

УДК 551.733.3:552.54(470.1)

ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В СИЛУРИЙСКИХ КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГРЯДЫ ЧЕРНЫШЕВА (ТИМАНО-ПЕЧОРСКАЯ ПРОВИНЦИЯ)

© 2023 г. И. И. Даньщикова^а, *, Т. В. Майдль^а, **

^аИнститут геологии им. акад. Н.П. Юшкина Коми научного центра
Уральского отделения РАН, ул. Первомайская, 54, Сыктывкар, 167000 Россия

*e-mail: iidanshikova@geo.komisc.ru

**e-mail: maydl@geo.komisc.ru

Поступила в редакцию 06.04.2023 г.

После доработки 15.06.2023 г.

Принята к публикации 29.06.2023 г.

В статье приведены результаты исследований постседиментационных процессов в силурийских карбонатных породах центральной части гряды Чернышева. Показано сложное сочетание вторичных преобразований карбонатных пород-коллекторов. Осадочные толщи демонстрируют проявления фонового и наложенного литогенеза. Помимо стадийно-катагенетических изменений, отложения подвергались также воздействию регрессивного инфильтрационного катагенеза (эпигенеза), сопровождавшегося выщелачиванием и доломитизацией известняков. Все это значительно повлияло на фильтрационно-емкостные свойства. Полученные данные могут способствовать выявлению новых объектов для поискового бурения и оптимизации геологоразведочных работ в сложнопостроенных территориях.

Ключевые слова: постседиментационные процессы, карбонатные породы, пустотное пространство, силур, гряда Чернышева.

DOI: 10.31857/S0024497X23700246, **EDN:** RXITMI

Карбонатные породы являются резервуарами для залежей углеводородного сырья во многих нефтегазоносных провинциях мира, среди которых могут быть названы Ближний Восток, Северная Америка, Ливия, Африка [Wayne, 2012; Lucia, 1999 и др.]. В России карбонатные коллекторы также распространены довольно широко. Одной из перспективных нефтегазоносных провинций является Тимано-Печорская, занимающая 3-е место по начальным суммарным топливно-энергетическим ресурсам (после Западно-Сибирской и Волго-Уральской нефтегазоносных провинций) [Прищепа и др., 2014, 2020; Sobornov, Danilov, 2015].

Активизация в последние годы геологоразведочных работ на гряде Чернышева позволила получить новые данные по стратиграфии, литологии, геохимии и петрофизике отложений и по-новому оценить перспективы среднеордовикско-нижнедевонского нефтегазоносного комплекса в пределах Предуральского прогиба [Богданов и др., 2016; Данилов, 2017; Данилов и др., 2011а, 2011б]. На ряде структур гряды Чернышева в скважинах при испытаниях были отмечены нефтепроявления, а в некоторых получены небольшие притоки легкой нефти. Выявленные месторождения при-

урочены к структурам со сложным геологическим строением и анизотропией, обусловленной замещением проницаемых интервалов плотными породами. Разрабатываемые резервуары обладают высокой неоднородностью, которая связана с изменчивыми условиями накопления слагающих их пород и влиянием вторичных изменений. Многообразие факторов, формировавших строение пустотного пространства и распространение коллекторов по разрезу, требует детальных седиментологических и литогенетических исследований. В связи с этим, изучение низкочастотных силурийских карбонатных пород-коллекторов и обоснование влияния вторичных процессов на коллекторские свойства имеет практический интерес для сложнопостроенных территорий центральной части гряды Чернышева. Полученные результаты могут быть полезны для локального прогноза зон с улучшенными коллекторскими свойствами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследуемые объекты располагаются в северной части Тимано-Печорской провинции в пределах центральной части гряды Чернышева (рис. 1).

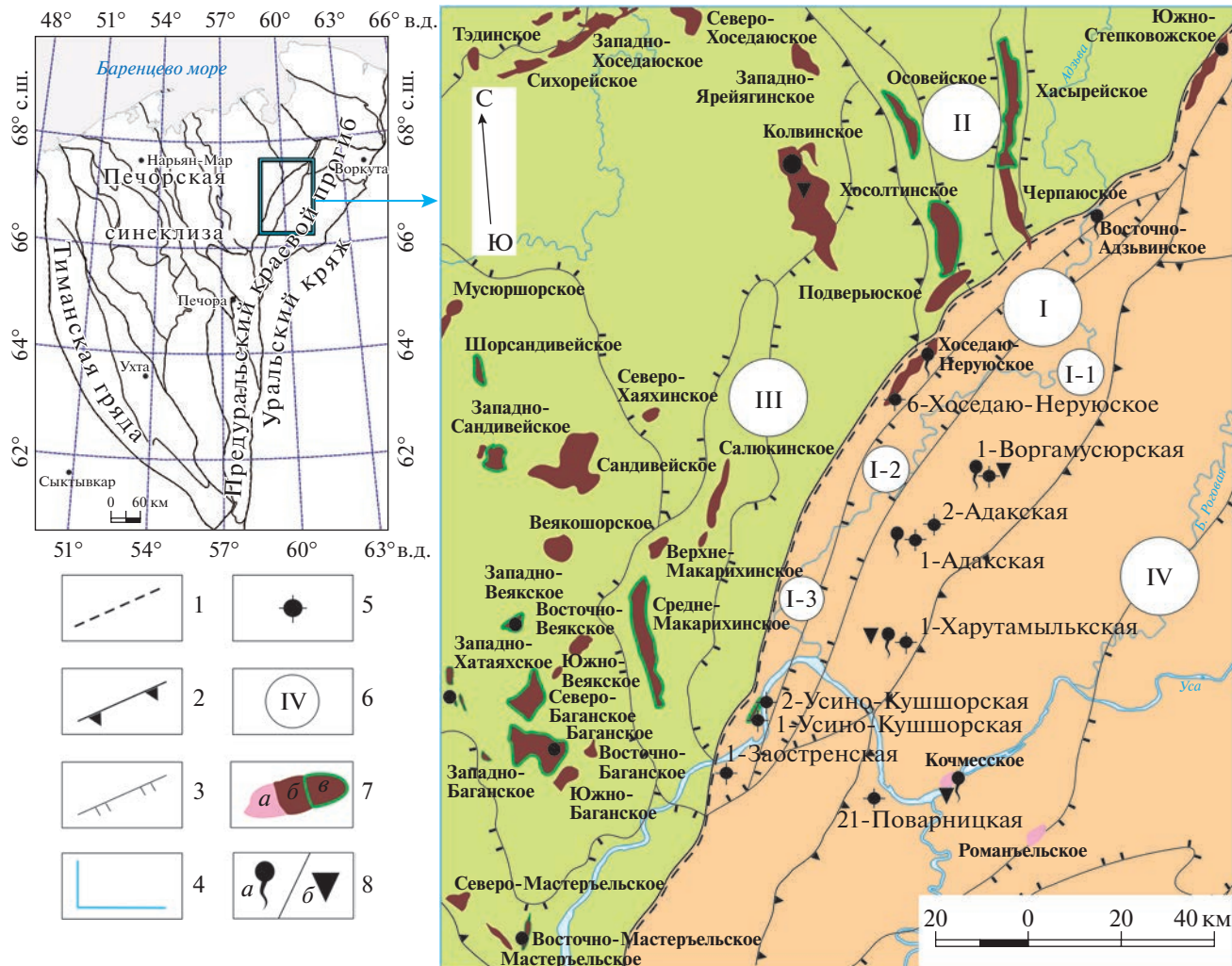


Рис. 1. Тектоническое районирование Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, по [Белонин и др., 2004] с изменениями.

1–3 – границы тектонических элементов: 1 – надпорядковых, 2 – первого порядка, 3 – второго порядка; 4 – район работ; 5 – скважины; 6 – номера тектонических элементов (I – гряда Чернышева (I-1 – Тальбейский блок, I-2 – Адзьявовская депрессия, I-3 – Хоседаюский вал); II – Варандей-Адзвинская структурная зона; III – Хорейверская впадина; IV – Косью-Роговская впадина); 7 – месторождения (а – газовые, б – нефтяные, в – нефтяные в породах силурийского возраста); 8 – нефтепроявления и притоки нефти (а – нефтепроявления, б – непромышленные притоки нефти и газа).

В работе изучался керновый материал параметрических, поисково-оценочных скважин 1-Харутамыльская, 1-, 2-Адакские, 1-Воргамусюрская, 6-Хоседаю-Неруюская, 1-, 2-Усино-Кушшорские, 1-Заостренская из государственного фонда ОАО “ТП НИЦ”, ООО “Газпром ВНИИГАЗ”.

Микроскопические исследования проводились на поляризационных микроскопах марки ПОЛАМ Л-231М и Leica DM 2700 M. При микроскопическом изучении основное внимание было уделено вторичному минералообразованию в поровом и трещинном пространстве.

Изучение минерального состава и строения пустотного пространства в карбонатных породах

выполнено методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопах JSM 6400, оснащенном энергодисперсионным спектрометром “Link” (оператор В.Н. Филиппов, г. Сыктывкар) и TESCAN VEGA-3 с энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-Max (операторы Е.М. Тропников, А.С. Шуйский, Сыктывкар). Дополнительно были привлечены в работу петрофизические и геофизические характеристики изучаемых скважин по фондовым и опубликованным материалам [Данилов и др., 2011а, 2011б; Данилов, 2017].

В статье за стратиграфическую основу принята утвержденная унифицированная схема расчлене-

ния нижнепалеозойских отложений по Международной стратиграфической шкале [Постановления ..., 2008].

ТЕКТОНИЧЕСКОЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

Согласно схеме тектонического районирования, гряда Чернышева является структурой первого порядка [Тектоническая карта ..., 1985]. Она находится на северо-востоке Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции и представляет собой сложнопостроенную чешуйчато-надвиговую структуру в составе Предуральского краевого прогиба, которая ограничивает его с запада от структур Печорской синеклизы (см. рис. 1). Геологическому строению и нефтегазоносности гряды Чернышева посвящены работы А.И. Антошкиной, Б.П. Богданова, В.Н. Данилова, В.А. Жемчуговой, Н.И. Никонова, О.М. Пришепы, В.Н. Ростовщикова, Н.И. Тимониной, В.В. Юдина и многих других [Антошкина, 1994; Богданов и др., 2016; Белонин и др., 2004; Данилов, 2017; Жемчугова и др., 2001; Никонов и др., 2002; Тимонин, 1975; Юдин, 1994 и др.].

Большинство исследователей связывают формирование гряды Чернышева с проявлением послойных срывов по соленосным ордовикским толщам под воздействием уральского орогенеза [Юдин, 1994; Тимонин, 1975; Соборнов, Данилов, 2014; Данилов, 2017]. Однако, некоторые черты строения гряды остаются дискуссионными [Соборнов и др., 2021].

Эволюция тектонического режима развития территории, который является одним из главных факторов образования и преобразования осадочных толщ, достаточно подробно рассмотрена в ряде монографий, посвященных тектонике и истории развития севера Урала и Приуралья, и Тимано-Печорской провинции [Пучков, 2010; Юдин, 1994; Тимонин, 1975; Малышев, 2002 и др.].

Согласно существующим представлениям, эволюция проходила в тесной связи с заложением и развитием Уральского палеоокеана и геодинамических обстановок внутри-плитных палеорифтовых зон. В позднем кембрии—раннем ордовике, в результате континентального рифтинга, сменившегося межконтинентальным, произошло раскрытие Уральского палеоокеана и в конце раннего—среднего ордовика сформировалась пассивная континентальная окраина, занимавшая восточную половину современной Тимано-Печорской провинции. В ее центральной части на месте Печоро-Колвинского авлакогена в обстановке транспрессии (сдвига и раздвига), проявляется пассивный рифтинг и образование сдвигово-раздвиговых грабенообразных впадин, тяготеющих к зонам крупных разломов [Малышев, 2002]. Пред-

полагается также наследование впадинами более древних и более длительных зон прогибания и накопление в них соленосных ордовикских толщ, определивших в дальнейшем тектоническое строение структур гряды Чернышева. В среднем ордовике осадконакопление продолжалось в условиях пассивной окраины. В среднем—позднем ордовике в шельфовой зоне бассейна терригенные осадки сменяются карбонатными, а в позднем ордовике и сульфатно-карбонатными (на заключительных стадиях седиментационных циклов). В разрезах скважин центральной части гряды Чернышева, ордовикские отложения представлены седиментационными доломитами с прослоями ангидритов, глинистых доломитов, аргиллитов, алевролитов и вторичных доломитов. В отложениях встречаются остатки остракод, водорослей, отмечаются ходы илоедов. В скважинах Тальбейского блока (скв. 1–, 2-Адакские и 1-Воргамусюрская) ордовикские сульфатно-карбонатные толщи включают также соленосные пласты, и существенно увеличены в мощности.

Перекрывающие ордовикскую толщу силурийско-нижнепермские отложения образовывались в условиях погружения континентальной окраины. Силурийские породы на рассматриваемой территории развиты повсеместно, они залегают без видимого перерыва на верхнеордовикских. Отложения джагалского горизонта представлены разнообразными породами мелководного сублиторального комплекса: известняками и вторичными доломитами по биокластовым известнякам, среди которых выделяются пласты кораллово-строматопоровых биостромов (мощностью до 4–5 м). Наибольшее разнообразие бентосной фауны (остатки брахиопод, гастропод, иглокожих, мшанок, остракод и др.) характерно для кораллово-строматопоровых биостромов и биогермных построек. В филиппельском горизонте преобладающими породами становятся ламинарные иловые и водорослевые вторичные доломиты с прослоями строматолитовых образований, характеризующие приливно-отливные равнины закрытого шельфа. Седельский горизонт представлен известняками и вторичными доломитами по строматопоровым биостромам и ракушечниками приливно-отливных равнин и отмелей открытого шельфа. Для гердьюского горизонта характерно чередование разнообразных известняков и доломитов, мергелей и аргиллитов, отражающее регрессивную направленность развития седиментационного бассейна. Довольно широко распространены отложения прибрежных отмелей — преимущественно брахиоподовые, остракодовые и пеллециподовые ракушечники. Приливно-отливные отложения отчетливо диагностируются по развитию строматолитов, узорчатых доломитов, знаков ряби и крупных трещин усыхания. В пржидольское время в восточной части гряды

Чернышева отмечается преобладание сублиторальных условий, где накапливаются известняки биоморфные, гастроподовые, брахиоподовые, часто с крупными обломками колоний строматопорат и табулят. В северо-восточном направлении на территории исследования в этот период происходит постепенное обмеление отложений. Отмечается образование известняков зеленоцветных глинистых, прослоями с большим количеством зерен кварца алевритовой размерности.

Отложения нижнего девона на гряде Чернышева были частично или полностью (в южной части Хоседаюского вала) размывы в предсредне-предпозднедевонское время. В основании нижнедевонский разрез сложен чередованием вторичных доломитов, известняков и мергелей, с тонкими прослоями аргиллитов. В верхней части преобладают глинистые доломиты, доломитовые мергели с подчиненными прослоями вторичных доломитов и аргиллитов.

В целом, ордовикско-нижнедевонский этап характеризовался преобладанием нисходящих тектонических движений, и унаследованием структурного плана от внутренней структуры и рельефа фундамента [Тектонические критерии ..., 1986].

В среднедевонское время структурный план претерпел незначительные деформации в условиях кратковременного тангенциального сжатия и последующего воздымания большей части Тимано-Печорского бассейна [Малышев, Пинчук, 1992]. Вывод и эрозия крупных блоков осадочного чехла, сложенных карбонатами, в конце раннего-среднего девона сопровождались развитием гипергенных процессов и карстификацией массивов карбонатных пород.

Начало нового среднедевонско-триасового геодинамического цикла отмечено регенерацией и активным развитием Печоро-Колвинской палеорифтовой зоны. Среднедевонские отложения в рассматриваемом районе отсутствуют. Верхнедевонские отложения имеют почти повсеместное распространение. Дивергентный период погружения и накопления осадков в конце карбона—начале перми сменился конвергентным, с преобладанием режима тангенциального сжатия и широким проявлением инверсионных процессов во внутренней (плитной) части бассейна. На месте пассивной континентальной окраины и перикратона формируются краевой прогиб и западная структурная зона складчато-надвиговой области Урала, структурным ограничением которой является гряда Чернышева [Малышев, 2002].

С фаменским и каменноугольным периодами развития Уральского региона связан ряд коллизионных процессов присоединения к континентальной окраине вулканических дуг. Эти периоды сопровождались образованием несогласий, тектонических брекчий и трещинных зон. Заклю-

чительная континентальная коллизионная стадия пришлась на позднеартинское время.

Согласно тектоническим реконструкциям [Юдин, 1994; Соборнов, Данилов, 2014], близкая к современной структура гряды Чернышева сформировалась уже на рубеже перми и триаса. Однако, в конце триаса она подверглась режиму внутриплитной транспрессии (сжатие + сдвиг), в результате чего образовались сдвиговые структуры “пайхойской” вергентности. Южная часть гряды Чернышева оказалась в условиях сжатия, а северная — в условиях растяжения. В кайнозойское время Урал и Предуралье испытали поднятие, повлекшее за собой эрозию [Соборнов, Данилов, 2014].

Неоднократные структурные преобразования гряды Чернышева, являясь триггером эпигенетических преобразований силурийских карбонатных пород, во многом предопределили морфологию и качество их пустотного пространства.

ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Как известно [Постседиментационные ..., 1980; Киркинская, Смахов, 1981], коллекторский потенциал карбонатных пород зависит как от условий их осадконакопления, так и от постседиментационных преобразований. Силурийские карбонатные породы гряды Чернышева демонстрируют сложное сочетание вторичных изменений, связанных, в основном, с проявлениями тектонических процессов, нарушающих равновесие в системе взаимодействующих пород и подземных вод многокомпонентного состава [Даньщикова и др., 2019]. В данной работе рассмотрены лишь те процессы, которые наиболее сильно повлияли на структуру и морфологию пустотного пространства. К ним отнесены уплотнение, доломитизация, выщелачивание, вторичное минеральное заполнение пустот и трещинообразование (рис. 2).

Уплотнение обусловлено ростом нагрузки накапливающихся пластов либо тангенциальными напряжениями, связанными с тектоническими дислокациями. Первый тип связан с механическим уплотнением, заключающимся в плотной упаковке зерен за счет их деформации без участия химических процессов. О данном процессе свидетельствуют раздавленные раковины либо уплотненные форменные элементы.

Второй тип — растворение под давлением, которое приводит к образованию микростилолитовых контактов зерен и стилолитовых швов. В карбонатных породах можно наблюдать пластичные деформации и микростилолитовые сочленения между зерен, их вогнуто-выгнутые контакты, а также стилолиты (см. рис. 2а). Стилолиты встречаются как зачаточных бугорчатых, зубчатых типов,

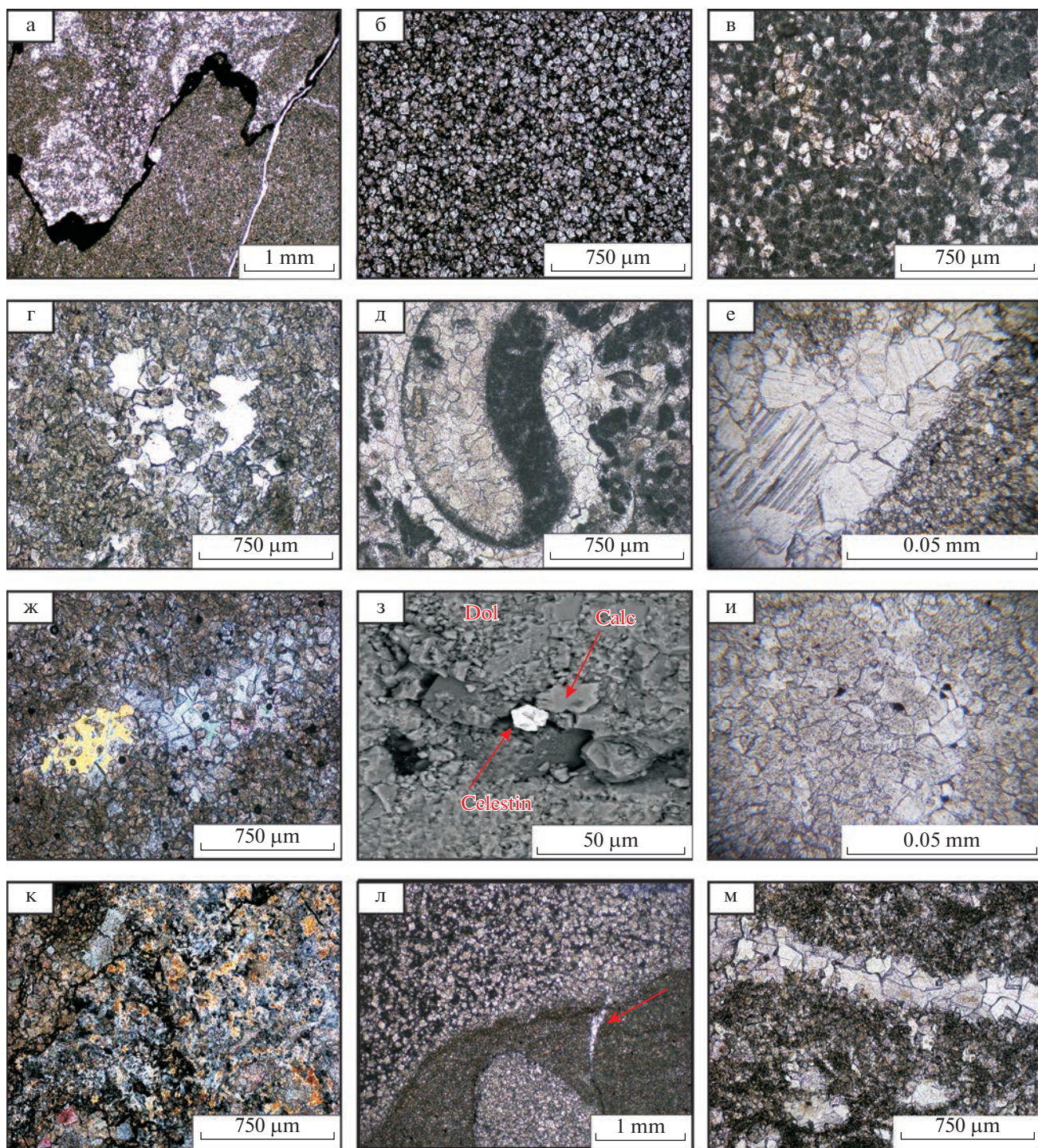


Рис. 2. Основные типы вторичных изменений в силурийских карбонатных породах.

а – зубчатый стилолитовый шов во вторичном доломите, скв. 1-Воргамусюрская, верхний силур; б – средне-мелкозернистый диагенетический доломит, скв. 2-Адакская, верхний силур; в – ромбоэдрические зерна доломита, цементирующие пелоидные комочки кальцита, скв. 6-Хоседаю-Неруюская, нижний силур; г – пустоты выщелачивания во вторичном доломите, скв. 2-Адакская, нижний силур; д – новообразованный кальцит по органическому остатку, скв. 1-Воргамусюрская, нижний силур; е – крупнозернистые двойники кальцита в пустотном пространстве, скв. 1-Воргамусюрская, нижний силур; ж – заполнение пустотного пространства новообразованным ангидритом, скв. 6-Хоседаю-Неруюская, нижний силур; з – выделение аутигенного целестина в толще нижнего силура, скв. 1-Воргамусюрская; и – заполнение пиритом промежутков между доломитовыми кристаллами, скв. 1-Заостренская, нижний силур; к – окремнение во вторичном доломите, скв. 1-Адакская, нижний силур; л – залеченная литогенетическая трещина в отложениях гребенского горизонта, скв. 1-Адакская (стрелкой показана литогенетическая трещина); м – тектоническая трещина, выполненная новообразованным доломитом, скв. 1-Воргамусюрская, верхний силур.

так и хорошо выраженные стилолитовые швы с амплитудой до 1 мм, расположенные обычно субпараллельно, реже под углом к слоистости. Стилолитовые швы чаще всего выполнены темно-бурым глинистым, глинисто-битуминозным веществом, иногда с примесью терригенного материала. По ним часто развиваются открытые микротрещины более поздней генерации с вторичными пустотами выщелачивания. Нередко в породе вблизи стилолитов наблюдаются новообразования крупных зерен доломита, ангидрита и примазки коричневого, или почти черного битума. Чаще всего процесс растворения протекает под влиянием нагрузки перекрывающих отложений, то есть под воздействием давления, которое направлено к слоистости пород (перпендикулярно к поверхности наслоения). Однако этот процесс, в зонах тектонических нарушений, развивается при боковом давлении. Свидетельством такого проявления являются вертикальные и наклонные стилолиты.

Доломитизация. В исследуемых силурийских отложениях доломиты можно разделить на несколько типов по морфологическим признакам. Первый тип средне-мелкозернистый (размеры от 0.01 до 0.06 мм) с зернами гипидиоморфной формы, распространен чаще всего в верхней части гребенского горизонта (см. рис. 2б). Второй тип представлен мелко-среднезернистым доломитом, цементирующим менее измененные участки породы (см. рис. 2в). Третий тип представлен кристаллами доломита ромбоэдрической и субромбоэдрической формы, размером не превышающих 0.2–1.5 мм. Данный тип отмечается в нижнем силуре, выполняя каверны, поры и трещины либо в качестве порообразующего минерала (см. рис. 2г). В изученных разрезах с ними связаны вторичные, межзерновые поры доломитизации-перекристаллизации размером менее 0.01 мм. По результатам сканирующего электронного микроскопа ромбоэдри доломита хорошо окристаллизованы, нередко на поверхностях граней отмечаются присыпки микрокристаллов гипса и галита.

Выщелачивание. Пустотное пространство в изучаемых породах, в основном, связано с процессами выщелачивания, которые сопровождаются выносом карбонатного вещества, формируя пустотное пространство – поры выщелачивания (см. рис. 2г). Форма пор самая разнообразная, между собой они сообщаются межзерновыми каналами и микротрещинками шириной не более 0.01 мм. В породах процесс выщелачивания в основном приурочен к трещинным зонам. Также наблюдается внутризерновое выщелачивание форменных элементов и пустоты перекристаллизации. Наиболее полно данный процесс проявлен в крупно-среднезернистых доломитах. Однако пустотное пространство позднее часто подвергалось

частичному или полному “запечатыванию” минеральными новообразованиями.

Минералы выполнения пустотного пространства. Основными минералами, выполняющими трещины, поры и каверны являются кальцит, ангидрит, гипс, пирит, халцедон, кварц, реже целестин, флюорит.

Кальцит отмечается в биокластовых известняках верхнего силура формируя диагенетические типы цементов и выполняя полости раковин (см. рис. 2д). В них зерна кальцита выполнены мозаичными агрегатами таблитчатой формы. Также встречаются в полостях с хорошо выраженной спайностью и полисинтетическим двойникованием (см. рис. 2е). Данный тип встречается в основном, в нижнем силуре.

Сульфатные минералы чаще всего распространены в западной части гряды Чернышева. **Ангидрит и гипс** развиваются в межзерновых порах и кавернах (см. рис. 2ж), выполняют пустоты выщелачивания, иногда заполняют органогенные остатки. **Целестин** отмечается в нижнем силуре и образует единичные агрегаты на доломитах. Они хорошо обнаруживаются при помощи растровой электронной микроскопии (см. рис. 2з).

Флюорит локализован на поверхности кристаллов доломита в виде отдельных зерен и встречается, в основном, в нижнесилурийских отложениях.

Пирит присутствует в небольшом количестве (1–4%, реже достигает 10%); встречается в виде отдельных мелких кристаллов либо фрамбоидов. Наиболее обильно он развит в известняках и доломитах гердьюского горизонта, которые обычно содержат глинистую примесь и обогащены органическим веществом. В породах нижнего силура пиритизация, вероятно, проходила одновременно с доломитизацией, так как иногда пирит обнаруживается в промежутках между кристаллами доломита (см. рис. 2и).

Минералы кремнезема в силурийских отложениях отмечаются в виде замещения органических остатков либо в пустотном пространстве в виде мелких диагенетических стяжений длиной 0.3–1 мм. Кремнистые выделения в пустотном пространстве отмечаются, главным образом, среди неравномерно перекристаллизованных доломитов, и образуют светлые пятна причудливых “узорчатых” очертаний (см. рис. 2к). Выделения кремнезема, реже хорошо ограненные кристаллы кварца, могут избирательно заполнять отдельные поры, пустоты выщелачивания и микротрещины.

Трещинообразование. Как показывают исследования, в силурийских отложениях трещины играют немаловажную роль в формировании емкостного пространства и миграции флюидов. Макро- и микроскопические исследования кернового материала позволили разделить их на два

генетических типа: литогенетические и тектонические.

В силурийских отложениях гряды Чернышева литогенетические трещины встречаются в основном в породах верхнего силура. Они имеют небольшую протяженность, чаще всего представлены в виде затухающих трещин клиновидной формы, залеченных янокристаллическим кальцитом (см. рис. 2л). Реже отмечаются раскрытые, извилистые, очень тонкие трещины. Скорее всего литогенетические трещины возникли в результате геостатической нагрузки вышележащих осадков.

Тектонические трещины развиты по всей силурийской толще. Они секущие, прямые, вертикальные, разветвленные, часто образуют параллельные системы. В основном они залечены вторичным кальцитом либо “жильным” доломитом (см. рис. 2м). Размеры кристаллов от средне- до крупнокристаллических. Достаточная протяженность тектонических трещин, их четкий контакт с вмещающей породой и пересечение желваков и фаунистических остатков указывают, что их формирование проходило уже в литифицированных отложениях, то есть на этапе катагенеза [Махнач, 2007, 2000]. Заполнение трещин, скорее всего, происходило практически сразу после образования, так как они залечены вторичными минералами. Немаловажную роль в их развитии сыграл общий тектонический режим региона.

СТАДИЙНОСТЬ ВТОРИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Под стадийностью вторичных преобразований принято понимать их приуроченность к разным стадиям и типам литогенеза. Исторически сложилось, что литогенез как процесс образования осадочных пород, представлялся рядом сменяющихся последовательно стадий преобразований, включающих стадии диагенеза, катагенеза и метагенеза. Однако, трудности с практическим применением данной схемы послужили корректировке представлений. Появилось понятие наложенного литогенеза, объединяющего различные проявления процессов связанных с изменением гидродинамических режимов и раскрытием флюидапорных систем [Лебедев, 1992; Сергеева, 2004; Япаскерт, 2013].

Повышенная растворимость карбонатных пород по сравнению с терригенными породами, определяет значительную зависимость характера и степени их преобразований не от термобарических, а от гидрохимических параметров в системе порода–пластовая вода. Большой вклад в изучение стадийных преобразований карбонатных пород внесен исследованиями А.А. Махнача [2000, 2007], посвященными взаимосвязи литологии и гидрохимии. Стадиальные изменения

карбонатов, вследствие их повышенной растворимости, в большей степени относятся к изменениям наложенного типа. Автор рассматривает их в тесной связи с гидрохимией и гидродинамикой водных комплексов, разделив на безэвапоритовые и эвапоритсодержащие. Безэвапоритовые водоносные системы подразделены в свою очередь на элизионные и инфильтрационные. Инфильтрационный режим связан с действием метеорных вод, проникающих в породу с поверхности и мигрирующих под действием гравитации сверху вниз. Элизионные же процессы происходят за счет перемещения флюидов под действием градиентов гидростатического давления снизу вверх.

Рассматриваемые в работе силурийские карбонатные породы испытали как “классический” фоновый литогенез, так и вторичные изменения наложенного характера (рис. 3).

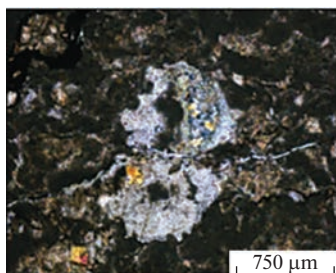
К постседиментационным изменениям карбонатных пород, связанных с фоновым литогенезом, отнесены кальцитизация (I тип) и окремнение (I тип) органогенного материала, а также формирование зерен и агрегатов пирита, стилолитизация, литогенетические трещины.

Наложено-эпигенетические процессы включают инверсионно-тектоническую перестройку природных бассейнов и сопровождаются изменениями водно-флюидного режима, образованием разломов, зон трещиноватости [Сергеева, 2004]. Это приводит к существенным изменениям химического и минерального состава пород, их структурно-текстурных особенностей, строения и морфологии пустотного пространства. С наложенными процессами связана аутигенная минерализация, наложенная на первичный минеральный состав и структуру пород. Данный процесс отличается от предыдущего, размерностью и морфологией минеральных агрегатов доломита, кальцита (II тип), халцедона-кварца (II тип), ангидрита-гипса. Характерной особенностью наложенных преобразований в нижнем силуре является их интенсивное развитие, сильно “затушевавшие” следы процессов диагенеза (см. рис. 3).

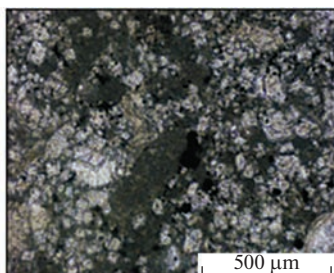
В изученных породах кальцитизация и окремнение по органогенным остаткам (I тип) развиты слабо и встречается чаще всего в верхнесилурийских отложениях. Данные процессы наиболее сильно проявлены в биокластовых известняках. В раннем диагенезе локальные концентрации SiO_2 чаще всего возникают в обводненных карбонатных илах с относительно низким pH, благоприятным для растворения здесь кремнезема [Морозов, 2006]. Эпигенетическое окремнение (II тип) проявляется как замещение карбонатных пород в зоне водонефтяного контакта. Окремнение карбонатных пород происходит за счет выделения SiO_2 из кислых подземных вод, при их контакте с щелочными рассолами, которые, цирку-

ФОНОВЫЙ ЛИТОГЕНЕЗ

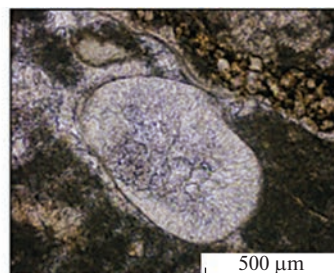
ОКРЕМНЕНИЕ I



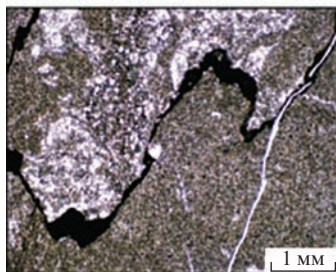
ПИРИТИЗАЦИЯ



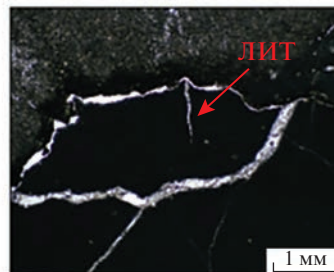
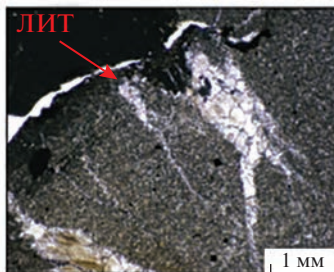
КАЛЬЦИТИЗАЦИЯ I



СТИЛОЛИТИЗАЦИЯ

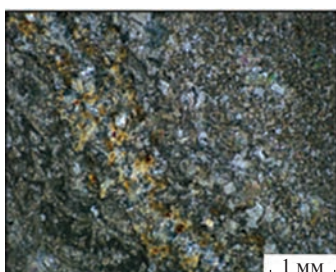


ЛИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТРЕЩИНЫ

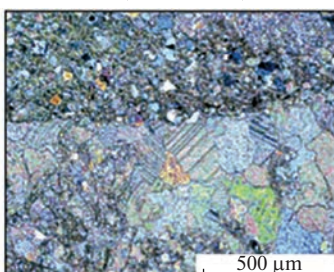


НАЛОЖЕННЫЙ ЛИТОГЕНЕЗ

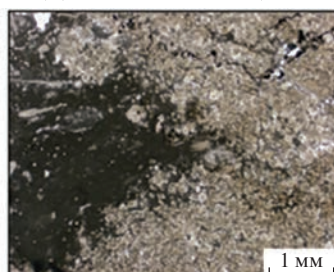
ОКРЕМНЕНИЕ II



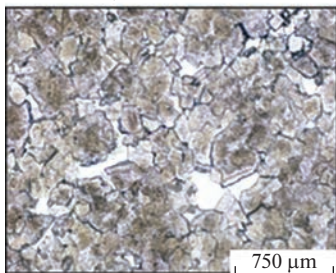
КАЛЬЦИТИЗАЦИЯ II



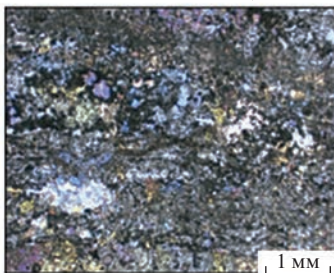
ДОЛОМИТИЗАЦИЯ



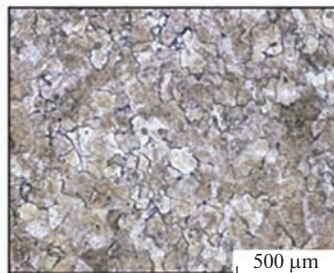
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ



СУЛЬФАТИЗАЦИЯ



“ЖИЛЬНЫЙ” ДОЛОМИТ



ТЕКТОНИЧЕСКИЕ СТИЛОЛИТЫ И ТРЕЩИНЫ



КАРСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ



Рис. 3. Основные постседиментационные стадии преобразования в силурийских карбонатных породах (ЛИТ — литогенетическая трещина).

лируя по карбонатным породам, одновременно осуществляют их частичное растворение. В этих случаях кремнезем замещает отдельные участки карбонатной массы; нередко в пределах таких окремненных участков различимы реликты первичной структуры карбонатного материала либо карбонатных форменных образований. Формирование эпигенетической кальцитизации (II тип) обычно связано с осаждением кальцита из подземных вод в полостях пустот и трещин в виде крупных кристаллов с полисинтетическим двойникованием. В изученных разрезах данные процессы часто приводят к снижению фильтрационно-емкостных свойств.

В местах, где преобладали резко восстановительные обстановки, протекали процессы сульфат-редукции. Минералом индикатором данного процесса является диагенетический пирит, который широко распространен в верхнесилурийских отложениях. В нижнем силуре зоны пиритизации часто приурочены к зонам брекчирования, что говорит об их связи с тектоническими нарушениями, являющимися, вероятно, проводниками растворов, содержащих ионы железа и H_2S .

Стилолитизацию следует рассматривать как длительный процесс, который образуется как в диагенезе, так и в катагенезе. Стилолитовые швы, параллельные слоистости, отнесены к проявлению гравитационного уплотнения при диагенезе. Зеркала скольжения и кулисообразные вертикальные стилолитовые швы чаще всего характеризуют зоны тектонического сжатия (надвиги и взбросы).

В силурийских отложениях процесс доломитизации распространен повсеместно и протекал в периоды от раннего диагенеза до позднего катагенеза. По структурным признакам доломит можно разделить на два вида: диагенетический и эпигенетический [Киркинская, Смахов, 1981]. При диагенетической доломитизации зерна доломита представлены средне-мелкозернистыми агрегатами гипидиоморфной формы. Согласно Л.П. Гмид [2006], диагенетическая доломитизация обусловлена замещением (в стадию диагенеза) первичных компонентов известкового ила доломитом, с последующей перекристаллизацией его в стадию позднего диагенеза—катагенеза.

Эпигенетическая доломитизация представлена средними и крупными зернами ромбоэдрической и субромбоэдрической формы. На начальных стадиях вторичный доломит замещает кальцит, который цементирует органические остатки. На поздней стадии преобразованию подвергается вся порода и все компоненты, слагающие ее. В результате в шлифах едва узнаются реликты перекристаллизованного раковинного детрита. Происхождение эпигенетической доломитизации Г.И. Теодорович [1950] объясняет медленным ро-

стом кристаллов доломита в породе из поровых растворов, в условиях близких к нормально морскому (океаническому) водоемам. Эпигенетическое выщелачивание широко развито в породах нижнего силура, мелководные отложения которого изначально обладали повышенной пористостью и проницаемостью и имели возможность сохранить эти свойства после преобразований, связанных с инфильтрационным эпигенезом во время предсредне-предпозднедевонского перерыва.

Процесс сульфатизации развивался не только по пустотному пространству, но и затрагивал основную матрикс породы. Привнос сульфатных растворов и образование минералов обусловлено проникновением в пласт растворов из залегающих выше или по соседству галогенных толщ ордовика и/или нижнего девона в ходе прогрессивного погружения либо тектонических перестроек территории. Появление выделений катагенетического гипса в надэвапоритовых толщах сопряжено с формированием десцендентных рассолов, процессами выщелачивания-растворения минералов сульфатных пластов и их элизией, вытеснением в вышележащие толщи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что вторичные изменения карбонатных пород, в основном, связаны с различными катагенетическими проявлениями как фонового (стадиального), так и наложенного типа. Все это внесло значительные изменения в фильтрационно-емкостные свойства. К факторам, действующим уже на ранних стадиях диагенеза и негативно влияющих на коллекторские свойства, относятся повышенное содержание глинистой составляющей, значительные количества карбонатного ила (микрита) и нахождение в осадке микроорганизмов, приводящих к микритизации карбонатных зерен, биотурбация, ранняя цементация зернистых прослоев. К воздействию инфильтрационного катагенеза отнесены процессы выщелачивания и доломитизации. С тектогенезом связаны процессы рекристаллизации доломитовых минеральных фаз, сопровождаемые увеличением содержания доломита в породе, а также минеральное выполнение трещин и пустот карбонатами, фторидами и сульфатами. Лишь в локальных зонах растяжения уменьшение общего объема пустот компенсировалось развитием трещин и формированием пустот выщелачивания.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме НИР № НИОКТР 122040600010-8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антошкина А.И. Рифы в палеозое Печорского Урала. СПб.: Наука, 1994. 188 с.
- Белонин М.Д., Прищепа О.М., Теплов Е.Л., Буданов Г.Ф., Данилевский С.А. Тимано-Печорская провинция: геологическое строение, нефтегазоносность и перспективы освоения. СПб.: Недра, 2004. 396 с.
- Богданов Б.П., Ростовщиков В.Б., Недилук Л.П., Маркова И.А., Сенин С.В. Тектонические и геохимические предпосылки нефтегазоносности гряды Чернышева // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2016. Т. 11. № 2. http://www.ngtp.ru/rub/4/18_2016.pdf.
- Гмид Л.П. Литологические аспекты изучения карбонатных пород-коллекторов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2006. Т. 1. <http://www.ngtp.ru/rub/8/07.pdf>.
- Данилов В.Н. Гряда Чернышева: геологическое строение и нефтегазоносность. СПб.: Реноме, 2017. 288 с.
- Данилов В.Н., Иванов В.В., Гудельман А.А., Журавлев А.В., Вишератина Н.П., Огданец Л.В., Уткина О.Л. Перспективы нефтегазоносности центральной части поднятия Чернышева по результатам геологоразведочных работ на Адакской площади // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2011а. Т. 6. № 2. http://www.ngtp.ru/rub/4/21_2011.pdf.
- Данилов В.Н., Огданец Л.В., Макарова И.Р., Гудельман А.А., Суханов А.А., Журавлев А.В. Основные результаты изучения органического вещества и УВ-флюидов Адакской площади // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2011б. Т. 6. № 2. http://www.ngtp.ru/rub/1/22_2011.pdf.
- Даньщикова И.И., Майдль Т.В., Митюшева Т.П. Эпигенетические изменения карбонатных пород и их связь с химическим составом воды в верхнеордовикско-нижнедевонском нефтегазоносном комплексе гряды Чернышева и восточного борта Хорейверской впадины // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. Т. 14. № 4. http://www.ngtp.ru/rub/2019/44_2019.html.
- Жемчугова В.А., Мельников С.В., Данилов В.Н. Нижний палеозой Печорского нефтегазоносного бассейна (строение, условия образования, нефтегазоносность). М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. 110 с.
- Киркинская В.Н., Смехов Е.М. Карбонатные породы — коллекторы нефти и газа. Л.: Недра, 1981. 255 с.
- Лебедев Б.А. Геохимия эпигенетических процессов в осадочных бассейнах. Л.: Недра, 1992. 239 с.
- Малышев Н.А., Пинчук А.В. Древние погребенные локальные поднятия — новые нефтегазописковые объекты Колвинского мегавала // Природные резервуары Печорского нефтегазоносного бассейна // Тр. Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 76. 1992. Вып. С. 103—110.
- Малышев Н.А. Тектоника, эволюция и нефтегазоносность осадочных бассейнов европейского севера России. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 271 с.
- Махнач А.А. Водонесные системы как арены катагенеза горных пород // Гидрогеохимия осадочных бассейнов // Труды Российской научной конференции. Томск: Изд-во НТЛ, 2007. С. 43—50.
- Махнач А.А. Стадиальный анализ литогенеза. Минск: БГУ, 2000. 255 с.
- Морозов В.П. Вторичные изменения карбонатных нефтеносных известняков Волго-Уральской антеклизы // Литосфера. 2006. № 3. С. 141—148.
- Никонов Н.И., Богацкий В.В., Галкина Л.В., Довжикова Е.Г., Ермакова О.Л., Костыгова П.К., Куранова П.К., Ларионова З.В., Мартынов А.В., Москаленко К.А., Шабанова Г.А. / Ред. В.И. Богацкий, З.В. Ларионова // Тимано-Печорский седиментационный бассейн (объяснительная записка к “Атласу геологических карт, 2000”). Ухта: Изд-во ГУП ТП НИЦ, 2002. 119 с.
- Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. Вып. 38. 131 с.
- Постседиментационные изменения карбонатных пород и их значение для историко-геологических реконструкций / В.Г. Кузнецов, Ю.П. Казанский, Д.К. Патрунов, И.В. Безбородова, А.Ю. Егоров, С.В. Максимова, И.К. Королук / Отв. ред. В.Г. Кузнецов. М.: Наука, 1980. 102 с.
- Прищепа О.М., Богацкий В.И., Григоренко Т.И., Орлова Л.А., Чумакова О.В. Новые представления о перспективах нефтегазоносности северо-западных районов Тимано-Печорской провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 8. С. 1—36. https://doi.org/10.17353/2070-5379/41_2014
- Прищепа О.М., Нефедов Ю.В., Айрапетян М.Г. Угледородный потенциал экваториального арктического сектора севера Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции по результатам региональных исследований // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2020. № 1. С. 7—24. https://doi.org/10.17353/2070-5379/4_2020
- Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа, 2010. 280 с.
- Сергеева Э.И. Эпигенез осадочных пород / Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. 140 с.
- Соборнов К.О., Данилов В.Н. Строение и перспективы нефтегазоносности гряды Чернышева (Тимано-Печорский бассейн) // Геология нефти и газа. 2014. № 5. С. 11—18.
- Соборнов К.О., Коротков И.П., Яковлев Д.В. и др. Раздавленные соляные диапиры гряды Чернышева (Тимано-Печорский бассейн): комплексное изучение и влияние на нефтегазоносный потенциал // Геология нефти и газа. 2021. № 1. С. 73—88. <https://doi.org/10.31087/0016-7894-2021-1-73-88>
- Тектоническая карта Печорской плиты. Сыктывкар, 1985. Вып. 12. 12 с.
- Тектонические критерии прогноза нефтегазоносности Печорской плиты / В.А. Дедеев, Л.З. Аминов, В.Г. Гецен, И.В. Запорожцев, Н.А. Малышев, И.Н. Рыжов, В.Л. Соенко, Н.И. Тимонин, Л.А. Удовиченко, В.В. Юдин. Л.: Наука, 1986. 217 с.
- Теодорович Г.И. Литология карбонатных пород палеозоя Урало-Волжской области. М.: Изд-во АН СССР, 1950. 213 с.
- Тимонин Н.И. Тектоника гряды Чернышева. Л.: Наука, 1975. 130 с.
- Юдин В.В. Орогенез севера Урала и Пай-Хоя. Екатеринбург: УИФ “Наука”, 1994. 286 с.
- Янаскурт О.В. Литология. Разделы: в двух частях. Часть I. Процессы и факторы эпигенеза горных пород:

диагностика и системный анализ / Учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2013. 216 с.

Lucia F.J. Carbonate reservoir characterization. Berlin: Springer-Verlag, 1999. 227 p.

Sobornov K.O., Danilov V.N. The Chernyshev Swell: Super-trap or Waste Zone? // Paper presented at the SPE Russian

Petroleum Technology Conference. Moscow, Russia, 2015. <https://doi.org/10.2118/176614-MS>

Wayne M. Ahr. Geology of Carbonate Reservoirs: the identification, description, and characterization of hydrocarbon reservoirs in carbonate rocks. New Jersey: Published by John Wiley & Sons, 2012. 296 p.

Post-Sedimentation Transformations in Silurian Carbonate Rocks of the Central Part of the Chernyshev Ridge (Timan-Pechora Province)

I. I. Danshikova^{1, *}, T. V. Maydl^{1, **}

¹*Institute of Geology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Pervomayskaya str., 54, Syktyvkar, 167000 Russia*

**e-mail: iidanshikova@geo.komisc.ru*

***e-mail: maydl@geo.komisc.ru*

The article presents the results of studies of post-sedimentary processes in Silurian carbonate rocks of the central part of the Chernyshev Ridge. A complex combination of secondary transformations in carbonate reservoir is shown. The sedimentary strata show manifestations of regional and superimposed lithogenesis. In addition to stage-catagenetic changes, the sediments were also exposed to regressive infiltration catagenesis (epigenesis), accompanied by leaching and dolomitization of limestone. All this significantly affected the filtration-capacitative properties. The obtained data can contribute to the identification of new objects for exploration drilling and optimization of exploration works in the complex territories.

Keywords: post-sedimentation processes, carbonate rocks, void space, Silurian, Chernyshev Ridge.