

Связь фильтрационно-емкостных свойств и структуры пустотного пространства коллекторов турнейского яруса

К.Д. Шуматбаев^{1,2}, А.Н. Кольчугин³, Б.Г. Ганиев¹, А.А. Лутфуллин^{1,2}

¹СП «Татнефть-Добыча» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина

²Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти»

³Казанский (Приволжский) федеральный университет

В работе рассмотрена связь фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) карбонатных коллекторов турнейского яруса с особенностями строения их пустотного пространства. Цель исследования – установление факторов, определяющих различия в проницаемости пород при близких значениях пористости, на основе комплексного анализа керна. Объектом изучения послужили карбонатные отложения турнейского яруса Волго-Уральского региона, представленные преимущественно вакстоунами и пакстоунами. Использован комплекс методов, включавший стандартные лабораторные определения пористости, проницаемости и связанной водонасыщенности, исследование анизотропии проницаемости на кубических образцах, петрографическое изучение шлифов и анализ структуры пустотного пространства по данным ЯМР. Установлено, что наиболее высокими ФЕС характеризуются пакстоуны, для которых типично сочетание межзерновых и внутризерновых пор, связанных каналами капиллярной размерности. Вакстоуны отличаются преобладанием микро- и мелкопорового пространства, слабой сообщаемостью пор и, как следствие, пониженными значениями проницаемости даже при сопоставимой пористости. Показано, что основную роль в формировании коллекторских свойств изученных пород играют вторичные поры выщелачивания, тогда как трещины имеют подчиненное значение. Выраженной анизотропии проницаемости в исследованной выборке не выявлено. При типизации турнейских карбонатных коллекторов и интерпретации ГИС необходимо учитывать не только количественные параметры пористости, но и морфологию, размерность и гидродинамическую связанность элементов пустотного пространства.

Ключевые слова: турнейские отложения, карбонатные породы-коллекторы, фильтрационно-емкостные свойства, структура пустотного пространства, литолого-петрографические исследования, ядерно-магнитный резонанс, пористость, проницаемость.

Для цитирования: Шуматбаев К.Д., Кольчугин А.Н., Ганиев Б.Г., Лутфуллин А.А. (2026). Связь фильтрационно-емкостных свойств и структуры пустотного пространства коллекторов турнейского яруса. Трудноизвлекаемые запасы, 1(1), с.35-41

Correlation of filtration and capacitance properties and structure of hollow space of tournaian reservoirs

K.D. Shumatbaev^{1,2}, A.N. Kolchugin³, B.G. Ganiev¹, A.A. Lutfullin^{1,2}

¹ SU of Tatneft-Dobycha PJSC Tatneft named after V.D. Shashin

² Almeteyevsk state technological university "Petroleum higher school"

³Kazan (Volga Region) Federal University

The paper discusses the relationship between the reservoir properties of the Tournaisian carbonate reservoirs and the structural features of their void space. The purpose of the study was to determine the factors that determine differences in rock permeability at similar porosity values based on a comprehensive core analysis. The object of study was the carbonate deposits of the Tournaisian stage of the Volga-Ural region, represented mainly by wackestones and packstones. A set of methods was used, including standard laboratory determinations of porosity, permeability and associated water saturation, a study of anisotropy of permeability on cubic samples, petrographic study of thin sections and analysis of the structure of the void space according to NMR data. It has been established that the highest filtration and capacitance properties are characterized by packstones, for which a combination of intergranular and intragranular pores connected by capillary channels is typical. Wackestones are characterized by a predominance of micro- and small-pore space, weak connectivity of pores and, as a result, reduced permeability values, even with comparable porosity. It has been shown that secondary leaching pores play the main role in the formation of reservoir properties of the studied rocks, while cracks have a subordinate value. No pronounced permeability anisotropy was detected in the studied sample. When typing Tournaisian carbonate reservoirs and interpreting well logs, it is necessary to take into account not only the quantitative parameters of porosity, but also the morphology, dimension and hydrodynamic connectivity of the elements of the void space

Keywords: Tournaisian deposits, carbonate reservoir rocks, reservoir properties, structure of the void space, lithological and petrographic studies, nuclear magnetic resonance, porosity, permeability.

Recommended citation: Shumatbaev K.D., Kolchugin A.N., Ganiev B.G., Lutfullin A.A. (2026). Correlation of filtration and capacitance properties and structure of hollow space of tournaian reservoirs. Hard-to-Recover Reserves, 1(1), pp. 35-41

Введение

Фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) карбонатных пород-коллекторов определяются не только величиной открытой пористости и проницаемости, но и особенностями строения пустотного пространства, включая тип пор, размеры поровых каналов, степень их сообщаемости и распределение

пустот различного генезиса в породе (Lucia, 2005; Weger et al., 2009). В отличие от терригенных пород, для карбонатных коллекторов принципиально важно, что их коллекторский потенциал контролируется не только первичным литолого-фациальным строением, но и постседиментационными преобра-

зованиями: цементацией, растворением, перекристаллизацией, стилолитизацией, трещинообразованием и др. (Гмид, 2006; Morad et al., 2012; Lønøy, 2006; Ehrenberg, 2006). Именно эти процессы нередко определяют формирование вторичной пористости, перераспределение порового объема и изменение связности порового пространства, что может как улучшать, так и ухудшать фильтрационные свойства пород. Поэтому одинаковые значения пористости в карбонатных породах далеко не всегда соответствуют сопоставимым значениям проницаемости, поскольку последняя в значительной степени зависит от геометрии и гидродинамической связанности поровой сети (Даньщикова и др., 2017; Lucia, 1995).

Поровое пространство карбонатных коллекторов отличается сложным строением и многообразием морфогенетических типов пустотности (Lucia, 2005; Choquette and Pray, 1970). Наряду с межзерновыми и межкристаллическими порами в них могут быть развиты внутризерновые пустоты, поры выщелачивания, каверны, трещины растворения и тектонические трещины, причем вклад каждого из этих элементов в фильтрационные свойства пород может заметно различаться. По данным ранее выполненных исследований турнейских карбонатных отложений, главную роль в обеспечении коллекторских свойств часто играют вторичные поры выщелачивания и степень связанности таких пор (Морозов, Козина, 2008; Морозов и др., 2012; Королев и др. 2012). В связи с этим использование обобщенных петрофизических зависимостей и выделение коллекторов только по граничным значениям коэффициента пористости не всегда обеспечивает достоверное разделение продуктивных и малопродуктивных интервалов разрезов. Для более надежной типизации карбонатных коллекторов необходимо учитывать не только количественные параметры ФЕС, но и качественные особенности пустотного пространства, устанавливаемые по данным петрографического анализа, специальных исследований зерна и методов ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) (Пономарева И.Н. и др., 2025; 2015; Шуматбаев К.Д.; 2017, Шуматбаев К.Д., 2025).

Турнейские карбонатные отложения Южно-Татарского свода представляют собой удобный и практически значимый объект для решения этой задачи. Они достаточно хорошо изучены, сравнительно выдержаны по литологическому составу, по ним накоплен представительный материал прямых определений пористости и проницаемости, данных микроописания и геофизических исследований (Муслимов и др., 1999; Козина и др., 2005; Королев и др., 2012). По материалам литолого-петрографических работ среди наиболее распространенных типов пород в составе турнейских карбонатных кол-

лекторов выделяются вакстоуны и пакстоуны, существенно различающиеся по характеру распределения пустотного пространства и уровню фильтрационно-емкостных свойств (Kolchugin et al., 2024). При этом для практики интерпретации ГИС и типизации коллекторов особенно важно установить, какие элементы пустотного пространства определяют рост или снижение проницаемости при сходных значениях пористости, а также насколько надежно такие различия могут быть диагностированы по данным ЯМР и керновых исследований.

В связи с этим, целью настоящего исследования является установление связи между фильтрационно-емкостными свойствами карбонатных коллекторов турнейского яруса и особенностями строения их пустотного пространства на основе комплексного анализа стандартных и кубических образцов зерна, данных микроописания пород и результатов ЯМР.

Материалы и методы

Объектом исследования послужил керновый материал карбонатных отложений турнейского яруса Волго-Уральского региона. В качестве основных литологических разностей отложений рассматривались вакстоуны и пакстоуны, как наиболее характерные типы турнейских пород-коллекторов. Помимо макроописания зерна и оптико-микроскопического изучения структуры пустотного пространства, использовались данные комплексного изучения зерна, включавшие стандартные лабораторные определения коэффициентов пористости, проницаемости и связанной водонасыщенности, данные исследований абсолютной проницаемости на кубических образцах, структуры пустотного пространства по данным ЯМР. Такое сочетание методов позволило сопоставить интегральные петрофизические параметры с морфологией и связностью пустотного пространства.

Петрофизическая часть работы базировалась на анализе результатов стандартных лабораторных исследований зерна. Для образцов определялись коэффициенты пористости, проницаемости и связанной водонасыщенности, после чего полученные значения сопоставлялись с литологическим типом породы и особенностями ее пустотного пространства. Такой подход использован для выявления различий между основными литотипами и установления связи между фильтрационно-емкостными свойствами и организацией поровой среды. Для оценки возможной направленной неоднородности фильтрационных свойств выполнено исследование анизотропии проницаемости на кубических образцах по методике К.И. Багринцевой (Багринцева, 1999). Методика заключалась в измерении абсолютной проницаемости в трех взаимно перпендикулярных направлениях, что позволяло оценить степень ориентированности проводящих элементов пустотного

пространства и возможное влияние трещиноватости либо текстурной упорядоченности породы на фильтрацию.

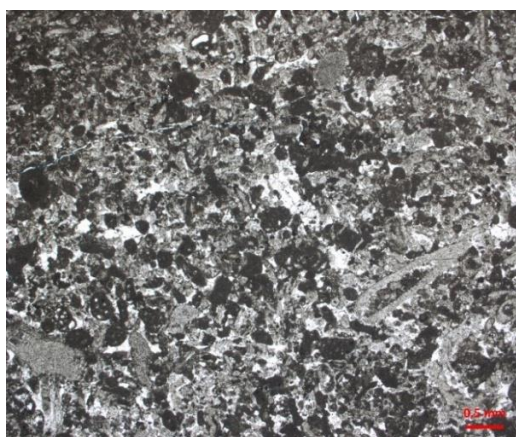
Петрографическое изучение пород, помимо подробного послойного макроописания керна, включало изучение петрографических шлифов при помощи исследовательского поляризационного микроскопа Zeiss Axio Imager A2. Шлифы изучались для уточнения литологического типа пород, особенностей вторичных преобразований, выявления типа и морфологии порового пространства пород, степени сообщаемости пор и др.

Для более детальной характеристики структуры пустотного пространства применялся метод ЯМР. Интерпретация строилась на сопоставлении распределений времени поперечной релаксации T_2 , полученных в четырех состояниях образца: после высушивания при 105°C , в полностью водонасыщенном состоянии, после удаления воды из крупных пустот методом постукивания и после центрифугирования, когда в образце сохранялась преимущественно капиллярно удерживаемая вода. Такое поэтапное сравнение позволило различать микропоры, капиллярные поры и более крупные пустоты, а также судить о степени их гидродинамической сообщаемости.

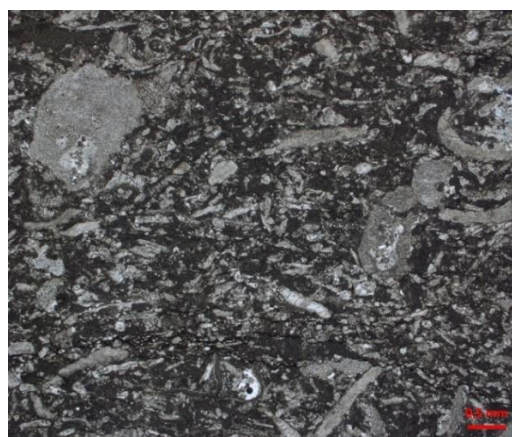
Комплексная интерпретация результатов строилась на сопоставлении трех групп данных: стандартных петрофизических определений, петрографических наблюдений и ЯМР-характеристик. Это позволило оценить, какие элементы пустотного пространства вносят основной вклад в формирование коллекторских свойств, а также проследить, как различия в структуре поровой сети отражаются на величинах пористости и проницаемости.

Результаты

Анализ результатов лабораторных исследований показал, что наиболее высокими фильтрационно-емкостными свойствами характеризуются пакстоуны, тогда как наиболее низкие значения свойственны вакстоунам. Такая дифференциация согласуется с данными макро- и микроописания керна и отражает различия в строении пустотного пространства. Для пакстоунов характерно развитие вторичных пор выщелачивания, межкристаллических пустот и локально более крупных поровых каналов, обеспечивающих лучшую фильтрационную связанность (рис. 1а). Вакстоуны, напротив, чаще содержат преимущественно микропоры и изолированные либо слабо сообщающиеся вторичные поры, что ограничивает их проницаемость даже при наличии определенного объема порового пространства (рис. 1б).



а



б

Рис. 1. Фотографии шлифов в проходящем свете наиболее типичных литотипов турнейского яруса:
а) пакстоуна, б) вакстоуна.

Сопоставление результатов измерений проницаемости в трех взаимно перпендикулярных направлениях на кубических образцах не выявило выраженной анизотропии (рис. 2). Это позволяет считать, что для изученных пород определяющее влияние на фильтрационные свойства оказывает не столько направленная трещиноватость или текстур-

ная ориентированность, сколько общий тип и связанность пустотного пространства. Полученный результат важен с практической точки зрения, поскольку указывает на ограниченную роль анизотропии проницаемости в исследованной выборке и подчеркивает необходимость акцента на морфологии пор и степени их сообщаемости.

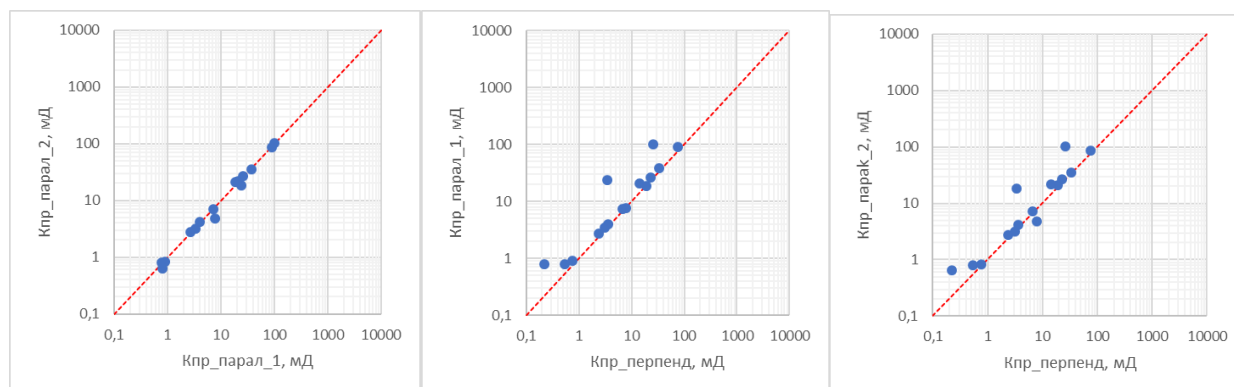
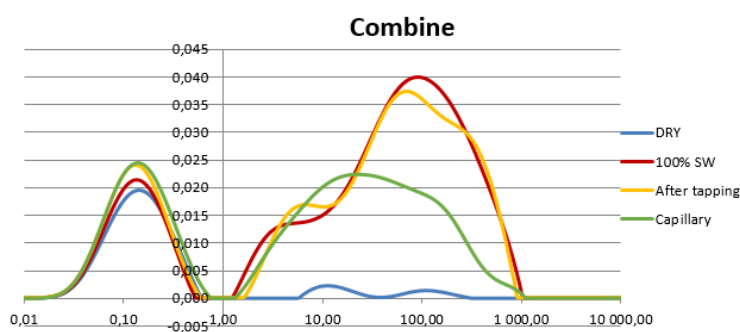
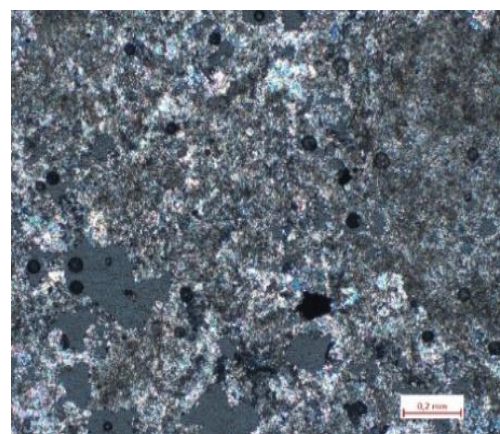
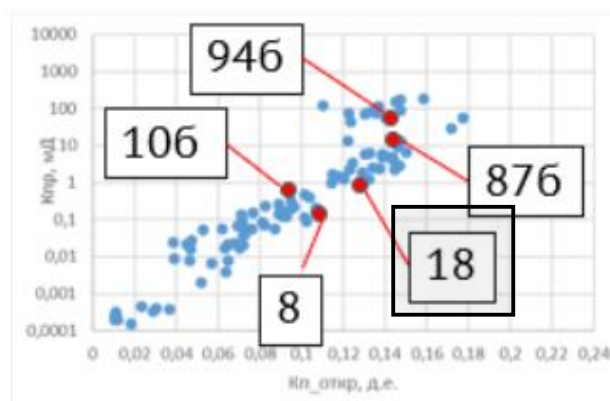
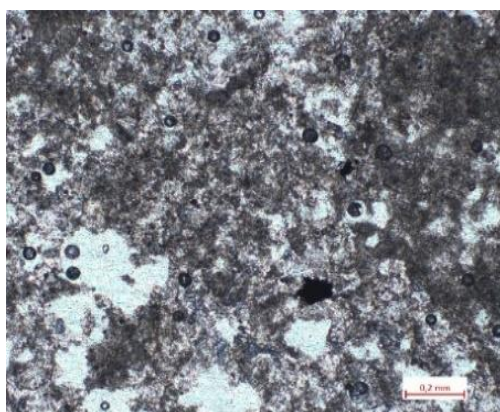


Рис. 2. Результаты исследования анизотропии проницаемости по методике К.И. Багринцевой (Багринцева, 1999).

По данным изучения петрографических шлифов, а также данным ЯМР- исследований установлено, что главным компонентом пустотного пространства исследованных карбонатных пород являются поры вторичного выщелачивания. Тектонические трещины и редкие трещины растворения имеют скорее подчиненное значение в формировании ФЕС. Показательным является образец 18, отобранный из кизеловского горизонта, относимый к

вакстоуну (рис. 3). Пустотное пространство представлено субкапиллярными и капиллярными порами, а также вторичными порами капиллярной размерности, преимущественно изолированными и слабо сообщающимися. По сопоставлению ЯМР-распределений установлено отсутствие выраженной каверновой пористости, сообщающейся с поверхностью образца, при наличии отдельных сравнительно крупных, но плохо связанных пустот.

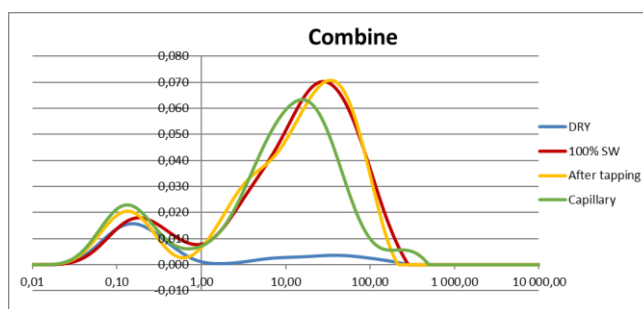
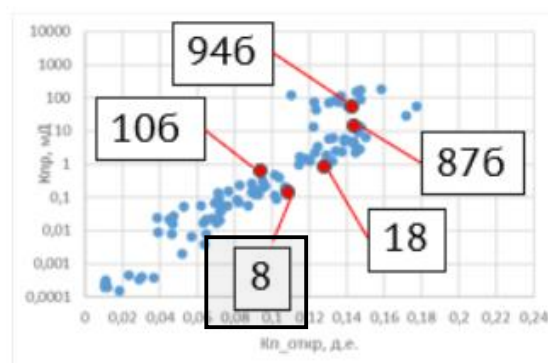
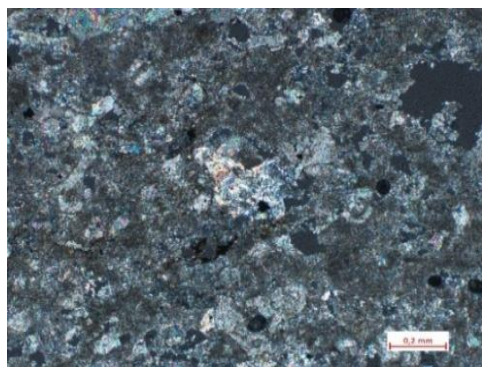


Кп – 13 %, Кпр – 0,93, Квс. – 31,8

Рис. 3. Пример изучения пустотного пространства известняка вакстоуна кизеловского горизонта (обр. 18).

Другой образец (образец 8), также относимый к вакстоуну, характеризуется преобладанием капиллярных пор и слабо сообщающихся пор выщелачивания (рис. 4). Это дополнительно подтверждает

низкий уровень гидродинамической связанности пустотного пространства для данной группы пород.

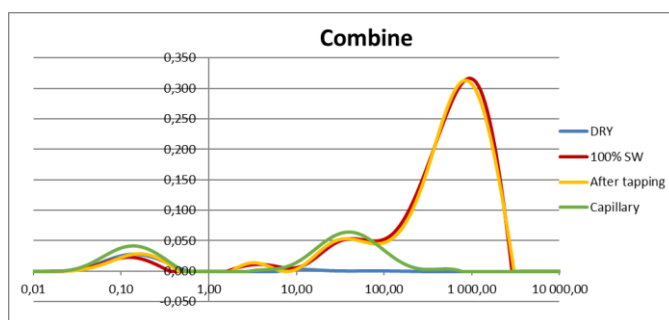
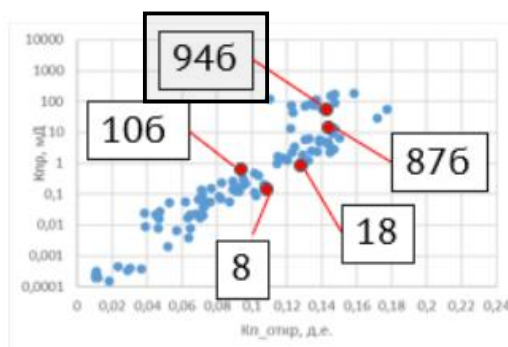
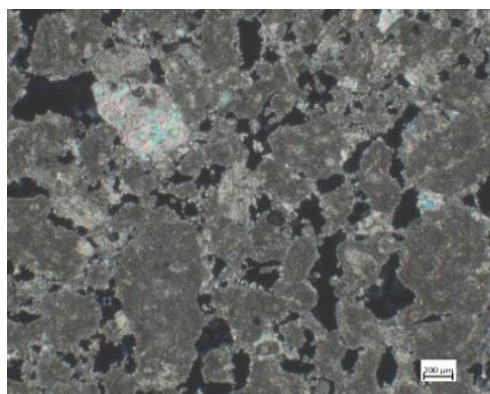


Кп – 10,8 %, Кпр – 0,173, Квс. – 43,6

Рис. 4. Пример изучения пустотного пространства известняка вакстоуна кизеловского горизонта (обр. 8).

Иной тип строения пустотно-порового пространства наблюдается в пакстоунах, что хорошо видно на примере образца 946, отобранного из кизеловского горизонта. Для него характерно наличие межзерновых пор, внутризерновых пор (биопустоты) и межкристаллических пор, развитых в цементирующем материале (рис. 5). По данным распределений T2 фиксируется наличие достаточно

крупных пустот, при этом их гидродинамическая связь осуществляется через каналы капиллярной размерности. Именно такая организация пустотного пространства обеспечивает более высокие фильтрационно-емкостные свойства пакстоунов по сравнению с вакстоунами.



Кп – 14 %, Кпр – 59,6, Квс. – 13,8

Рис. 5. Пример изучения пустотного пространства известняка пакстоуна кизеловского горизонта (обр. 946).

Полученные результаты показывают, что различия в ФЕС карбонатных коллекторов турнейского яруса определяются сочетанием двух факторов: исходного литотипа и последующих вторичных преобразований. Сам по себе переход от вакстоуна к пакстоуну важен, однако решающим становится развитие вторичного пустотного пространства, прежде всего, пор выщелачивания различной размерности. Для вакстоунов характерно преобладание микропорового и мелкопорового пространства при слабой сообщаемости пор. В результате даже при наличии определенной пористости фильтрационные характеристики остаются низкими. Для пакстоунов, напротив, сочетание первичных и вторичных пустот, а также наличие более крупных поровых элементов и каналов связи создает условия для роста проницаемости. Отсутствие выраженной анизотропии проницаемости в исследованных образцах не противоречит высокой неоднородности коллекторов. Напротив, это указывает на то, что неоднородность определяется преимущественно не ориентированными фильтрационными элементами, а пространственным распределением и связностью пор разного генезиса. Практическое значение результатов заключается в том, что стандартный подход к выделению коллекторов только по пористости может приводить к ошибкам. При близких значениях K_p породы могут существенно различаться по проницаемости и продуктивности вследствие различной структуры пустотного пространства. Поэтому для повышения достоверности интерпретации ГИС целесообразно использовать ЯМР-данные с обязательной настройкой на керновый материал.

Выводы

1. Установлено, что ключевым фактором, контролирующим фильтрационно-емкостные свойства карбонатных коллекторов турнейского яруса, является не столько величина пористости, сколько структура пустотного пространства и степень гидродинамической связанности пор.

2. Наиболее высокими значениями проницаемости характеризуются пакстоуны, для которых типично сочетание внутризерновых (биопустот) и межзерновых пор выщелачивания, объединенных каналами капиллярной размерности. Вакстоуны отличаются преобладанием микро- и мелкопорового пространства, редким присутствием пор выщелачивания, а также слабой сообщаемостью пор, что обуславливает низкие значения проницаемости даже при близких к пакстоунам значениях коэффициента пористости.

3. По данным петрографических и ЯМР-исследований показано, что основную роль в формировании коллекторских свойств изученных пород играют вторичные поры выщелачивания, тогда как другие типы пустотности в исследованной выборке имеют подчиненное значение.

4. Исследование кубических образцов не выявило выраженной анизотропии проницаемости, что позволяет связывать неоднородность коллекторов прежде всего с неориентированным распределением пустот разного генезиса, а не с направленной трещиноватостью.

5. Для практики изучения трудноизвлекаемых запасов турнейских карбонатных отложений рекомендуется детальнее подходить к выделению литотипов коллекторов, прогнозировать их проницаемость на основе комплексной интерпретации керновых данных, петрографии и ЯМР, а не только по граничным значениям коэффициента пористости. Полученные результаты могут быть использованы при настройке петрофизических зависимостей, интерпретации ГИС и построении геолого-технологических моделей залежей, приуроченных к сложно построенным карбонатным коллекторам.

Литература

1. Choquette P.W., Pray L.C. *Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates*. AAPG Bulletin. 1970. Vol. 54. P. 207-250. DOI: 10.1306/5D25C98B-16C1-11D7-8645000102C1865D.
2. Ehrenberg S.N. *Porosity Destruction in Carbonate Platforms* // *Journal of Petroleum Geology*. 2006. Vol. 29. P. 41-52. DOI: 10.1111/j.1747-5457.2006.00041.x.
3. Kolchugin A., Morozov V., Korolev E., Khauzkin A., Eskin A. *The structure of the pore space of Tournaisian reservoir rocks in the southeast of Tatarstan Republic* // *E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 524. 03002. DOI: 10.1051/e3sconf/202452403002.
4. Lønøy A. *Making Sense of Carbonate Pore Systems* // *AAPG Bulletin*. 2006. Vol. 90, No. 9. P. 1381-1405. DOI: 10.1306/04060605112.
5. Lucia F.J. *Carbonate Reservoir Characterization: An Integrated Approach*. Springer, 2007. 336 p. DOI: 10.1007/978-3-540-72742-2.
6. Lucia F.J. *Rock-Fabric/Petrophysical Classification of Carbonate Pore Space for Reservoir Characterization* // *AAPG Bulletin*. – 1995. Vol. 79. No. 9. P. 1275-1300.
7. Morad S., Al-Ramadan K., Ketzer J.M., De Ros L.F. *Impact of diagenesis on the spatial and temporal distribution of reservoir quality in the Jurassic Arab D and C members, offshore Abu Dhabi oilfield, United Arab Emirates* // *GeoArabia*. 2012. Vol. 17, No. 3. P. 17-56.
8. Weger R.J., Eberli G.P., Baechle G.T., Mas-saferro J.L., Sun Y.-F. *Quantification of Pore Structure and Its Effect on Sonic Velocity and Permeability in Carbonates* // *AAPG Bulletin*. 2009. Vol. 93, No. 10. P. 1297-1317. DOI: 10.1306/05270909001.

9. Багринцева К.И. Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа. М.: РГГУ, 1999. 285 с. ISBN 5-7281-0263-8.

10. Гмид Л.П. Литологические аспекты изучения карбонатных пород-коллекторов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2006. – № 1. – С. 1-23.

11. Даньщикова И.И., Майдль Т.В., Журавлев А.В., Стаценко Е.О., Филиппов В.Н. Микроморфология пустотного пространства в карбонатных коллекторах на севере Тимано-Печорской провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2017. Т. 12. № 1. DOI: 10.17353/2070-5379/5_2017.

12. Козина Е.А., Морозов В.П., Королев Э.А., Пикалев С.Н. Основные типы карбонатных коллекторов турнейского яруса Республики Татарстан // Нефтегазовое дело. 2005. Т. 3. С. 9-16.

13. Королев Э.А., Морозов В.П., Кольчугин А.Н. Особенности строения и формирования карбонатных пород-коллекторов турнейского яруса Республики Татарстан // Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 3. – С. 42-45.

14. Морозов В.П., Козина Е.А. Карбонатные породы турнейского яруса нижнего карбона. Казань: ПФ «Гарт», 2007. 201 с.

15. Морозов В.П., Плотникова И.Н., Закиров Р.Х., Кольчугин А.Н., Кальчева А.В., Королев Э.А. Морфолого-генетическая классификация структур пустотного пространства карбонатных пород-коллекторов // Георесурсы. – 2012. – № 4(46). – С. 2-5.

16. Муслимов Р.Х., Васясин Г.И., Шакиров А.Н., Чендарев В.В. Геология турнейского яруса Татарстана. Казань: Мониторинг, 1999. 186 с.

17. Пономарева И.Н., Новиков В.А., Мартюшев Д.А., Разницын А.В. Исследование взаимосвязей между фильтрационными и емкостными характеристиками карбонатных коллекторов со сложным строением пустотного пространства. Георесурсы. 2025;27(3):221-232. <https://doi.org/10.18599/grs.2025.3.16>

18. Шуматбаев К.Д., Привалова О.Р., Ахметзянов Р.В., Гайнуллина Е.К., Кучурина О.Е., Шишлова Л.М. Проблемы и пути решения дифференциации карбонатных коллекторов по структуре пустотного пространства. // Сборник 19-й Научно-практической конференции по геологоразведке и разработке месторождений нефти и газа «Г"геомодель-2017», "Геленджик, 11-14 сентября 2017 года.

19. Шуматбаев К.Д. Связь фильтрационно-емкостных свойств и структуры пустотного пространства коллекторов турнейского яруса. // Сборник тезисов II Международной научно-практической конференции «Карбонатные отложения-2025». Издательство «"Знание-М"», Новокузнецк, 2025; стр. 87-90.

Сведения об авторах

Шуматбаев Кирилл Дмитриевич – кандидат геол.-минерал. наук, главный эксперт (по петрофизическим исследованиям), Департамент разработки месторождений, СП «Татнефть-Добыча», ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина

Россия, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, д. 75
e-mail: Shumatbaevkd@tatneft.ru

Кольчугин Антон Николаевич – кандидат геол.-минерал. наук, заведующий кафедрой минералогии и литологии Института геологии и нефтегазовых технологий, Казанский (Приволжский) федеральный университет

Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 4/5
e-mail: Anton.Kolchugin@gmail.com

Ганиев Булат Галиевич – кандидат тех. наук, начальник департамента, Департамент разработки месторождений, СП «Татнефть-Добыча», ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина

Россия, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, д. 75

Лутфуллин Азат Абузарович – кандидат тех. наук, заместитель начальника департамента, Департамент разработки месторождений, СП «Татнефть-Добыча», ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина

Россия, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, д. 75
e-mail: LutfullinAA@tatneft.ru

References

1. Choquette P.W., Pray L.C. Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. AAPG Bulletin. 1970. Vol. 54. P. 207-250. DOI: 10.1306/5D25C98B-16C1-11D7-8645000102C1865D.

2. Ehrenberg S.N. Porosity Destruction in Carbonate Platforms // Journal of Petroleum Geology. 2006. Vol. 29. P. 41-52. DOI: 10.1111/j.1747-5457.2006.00041.x.

3. Kolchugin A., Morozov V., Korolev E., Khaizkin A., Eskin A. The structure of the pore space of Tournaisian reservoir rocks in the southeast of Tatarstan Republic // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 524. 03002. DOI: 10.1051/e3sconf/202452403002.

4. Lønøy A. Making Sense of Carbonate Pore Systems // AAPG Bulletin. 2006. Vol. 90, No. 9. P. 1381-1405. DOI: 10.1306/04060605112.

5. Lucia F.J. Carbonate Reservoir Characterization: An Integrated Approach. Springer, 2007. 336 p. DOI: 10.1007/978-3-540-72742-2.

6. Lucia F.J. Rock-Fabric/Petrophysical Classification of Carbonate Pore Space for Reservoir Characterization // AAPG Bulletin. – 1995. Vol. 79. No. 9. P. 1275-1300.

7. Morad S., Al-Ramadan K., Ketzer J.M., De Ros L.F. Impact of diagenesis on the spatial and temporal distribution of reservoir quality in the Jurassic Arab D and C members, offshore Abu Dhabi oilfield, United Arab Emirates // *GeoArabia*. 2012. Vol. 17, No. 3. P. 17-56.

8. Weger R.J., Eberli G.P., Baechle G.T., Mas-saferro J.L., Sun Y.-F. Quantification of Pore Structure and Its Effect on Sonic Velocity and Permeability in Carbonates // *AAPG Bulletin*. 2009. Vol. 93, No. 10. P. 1297-1317. DOI: 10.1306/05270909001.

9. Bagrintseva K.I. Formation conditions and properties of carbonate oil and gas reservoirs. M.: RSUH, 1999. 285 p. ISBN 5-7281-0263-8.

10. Gmid L.P. Lithological aspects of the study of carbonate reservoir rocks//Oil and gas geology. Theory and practice. – 2006. – № 1. – P. 1-23.

11. Danshchikova I.I., Maidl T.V., Zhuravlev A.V., Statsenko E.O., Filippov V.N. Micromorphology of the void space in carbonate reservoirs in the north of the Timan-Pechora province//Oil and gas geology. Theory and practice. 2017. VOL. 12. № 1. DOI: 10.17353/2070-5379/5_2017.

12. Kozina E.A., Morozov V.P., Korolev E.A., Pikalev S.N. The main types of carbonate reservoirs of the Tournaisian stage of the Republic of Tatarstan//Oil and gas business. 2005. VOL. 3. P. 9-16.

13. Korolev E.A., Morozov V.P., Kolchugin A.N. Features of structure and formation of carbonate reservoir rocks of the Tournaisian stage of the Republic of Tatarstan//Oil industry. – 2012. – № 3. – P. 42-45.

14. V.P. Morozov, E.A. Kozina. Lower Carboniferous Tournaisian carbonate rocks. Kazan: PC "Garth," 2007. 201 p.

15. Morozov V.P., Plotnikova I.N., Zakirov R.Kh. Kolchugin A.N., Kalcheva A.V., Korolev E.A. Morphological and genetic classification of structures of the void space of carbonate reservoir rocks//Georesources. – 2012. – № 4(46). – P. 2-5.

16. Muslimov R.Kh., Vasyasin G.I., Shakirov A.N., Chendarev V.V. Geology of the Tournaisian stage of Tatarstan. Kazan: Monitoring, 1999. 186 p.

17. Ponomareva I.N., Novikov V.A., Martyushev D.A., Raznitsyn A.V. Study of relationships between filtration and capacitance characteristics of carbonate reservoirs with complex structure of hollow space. *Geo-resources*. 2025;27(3):221-232. <https://doi.org/10.18599/grs.2025.3.16>

18. Shumatbaev K.D., Privalova O.R., Akhmetzyanov R.V., Gainullina E.K., Kuchurina O.E., Shishlova L.M. Problems and ways to solve the differentiation of carbonate reservoirs by the structure of the void space //Collection of the 19th Scientific and Practical Conference on Geological Exploration and Development of Oil and Gas Fields "G "geomodel- 2017,"" Gelendzhik, September 11-14, 2017.

19. Shumatbaev K.D. Relationship between the reservoir properties and the structure of the void space of the Tournaisian reservoirs //Collection of theses of the II International Scientific and Practical Conference "Carbonate Deposits – 2025." Publishing house "Knowledge-M," Novokuznetsk, 2025: P. 87-90.

About the Authors

Kirill D. Shumatbaev – Ph.D. in Geological and Mineralogical Sciences, chief Expert (Petrophysical Research), Field Development Department, TAT-NEFT-Production, PJSC TATNEFT named after V.D. Shashin

75 Lenina St., Almet'yevsk, 423450, Russia

e-mail: Shumatbaevkd@tatneft.ru

Anton N. Kolchugin – Ph.D. in Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Department of Mineralogy and Lithology, Institute of Geology and Oil and Gas Technologies, Kazan (Volga) Federal University

4/5 Kremlevskaya St., Kazan, 420008, Russia

e-mail: Anton.Kolchugin@gmail.com

Bulat G. Ganiev – Ph.D. in Technical Sciences, Head of Department, Field Development Department, TATNEFT-Production, PJSC TATNEFT named after V.D. Shashin

75 Lenina St., Almet'yevsk, 423450, Russia

Azat A. Lutfullin – Ph.D in Technical Sciences, Deputy Head of Department, Field Development Department, TATNEFT-Production, PJSC TATNEFT named after V.D. Shashin

75 Lenina St., Almet'yevsk, 423450, Russia

e-mail: LutfullinAA@tatneft.ru

Статья поступила в редакцию 03.04.2026

Принята к публикации 17.04.26;

Опубликована 30.04.2026