ (от 4100 м и более) наблюдается закономерное изменение содержания элементов в керогене (соответственно): повышение содержаний углерода от 78,32 до 86,23 %, снижение – водорода от 6,2 до 2,15 % и азота от 3,5 до 1,29 %. Выход летучих веществ изменяется от 30,7 до 12,3 %. Нерастворимая часть ОВ в апокатагенезе (наложенный катагенез под действием интрузий) предстает сильно истощенной (увеличение С_{нов} до 93,4 %, снижение Н_{нов} до 1,05 %, N_{нов} до 1,2 %, V_{нов} до 6,5–8 %). Особенностью зоогенного органического вещества граптолитовых сланцев является сравнительно пониженное содержание в керогене водорода и повышенное – углерода и азота.

Катагенез ОВ в подошвенной части нижнесилурийских отложений изменяется от градаций $МК_1$ – $МК_2^2$ в бортовых зонах синеклизы и в пределах поднятий до градаций $МК_3$ – $МК_{4-5}$ на северо-западе и в срединной части. Зона протокатагенеза выделяется по южной окраине. Региональный катагенез ОВ охватывает подстадию мезокатагенеза (палеоглубины погружения от 1,5 до 4,1 км) (рис. 6).



$МК_1$ – градация катагенеза, $МК_1/АК$ – градация регионального/наложенного катагенеза, δ – воздействие интрузий

Рисунок 6. Карта регионального катагенеза органического вещества в подошвенной части силурийских отложений

В изучаемых образцах граптолитовых сланцев максимальных значений синбитумоиды достигают на градации $МК_1$. Начиная с градации $МК_2$ происходит падение их концентраций (за исключением параавтохтонных разностей) и вплоть до $МК_5$ битумоиды только

эмигрируют. Их содержание резко убывает на градации МК₃, а в составе битумоидов преобладают остаточные разности.

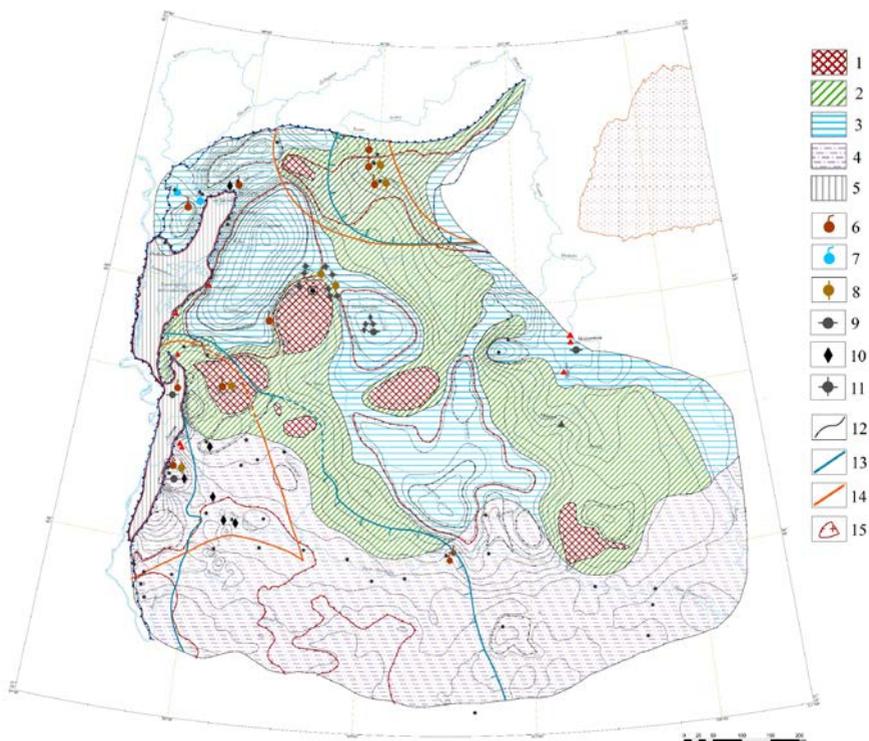
Повышенные концентрации хлороформенного битумоида (0,43–0,79%) отмечаются на востоке и западе синеклизы вследствие невысокой катагенетической превращенности ОВ (градации МК₁–МК₂¹) и повышенных содержаний С_{орг}. На северо-западе синеклизы содержание остаточного битумоида составляет 0,02 % (при С_{орг} до 5,6 %), т.к. граптолитовые сланцы зафиксированы за нижней границей главной зоны нефтеобразования (градации МК₃–МК₄₋₅).

Глава 6. Перспективы нефтегазоносности ордовикско-силурийских отложений

В пределах Тунгусской синеклизы наиболее перспективные территории для поисков нефти и газа в ордовикско-силурийских отложениях, общей площадью 32476 км², приурочены к положительным структурам, расположенным в центральных и северных частях – Анамскому, Северореченскому, Ядунскому куполовидным поднятиям и Путоранскому выступу, непосредственно примыкающих к впадинам, где ОВ характеризуется высокой зрелостью. Кроме структурных ловушек в юго-западной и северо-восточной части скопления УВ могут быть связаны с зонами выклинивания ордовикских песчаников (рис. 7).

Среднеперспективные земли, общей площадью 224452 км², распространены в бортовых зонах синеклизы, где ордовикско-силурийские отложения погружались до глубин, соответствующих ГЗН и отвечающих градациям МК₁–МК₂. В северо-восточной части области выделяется субширотный Путоранский выступ, в пределах которого нефтидопроявления были установлены в отложениях ордовика и силура в скважинах Ледянской площади.

Территории с малыми перспективами, общей площадью 170138 км² или с отсутствием перспектив, площадью 30655 км², обусловлены эродированностью краевых частей синеклизы и глубокими погружениями исследуемых отложений в северо-западной и в срединной части, а также интрузивной деятельностью в южной части синеклизы, к югу от р. Нижняя Тунгуска, где в породах венлокского отдела встречаются проявления антраксолитов – свидетельства развитой дораннетриасовой миграции углеводородов (УВ).



1–5 – Категории перспектив нефтегазоносности: 1 – высокоперспективные, 2 – среднеперспективные, 3 – малоперспективные, 4 – малоперспективные (за счет воздействия интрузий), 5 – бесперспективные; 6–11 – Класс нафтида или нафтидо-нафтоида; 12 – изогипсы по подошве силурийских отложений; 13 – Границы развития: 13 – песчаников, 14 – доломитов; 15 – Анабарский щит

Рисунок 7. Карта перспектив нефтегазоносности ордовикско-силурийских отложений Тунгусской синеклизы

О перспективности ордовикско-силурийских отложений синеклизы на УВ сырье свидетельствуют многочисленные нефтегазобитумопроявления, фиксируемые в интервалах развития коллекторов в скважинах и по обнажениям. Проявления растворимых битумов и нефтей зафиксированы в ордовикско-силурийских отложениях северо-восточной и западной частей синеклизы, ОВ которых не вышло за пределы градации МК₂². На крайнем северо-

западе в наиболее глубоко погружавшемся палеозойском разрезе в венлокских вторичных доломитах зафиксированы газопроявления.

В центральных частях синеклизы битумопроявления в туфолаковой толще представлены асфальтовыми производными нефти и слабоокисленными ее разностями, что указывает на незначительное развитие процессов траппового метаморфизма и повышает перспективы ее нефтегазоносности. Характер и масштабы битумопроявлений позволяют предполагать наличие залежей нефти в палеозойских отложениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Одним из критериев нефтегазоносности является наличие благоприятных условий для образования скоплений нефти и газа – сочетание пород с хорошими емкостными свойствами и перекрывающих флюидоупоров. Песчаники вихоревского горизонта среднего ордовика и вторичные доломиты венлокского отдела нижнего силура, являются основными литостратиграфическими уровнями пород с повышенными коллекторскими свойствами, благоприятными для формирования скоплений углеводородов. В составе первого уровня доминируют терригенные гранулярные коллекторы III и IV классов, связанные с пористыми кварцевыми и полевошпатово-кварцевыми песчаниками. Породами-флюидоупорами служат глинистые и сульфатно-глинисто-карбонатные отложения муктэйского и волгинского горизонтов среднего ордовика.

2. Вторичные доломиты нижнего силура образовались путем замещения известняков в ходе гравитационно-рассольного катагенеза. Доломитизация выразилась в формировании двух генераций кристаллов. Температуры гомогенизации породообразующего доломита I (~139–140 °C) согласуются с региональным катагенезом нижнесилурийских отложений. Образование доломита второй генерации (172–197 °C) – произошло позднее и было вызвано дополнительным прогревом пластовых вод. Во вторичных доломитах преобладают сложные коллекторы трещинно-порового, каверново-трещинного и трещинного типов VI и VII классов, а также поровые коллекторы V и VI классов; флюидоупорами являются глинисто-сульфатно-карбонатные отложения лудловского и пржидольского отделов верхнего силура.

3. Наличие в разрезе нефтегазопроизводившей толщи – граптолитовых сланцев ($C_{\text{орг}}$ до 16 %) и нафтидопроявления являются геохимическими критериями нефтегазоносности отложений. Региональный катагенез ОВ охватывает градации мезокатагенеза МК₁–МК_{4.5} (палеоглубины 1,5–4,1 км). Динамика флюидогенерации в катагенезе в граптолитовом ОВ имеет сокращенный характер. В северной части синеклизы битумопроявления представляют собой асфальтовые производные нефти, что указывает на незначительное развитие процессов траппового метаморфизма и повышает перспективы ее нефтегазоносности.

4. В пределах Тунгусской синеклизы наиболее перспективные территории для поисков нефти и газа, приурочены к положительным структурам, расположенным в центральных и северных частях синеклизы и ее бортовым зонам, где нефтегазоматеринские отложения достигли глубин, соответствующих грациям МК₁–МК₂ и отличаются повышенными концентрациями ХБА. Расположенные рядом отрицательные структуры являются крупными очагами нефтегазообразования, в которых ОВ характеризуется высокой зрелостью (МК₃–МК_{4.5}), а в составе битумоидов остаточные разности.

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. **Рясной А.А.,** Прокофьев В.Ю. Условия формирования вторичных доломитов нижнего силура и особенности распределения в них пустотного пространства (северо-восток Тунгусской синеклизы). **ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ СИБИРИ.** 2021; (2): 24–45. <https://doi.org/10.20403/2078-0575-2021-2-24-45> (авторский вклад – 90%). Импакт-фактор по SJR (Scopus) (2023): 4

2. **Рясной А.А.** Граптолитовые сланцы нижнего силура Тунгусской синеклизы и их нефтегазоматеринские свойства (Восточная Сибирь). **РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ.** 2021; (88): 99–116. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2021_88_99-116. Импакт-фактор журнала в РИНЦ, 2022: 0,478

3. **Рясной А.А.** Литолого-геохимические особенности пород-коллекторов и флюидоупоров ордовикского потенциально нефтегазоносного резервуара (Северо-Тунгусская нефтегазоносная

область, Восточная Сибирь). ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА И РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. 2022; (6): 17–34. [https://doi.org/10.33285/2413-5011-2022-6\(366\)-17-34](https://doi.org/10.33285/2413-5011-2022-6(366)-17-34). Импакт-фактор журнала в РИНЦ, 2022: 0,390

Статьи в других научных изданиях

4. **Рясной А.А.** Доломиты замещения венлокского отдела северо-востока Тунгусской синеклизы (особенности строения, распределения пустотного пространства и модель формирования) // Мат-лы 4-й Всерос. школы студентов, аспирантов и молодых ученых по литологии. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2020. – С. 123–125.

5. **Рясной А.А.** Песчаники среднего ордовика – потенциальные коллекторы нефти и газа в палеозойском разрезе северо-запада Сибирской платформы // Экзолит – 2021. Актуальные проблемы литологии: задачи и решения (научные чтения). – М.: МАКС Пресс, 2021. – С. 166–168.

6. **Рясной А.А.** Карбонатные коллекторы и нефтегазоматеринские отложения (графтолитовые сланцы) нижнего силура севера Тунгусской синеклизы (Восточная Сибирь) [Электронный ресурс] // Новые идеи в геологии нефти и газа. Новая реальность 2021: сб. науч. тр. по мат-лам Международ. науч.-практ. конф. – М.: Изд-во «Перо», 2021. – С. 497–501. – URL: https://oilgasideas.ru/wp-content/uploads/2021/12/snt2021_fin.pdf.

7. **Рясной А.А.** Вещественный состав, вторичные преобразования и коллекторские свойства ордовикско-силурийских терригенно-карбонатных отложений опорного разреза долины р. Мойеро и разреза р. Оленек (восток Тунгусской синеклизы) [Электронный ресурс] // Мат-лы VI Всерос. молодежной науч. конф., посвящ. памяти академика Н.Л. Добрецова. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2021. – С. 96–98. – URL: http://geo.stbur.ru/doc/conf-2021-08/Digest_2021_1.pdf.