

УДК 552.08:552.54 (470.13)

Т.В. Павленко, К.В. Дементьева, Е.Е. Лебединцева
Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть», г. Пермь

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА НИЖНЕФАМЕНСКИХ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПЕЧОРО- КОЛВИНСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ

На основе аналитики результатов фильтрационно-емкостных свойств, петрографического изучения пород в шлифах в комплексе с сканирующими электронно-микроскопическими исследованиями и рентгенодифрактометрическим методом изучены вторичные изменения карбонатных отложений и степень их влияния на коллекторские свойства нижнефаменных рифогенных отложений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. В изученных породах определена значительная неоднородность пустотного пространства. Выявлено, что существенная вариативность коллекторских свойств и сложная конфигурация пустотного пространства обусловлена процессами перекристаллизации, доломитизации, выщелачивания, кальцитизации, сульфатизации и трещинообразования.

Ключевые слова: известняк, доломит, перекристаллизация, выщелачивание, доломитизация, пористость, проницаемость.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2024.98

Карбонатные породы широко распространены в осадочной оболочке и имеют важное экономическое значение как вместилища ценных полезных ископаемых. В комплексе исследований карбонатных отложений – их состава, структурных и текстурных особенностей, условий образования и т.д. – изучение их постседиментационных изменений представляет собой большое практическое значение.

Образовавшиеся в результате диагенетических процессов карбонатные породы, достигают физико-химического равновесия, но не представляют собой устойчивую систему. Под действием термобарических и геохимических факторов они преобразуются, приобретая новые признаки и свойства [8]. Эти изменения, включающие растворение карбоната кальция, перекристаллизацию, доломитизацию, выщелачивание оказывают существенное, а часто и определяющее, влияние на формирование и сохранение коллекторских свойств пород.

Одним из основных объектов добычи углеводородов Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (НГП) является

доманиково-турнейский преимущественно карбонатный нефтегазоносный комплекс (НГК), сложенный известняками, глинистыми известняками с подчиненным количеством мергелей и доломитами. Нефтеносность комплекса часто определяется зонами распространения верхнефранских рифовых барьеров и карбонатных банок, а также выявлена, в нижнефаменских мелководно-шельфовых пластах облекания рифов [3, 7].

Объектом исследования являлись рифогенные отложения задонского и елецкого горизонтов нижнего отдела фаменского яруса доманиково-турнейского НГК. В тектоническом отношении район исследований охватывает Лайский вал и примыкающую к нему Лодминскую перемышку в южной части Денисовского прогиба. Согласно нефтегазогеологическому районированию, территория относится к Лайско-Лодминскому нефтегазоносному району (НГР) Печоро-Колвинской нефтегазоносной области (НГО).

Отложения задонского и елецкого горизонтов Печоро-Колвинской НГО характеризуются значительной неоднородностью литологического состава и пустотного пространства как по разрезу, так и площади. Детальное исследование данных отложений представляет особую важность для установления условий формирования рифогенных толщ, являющихся перспективными для поиска углеводородов. Таким образом, цель данной работы изучить постседиментационные изменения нижнефаменских рифогенных отложений и определить характер их влияния на коллекторские свойства.

Рифогенные нижнефаменские отложения Печоро-Колвинской НГО изучены по керну и представлены преимущественно известняками микробийными, биокластово-пелоидными, в разной степени доломитизированными, участками практически полностью замещенными вторичными доломитами.

Согласно литолого-петрографических исследованиям все изученные породы были разделены на 4 литологические группы:

ЛТ-1. Известняки пелоидные, биокластово-пелоидные (грейнстоуны, рудстоуны) [10]. Породы сложены преимущественно пелоидами, интракластами. Генезис пелоидов преимущественно микробийный (водорослевый), порода образована в результате взламывания и перетложения микробийных матов [1, 9]. Доломит замещает кальцит в фенестральных полостях, в центральных частях полостей инкрустации, залечивает трещины, рассеян отдельными идиоморфными кристаллами по породе, запечатывает поры и каверны. Кальцитизация заключается в образовании полостей инкрустации, параллельных напластованию.

ЛТ-2. Известняки микробийные (байндстоуны). Основная масса породы представлена сгустками и комочками с четкими и расплывчатыми очертаниями, удлинённой и изометричной формы, сложенными

пелитоморфным кальцитом. Сгустки и комочки являются продуктами жизнедеятельности цианобионтов (синезеленых водорослей), первичная структура которых не сохранилась [1, 9]. В постседиментационный период известняки подвергались значительным вторичным изменениям: перекристаллизации/кальцитизации, доломитизации (участками до прослоев вторичных доломитов), сульфатизации, стилолитизации, трещиноватости и выщелачиванию. Микробиальные известняки формируют основную часть разреза изученных отложений.

ЛТ-3. Известняки микрозернистые (вакстоуны, мадстоуны). Порода сложена микрозернистым, участками тонко-микрозернистым кальцитом, в котором неравномерно распределены органические остатки. Глинистый материал (в единичных случаях до 20 %), заполняет стилолитоподобные трещинки и концентрируется в многочисленные микрослойки. На участках породы, обогащенных глинистым материалом, встречаются терригенные, полуокатанные зерна кварца и полевых шпатов алевритовой размерности (до 10 %).

ЛТ-4. Вторичные доломиты, развивающиеся по породам различных литотипов. Структуры доломитов кристаллические разнозернистые, средне- и крупно-среднезернистые, редко – мелко-среднезернистые. Породы пористо-кавернозные, часто трещиноватые.

В образцах, отнесенных к ЛТ-1 (79 образцов) (рис. 1), по данным рентгенодифрактометрического метода, преобладает кальцит (54,3-99,6 %, среднее – 89,5 %), в меньшем количестве определен доломит (0,4-45,7 %, среднее – 9,8 %), содержание глинистых минералов в ряде образцов достигает 14,5 %, содержание терригенной примеси до 7,0 %.

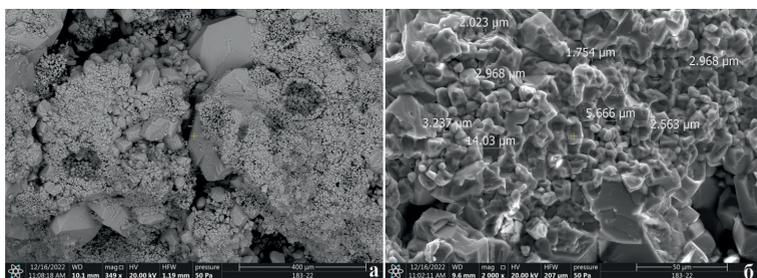


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки поверхности образца, глубина 3880,24 м, ЛТ-1. Известняк микробиальный доломитистый тонко-микрозернистый кавернозный: а – тонко-микрозернистый кальцитовый матрикс с многочисленными кристаллами доломита, с развитой системой сообщающихся микрокаверн, выполненных кристаллами кальцита и доломита; б – порово-пустотное пространство породы

Породы группы ЛТ-2 (280 образцов) (рис. 2) сложены преимущественно кальцитом (46,0-100 %, среднее – 88,4 %), содержание доломита имеет подчиненное значение (0,0-54,0 %, среднее – 11,4 %).

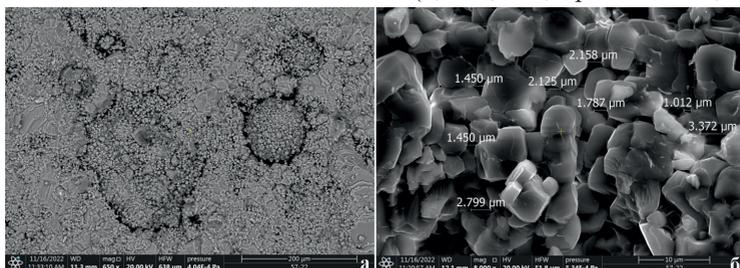


Рис. 2. Электронно-микроскопические снимки поверхности образца, глубина 4594,13 м, ЛТ-2. Известняк доломитистый микробактериальный тонко-микрозернистый: а – микрозернистый кальцитовый матрикс с многочисленными кальцисферами; б – порово-пустотное пространство породы в виде мелких межзерновых изометричных и анизометричных микропор

Глинистые минералы по данным анализа отсутствуют, что указывает на биогенную природу кварца, который в единичных образцах достигает 9,5 %.

В породах ЛТ-3 (рис. 3) (5 образцов) преобладает кальцит (59,8- 98,5 %). Содержание доломита значительно меньше, чем в породах ЛТ-1 и ЛТ-2 (1,5-11,3 %). Глинистые минералы, обнаруженные в ходе анализа, составляют 3,0-17,7 %. Содержание терригенной компоненты, представленной кварцевыми зёрнами, достигает 9,2 %.

Породы ЛТ-4 (96 образцов) (рис. 4) сложены преимущественно доломитом (51,3-100 %, среднее – 90,7 %), со значительным содержанием кальцита в ряде образцов (0,0-48,3 %, среднее – 8,8 %). Глинистые минералы по данным анализа не превышают 0,1 %, содержание кварца достигает 5 %.

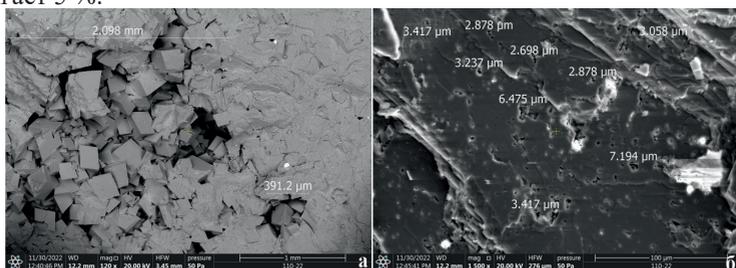


Рис. 4. Электронно-микроскопические снимки поверхности образца, глубина 3686,91 м, ЛТ-4. Доломит вторичный разномзернистый кавернозный: а – кристаллический доломит с развитой системой сообщающихся изометричных и вытянутых микрокаверн, выполненных кристаллами доломита; б – порово-пустотное пространство породы в виде микропор растворения на гранях кристаллов

Изученные нижефаменские отложения характеризуются значительной неоднородностью пустотного пространства, в связи с чем их фильтрационно-емкостные свойства существенно варьируют. Открытая пористость изменяется от 0,3 до 19,7 % при среднем значении 3,3 %. Порядка 80 % изученных образцов относятся согласно классификации коллекторов В.Н. Кобрановой [6] к категории низкопористых (рис. 5). Микробиальные известняки (ЛТ-2), преобладающие в изученных разрезах скважин, также характеризуются невысокими емкостными характеристиками и, в целом, по значениям коэффициента пористости немного уступают доломитам (ЛТ-4), пустотное пространство которых представлено вторичной пористостью – кавернами, трещинами, порами растворения. Проницаемость изученных отложений варьирует от 0,01 до $4000 \cdot 10^{-3}$ мкм² при среднегеометрическом значении равном $0,5 \cdot 10^{-3}$ мкм². Породы в большинстве своем практически не проницаемые и полупроницаемые (рис. 5). Порядка 15 % изученных отложений относятся к категории проницаемых коллекторов: в основном данным образцам соответствует повышенная пористость, представленная порами и кавернами. В ряде случаев отложениям с низкими емкостными параметрами соответствуют высокие значения проницаемости, что связано с развитием трещиноватости в данной группе пород.

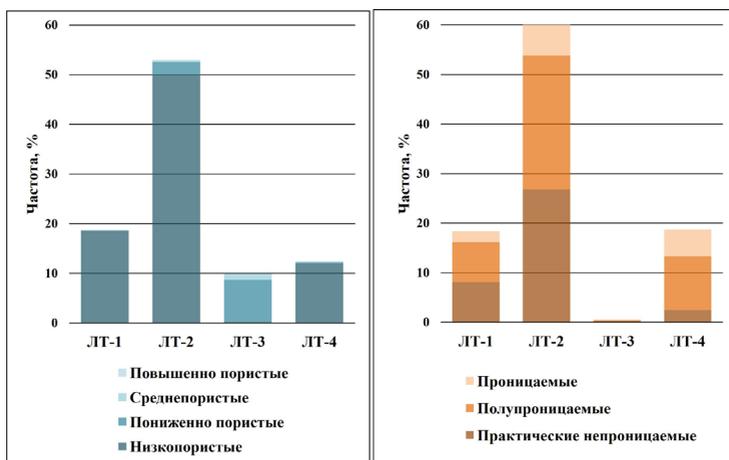


Рис. 5. Распределение пород на группы по данным открытой пористости и проницаемости в соответствии с литотипами (по классификации В.Н. Кобрановой)

Зависимость газопроницаемости от открытой пористости (рис. 6) определяет сложную связь между параметрами, что объясняется

многообразием типов пустотного пространства изученных коллекторов. Коэффициент корреляции не высокий, но явно выражена тенденция: увеличение проницаемости коллекторов с ростом емкостной составляющей.



Рис. 6. Зависимость газопроницаемости от открытой пористости в соответствии с литотипами

Таким образом, в карбонатных породах задонского и елецкого горизонтов наблюдаются следующие постседиментационные изменения: перекристаллизация, доломитизация, выщелачивание, кальцитизация, сульфатизация и трещинообразование, оказавшие влияние на фильтрационно-емкостные характеристики нижнедевонских отложений и определившие сложную конфигурацию пустотного пространства. Процессы, приведшие к данным изменениям пород, происходили взаимосвязано.

Перекристаллизация широко распространена в изученных карбонатных породах. Этот процесс может происходить при сохранении минерального состава пород, а также при их доломитизации или кальцитизации. Перекристаллизация, не связанная с изменением химического состава породы, весьма часто наблюдается во всех выделенных литотипах (рис. 1-3, а). Степень перекристаллизации материала при этом неоднородна. Перекристаллизация, не являясь самостоятельным процессом, всегда сопровождает выщелачивание и приурочена к местам реализации последнего (рис. 1-3, а) [8]. Сама по себе перекристаллизация оказывает неоднозначное влияние на коллекторские свойства пород, в одно время она закупоривает первичную пористость, но при этом может увеличивать ёмкостную составляющую, действуя совместно с выщелачиванием, что приводит к увеличению коллекторских свойств.

Процесс *выщелачивания* известняков, заключающийся в формировании в них кавернзности, обусловлен выносом части

цементирующего органические остатки зернистого кальцита и одновременно его перекристаллизацией с укрупнением зерен (рис. 3 а) [5]. Как уже отмечалось ранее, выщелачивание приводит к увеличению емкостной составляющей и, как итог, – к росту фильтрационных характеристик.

Вторичная доломитизация известняков осуществляется в результате воздействия на них магнийсодержащих вод и замещения ионов кальция ионами магния. В результате кальций либо выносится из системы, либо соединяется с сульфат-ионом и образует парагенетический с доломитом гипс или ангидрит [4].

Анализ зависимостей значений коэффициента открытой пористости и газопроницаемости от содержания доломита в изученных карбонатных породах показал, что связь отсутствует. Однако отмечается небольшая тенденция: с возрастанием количества доломита пористость породы увеличивается (рис. 7). Анализ распределения пористости и проницаемости в соответствии с содержанием доломита (рис. 8) для всех литологических образований позволяет отметить, что наиболее высокими коллекторскими свойствами обладают доломиты (содержание $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ – более 90 %) и слабо доломитизированные микробийные известняки (содержание доломита не превышает 10 %). Степень доломитизации оказывает влияние на пористость, но оно не является определяющим [5].

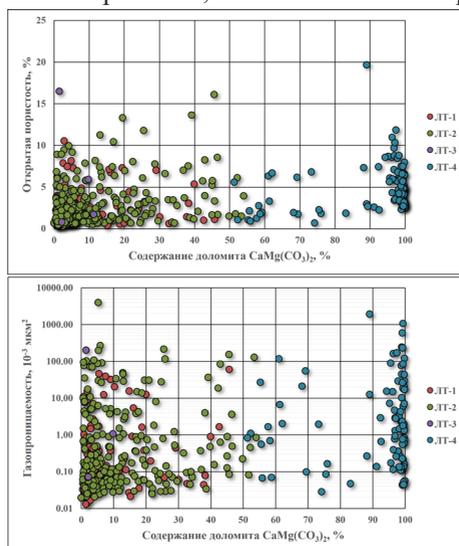


Рис. 7. Сопоставление открытой пористости и газопроницаемости с доломитовой составляющей

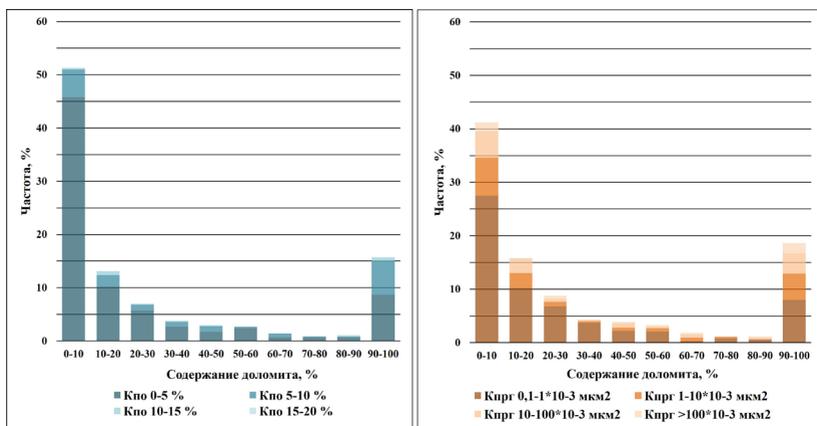


Рис. 8. Распределение пород по пористости и проницаемости в соответствии с содержанием доломита

Как и любой другой постседиментационный процесс, *образование макро- и микротрещин* проявляется избирательно, что детерминировано различными прочностными свойствами карбонатных пород. Наиболее подвержены трещиноватости «карбонатные породы нацело перекристаллизованные» [2]. В меньшей степени трещиноватость проявляется в органогенных известняках, сохранивших свои первоначальные структурные особенности. Трещиноватость сама по себе вносит незначительный вклад в общую ёмкость коллектора, но она оказывает существенное влияние на фильтрационные характеристики и даёт «почву» для развития других вторичных процессов, в итоге приводящих к увеличению ёмкости.

Таким образом, проведенные исследования показали, что фильтрационно-ёмкостные характеристики изученных верхнедевонских отложений обусловлены такими вторичными процессами, как перекристаллизация, доломитизация, выщелачивание и трещинообразование, определившими сложную конфигурацию пустотного пространства и оказавшими весомый, но часто разнонаправленный вклад в формирование коллекторского потенциала продуктивных отложений.

Библиографический список

1. Атлас текстур и структур осадочных горных пород. Ч.2. Карбонатные породы. Под ред. А. В. Хабакова. М.: Недра, 1968. 700 с.
2. Багринцева К.И. Трещиноватость осадочных пород. М.: Недра, 1982. 256 с.

3. Белонин М.Д. и др. Тимано-Печорская провинция: геологическое строение, нефтегазоносность и перспективы освоения. СПб.: Недра, 2004. 396 с.
4. Беляева Н.В. и др. Модель седиментации франско-турнейских отложений на северо-востоке Европейской платформы (в связи с формированием рифовых резервуаров. СПб.: Наука, 1998. 54 с.
5. Жемчугова В.А. Резервуарная седиментология карбонатных отложений. М.: ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2014. 232 с.
6. Кобранова В.Н. Петрофизика. М.: Недра, 1986. 392 с.
7. Кушнарёва Т.И. Фаменский ярус Тимано-Печорской провинции. М.: Недра, 1977. 135 с.
8. Постседиментационные изменения карбонатных пород и их значение для историко-геологических реконструкций. Под ред. О.М. Петрова. М.: Наука, 1980. 102 с.
9. Хворова И.В. Атлас карбонатных пород среднего и верхнего карбона Русской платформы. М.: Изд-во АН СССР. 1958. 170 с.
10. Dunham R.J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture // Classification of carbonate rocks: Simp. Amer. Assoc. Petrol.
11. Geol. Mem. / Ed. W.E.Ham, 1962.V.1. P. 108-121.

STUDY OF THE INFLUENCE POST-DEPOSITION CHANGES
ON THE RESERVOIR PROPERTIES LOWER FAMENIAN
CARBONATE SEDIMENTS THE PECHORO-KOLVA OIL-AND-
GAS BEARING REGION

T.V. Pavlenko, K.V. Dementieva, E.E. Lebedintseva

tatyana.pavlenko@pnn.lukoil.com

Based on the analysis of the results of permeability and porosity, petrographic study of rocks in sections in combination with scanning electron microscopic studies and X-ray diffractometry, post-deposition changes in carbonate deposits and the degree of their influence on the reservoir properties of the Lower Famnian reefs deposits of the Timan-Pechora oil and gas province were studied. A significant heterogeneity of the void was determined in the studied rocks. It was revealed that the significant variability of reservoir properties and the complex configuration of the void is due to the processes of recrystallization, dolomitization, leaching, calcitization, sulfatization and fissuring.

Key words: limestone, dolomite, recrystallization, leaching, dolomitization, porosity, permeability.