



ГЕОЛОГИЯ

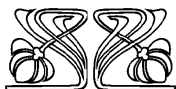
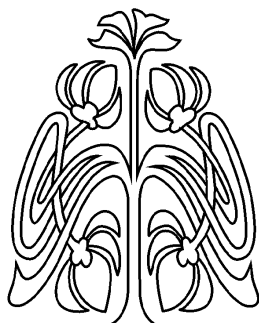
Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 21, вып. 2. С. 88–92

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2021, vol. 21, iss. 2, pp. 88–92

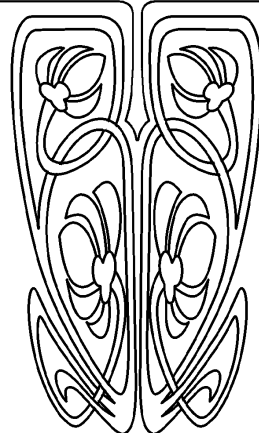
Научная статья

УДК 551.263

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-2-88-92>



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ



Влияние цеолитизации на миграцию пластовых флюидов на примере юрских и неокомских отложений (Ямальский нефтегазоносный район)

Е. П. Осипова¹, А. Г. Астаркина¹, С. В. Астаркин¹, Д. А. Стрельников²,
М. В. Решетников¹ ✉

¹ Центр исследований керна и пластовых флюидов филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИНефть» в г. Тюмени, Россия, 628481, г. Тюмень, ул. Центральная, д. 19/18

² ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь», Россия, 628486, г. Когалым, ул. Прибалтийская, д. 20

Осипова Елена Петровна, инженер 1-й категории Отдела минералогических исследований Управления комплексных исследований керна, OsipovaEP@tmn.lukoil.com, <https://orcid.org/0000-0002-9005-0145>

Астаркина Анжела Гавриловна, начальник Отдела проектного и технологического сопровождения лабораторных исследований, AstarkinaAG@tmn.lukoil.com, <https://orcid.org/0000-0002-0992-4811>

Астаркин Сергей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук начальник Центра исследований керна и пластовых флюидов, AstarkinSV@tmn.lukoil.com, <https://orcid.org/0000-0002-5758-2123>

Стрельников Даниил Александрович, начальник Отдела геологоразведочных работ по Ямальскому региону, Daniil.Strelnikov@lukoil.com, <https://orcid.org/0000-0002-2486-6138>

Решетников Михаил Владимирович, кандидат географических наук начальник Управления комплексных исследований, ReshetnikovMV@tmn.lukoil.com, <https://orcid.org/0000-0001-8298-029X>

Аннотация. Для оценки влияния минералов группы цеолита на миграцию пластовых флюидов в терригенных отложениях проведены комплексные (рентгенографические и газогеохимические) исследования керна ряда месторождений Ямальского нефтегазоносного района. Изучены 54 образца керна Пякяхинского и Южно-Мессояхского месторождений, из них 43 образца цеолитизированные и 11 нецеолитизированные. Образцы керна изучались методом газовой хроматографии для определения содержания углеводородов, адсорбированных в поровом пространстве керна, а также методом рентгеновской дифрактометрии для определения минерального состава исследуемых образцов. Установлены закономерности распределения углеводородов в изучаемых образцах в зависимости от степени их цеолитизации. Различия в распределении углеводородов в цеолитизированных и нецеолитизированных алевролитах имеют свое объяснение. Цеолиты, обладая упорядоченной кристаллической структурой и определенным размером входных окон, способны сорбировать углеводороды. Адсорбция носит избирательный характер, сорбируются молекулы углеводородов, критический диаметр которых меньше эффективного диаметра окон.

Ключевые слова: цеолиты, углеводороды, адсорбция, метан, нефтегазоаккумуляция, Ямальский нефтегазоносный район

Для цитирования: Осипова Е. П., Астаркина А. Г., Астаркин С. В., Стрельников Д. А., Решетников М. В. Влияние цеолитизации на миграцию пластовых флюидов на примере юрских



и неокомских отложений (Ямальский нефтегазоносный район) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 21, вып. 2. С. 88–92. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-2-88-92>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Article

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-2-88-92>

Influence of zeolitization on the migration of reservoir fluids on the example of jurassic and neocomian deposits (Yamal oil and gas region)

E. P. Osipova¹, A. G. Astarkina¹, S. V. Astarkin¹, D. A. Strelnikov², M. V. Reshetnikov^{1✉}

¹ Branch of LLC "LUKOIL-Engineering" "KogalymNIPIneft" in Tyumen, 19/18 St. Central, Tyumen 628481, Russia

² LLC "LUKOIL-Western Siberia", 20 St. Pribaltiskaya, Kogalym 628486, Russia

Elena P. Osipova, OsipovaEP@tmn.lukoil.com, <https://orcid.org/0000-0002-9005-0145>

Angela G. Astarkina, AstarkinaAG@tmn.lukoil.com, <https://orcid.org/0000-0002-0992-4811>

Sergey V. Astarkin, AstarkinSV@tmn.lukoil.com, <https://orcid.org/0000-0002-5758-2123>

Daniil A. Strelnikov, Daniil.Strelnikov@lukoil.com, <https://orcid.org/0000-0002-2486-6138>

Mikhail V. Reshetnikov, ReshetnikovMV@tmn.lukoil.com, <https://orcid.org/0000-0001-8298-029X>

Abstract. To assess the influence of zeolite group minerals on the migration of reservoir fluids in terrigenous deposits, complex (X-ray and gas-geochemical) studies of core material in the Yamal oil and gas region field were conducted. 54 core samples from the Pyakyakhinsky and Yuzhno-Messoyakhsky deposits were studied including 43 zeolitized and 11 non-zeolitized samples. The core samples were studied by gas chromatography to determine the content of hydrocarbons adsorbed in the pore space of the core, as well as by X-ray diffractometry to determine the mineral composition of the samples under study. The regularities of hydrocarbons distribution in the studied samples depending on the degree of their zeolitization are established. The differences in the distribution of hydrocarbons in zeolitized and non-zeolitized siltstones have their own explanation. Having an ordered crystal structure and a certain size of the entrance windows zeolites are able to sorb.

Keywords: zeolites, hydrocarbons, adsorption, methane, oil and gas accumulations, Yamal oil and gas region

For citation: Osipova E. P., Astarkina A. G., Astarkin S. V., Strelnikov D. A., Reshetnikov M. V. Influence of zeolitization on the migration of reservoir fluids on the example of jurassic and neocomian deposits (Yamal oil and gas region). *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2021, vol. 21, iss. 2, pp. 88–92 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-2-88-92>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Введение. Цеолитизация пород юрских и неокомских отложений в пределах Ямальского нефтегазоносного района является одним из основных постдиagenетических процессов. Процесс цеолитизации выражается в ломитизации песчаников и алевропесчаников и нередко накладывается на участки, испытавшие хлоритизацию, окварцевание, карбонатизацию, эпидотизацию, пиритизацию и лейкоксенизацию [1]. Роль цеолитов в формировании коллекторских свойств юрских и неокомских отложений северных территорий Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна, содержащих скопления углеводородов, достаточно подробно освещена в работах многих исследователей [1–5]. Несмотря на это, изучение влияния цеолитов на фильтрационно-емкостные свойства терригенно-осадочных пород, на аккумуляцию и миграцию пластовых флюидов и на процессы разработки остается актуальным вопросом.

При разработке геолого-технологических мероприятий по освоению цеолитизированных коллекторов необходимо учитывать как физико-химические свойства цеолитов, так и зоны развития и распределения цеолитизированных пород в пределах месторождения. Это связано с тем, что цеолиты, обладая упорядоченной кристалличе-

ской структурой и определенным размером входных окон, способны адсорбировать углеводороды. В работе рассматривается вопрос взаимосвязи между цеолитсодержащими образцами терригенно-осадочных горных пород и концентрацией углеводородных флюидов.

Методика проведения исследований. Из образцов керна была выделена мономинеральная фракция цеолитов при помощи смеси бромформа со спиртом плотностью, равной $\rho = 2,4 \text{ г/см}^3$. Минеральный состав выделенной фракции определялся при помощи рентгеноструктурного анализа на рентгеновском дифрактометре Phillips PW-1800.

Определение концентрации углеводородов проводилось при помощи хроматографического метода на хроматографе Agilent Technologies 7890A. Исследовались углеводороды, адсорбированные в поровом пространстве керна от C_1 до C_{23} , полученные данные подвергались детальному изучению.

Результаты исследования и их обсуждение

Литологическая характеристика отобранных образцов. Пласт БУ₁₆⁰ скважины 301 Пякяхинского месторождения (8 образцов) представлен алевро-



литами мелко-, крупнозернистыми, песчаными, цеолитизированными, слоистыми, слюдястыми.

Пласт БУ₁₆ скважины 2000 Пякяхинского месторождения (5 образцов) сложен алевролитами мелко-, крупнозернистыми, песчаными, цеолитизированными.

Пласт БУ₁₅² скважины 2016 Пякяхинского месторождения (10 образцов) представлен алевролитами мелко-, крупнозернистыми, песчаными, участками слоистыми, слюдястыми, цеолитизированными.

Пласт БУ₁₅¹ скважины 32Р Южно-Мессояхского месторождения (6 образцов) представлен алевролитами мелко-, крупнозернистыми, песчаными, участками слабопелитистыми, слабокарбонатистыми, слоистыми, слюдястыми, цеолитизированными.

Пласт БУ₁₄ скважины 32Р Южно-Мессояхского месторождения (14 образцов) представлен алевролитами мелко-, крупнозернистыми, песчаными, участками слабопелитистыми, слоистыми, слюдястыми, цеолитизированными.

Пласт БУ₁₃ скважины 301 Пякяхинского месторождения (6 образцов) представлен алевролитами мелко-, крупнозернистыми, песчаными, участками слабопелитистыми, слоистыми, слюдястыми.

Пласт БУ₁₄ скважины 2015 Пякяхинского месторождения (5 образцов) представлен алевролитами мелко-, крупнозернистыми, песчаными, слабопелитистыми, слоистыми.

Рентгеноструктурный анализ показал, что мономинеральная фракция представлена в основном ломонтитом, межплоскостные расстояния имеют диаметр 9,46, 6,83 и 4,15 Å [6, 7].

Газохроматографический анализ. Для изучения содержания углеводородов проведен хроматографический анализ 54 образцов керн Пякяхинского и Южно-Мессояхского месторождений. Из них 43 образца цеолитизированных и 11 нецеолитизированных. Полученные хроматографические данные подвергались детальному изучению: исследовались углеводороды, адсорбированные в поровом пространстве керн от С₁ до С₂₃.

Особенности распределения углеводородов в цеолитизированных и нецеолитизированных породах. График распределения концентрации углеводородов С₁–С₂₃ в образцах керн, типичный для исследуемых цеолитизированных пород, представлен на рисунке, а. Исследуемые образцы, отобранные из пластов БУ₁₆⁰, БУ₁₆, БУ₁₅², БУ₁₅¹, БУ₁₄, имеют сходные литотипы: это алевролиты мелко-, крупнозернистые, песчаные-песчаные, слоистые, слюдястые и цеолитизированные. Кроме того, они имеют примерно одинаковые фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС): относятся к 6-му классу коллекторов по классификации Ханина.

Три зоны распределения углеводородов видно на рисунке, а. Первая зона – содержание мета-

на. Молекула метана, имея наименьшие размеры и обладая наибольшей подвижностью, свободно диффундирует в пределах пласта, накапливаясь благодаря флюидоупорам. Вторая зона – содержание углеводородов от С₂ до н-С₅. Эти гомологи метана имеют большую по сравнению с метаном сорбционную способность и низкий коэффициент диффузии, что позволяет им концентрироваться в пределах пласта. Наибольшее содержание приходится на изобутан и изопентан. Третья зона – содержание тяжелых углеводородов от С₆ до С₂₃. Содержание этих углеводородов очень незначительное по сравнению с рассмотренными. В целом важно отметить, что углеводороды С₁₁–С₂₃ отсутствуют, образцы насыщены углеводородными газами и содержат незначительное количество жидких углеводородов С₆–С₁₀.

График распределения концентрации углеводородов С₁–С₂₃ в образцах керн, типичный для исследуемых нецеолитизированных пород, представлен на рисунке, б. Исследуемые образцы, отобранные из пластов БУ₁₃, БУ₁₄, имеют сходные литотипы: это алевролиты мелко-, крупнозернистые, песчаные-песчаные, слоистые, слюдястые и нецеолитизированные. Кроме того, они относятся к 6-му классу коллекторов по классификации Ханина.

Как видно из рисунка, б, характер распределения углеводородов отличается от рассмотренного выше. Содержание углеводородов от С₁ до С₁₂ меняется скачкообразно: наибольшее содержание приходится на изобутан и изопентан, метилциклопентан, метилциклогексан и октан. Содержание углеводородов от С₁₂ до С₂₃ незначительное. Необходимо отметить, что содержание углеводородов ряда С₂₀–С₂₃ соизмеримо с содержанием остальных углеводородов, а образцы насыщены как газообразными, так и жидкими углеводородами.

Влияние структуры кристалла цеолита на избирательное накопление углеводородов. Различия в распределении углеводородов в цеолитизированных и нецеолитизированных алевролитах имеют свое объяснение. Цеолиты, обладая упорядоченной кристаллической структурой и определенным размером входных окон, способны сорбировать углеводороды. Адсорбция носит избирательный характер. Сорбируются только те молекулы углеводородов, критический диаметр которых меньше эффективного диаметра окон. Гидратированный ломонтит имеет следующие размеры окон: 4,6×6,3 Å с долей свободного объема в структуре 34 % [8–11].

Для нахождения корреляций между кристаллографическими размерами окон цеолитов и размерами молекул разных адсорбатов следует составить шкалу размеров молекул. Наиболее эффективно использовать кинетический диаметр молекул σ, который равен наименьшему расстоянию между двумя молекулами, сталкивающимися с нулевой начальной кинетической энергией. Для таких длинных молекул, как углеводороды

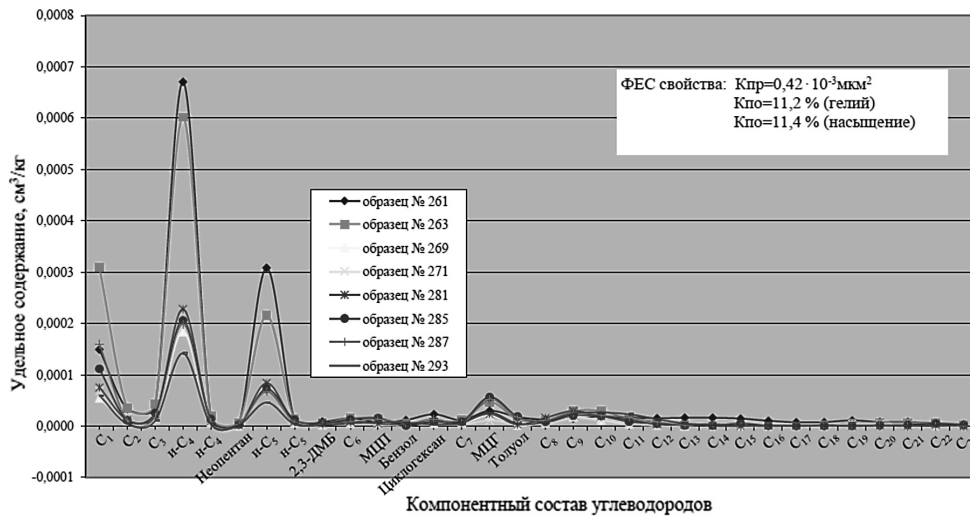


кинетический диаметр принимается равным наименьшему поперечному диаметру.

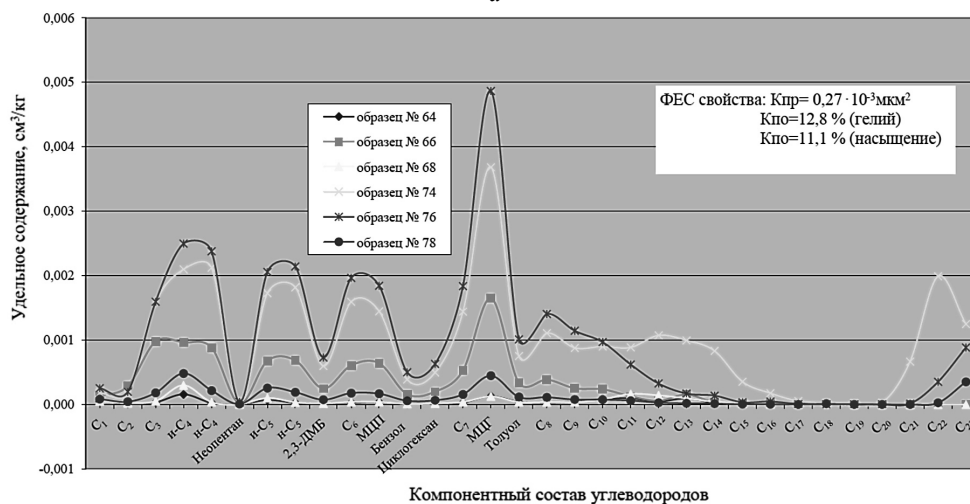
Таким образом, в соответствии с критическими размерами молекул и диаметром окон цеолиты адсорбируют углеводороды C_1-C_6 . Для проникновения в каналы цеолита более крупных молекул углеводородов требуется их дополнительная активация для преодоления ими потенциального барьера, образуемого адсорбированными на внутренней поверхности цеолита гидратированными обменными катионами. Следует отметить, что цеолиты обладают упорядоченной системой внутренних пор и адсорбция на них описывается изотермой I типа по классификации Брунауэра или изотермой Ленгмюра. Изотермы адсорбции на кристаллических цеолитах не имеют гистерезиса, характерного для изотерм адсорбции на аморфных микропористых адсорбентах. Адсорбция и десорбция полностью обратимы, так что десорбционная ветвь совпадает с адсорбционной.

Адсорбированные молекулы определенным образом связаны друг с другом. В рассматриваемом случае эта связь осуществляется силами Ван-дер-Ваальса (дисперсионное, ориентационное, индукционное воздействие). Она ослабевает с повышением температуры, так как усиливаются колебания молекул. Данный факт необходимо учитывать при разработке методов повышения нефтеотдачи на месторождениях этого региона.

Заключение. Природные цеолиты оказывают существенное влияние на формирование резервуаров углеводородов как в вулканогенно-осадочном комплексе, так и в магматических породах. Несомненна роль этих минералов и в процессах миграции, аккумуляции нефти и газа, а также в изменении их состава и физико-химических свойств залежи. Цеолиты являются не только «геологическим термометром» термобарической обстановки постмагматических процессов, но и индикатором зон возможного нефтегазоаккумуляции. С этих



а



б

Концентрация углеводородов: а – в цеолитизированных образцах керна Пякяхинского месторождения, пласт БУ₁₆⁰, б – в нецеолитизированных образцах керна Пякяхинского месторождения, пласт БУ₁₃ (цвет online)



позиций оправдана постановка более глубоких комплексных исследований цеолитов и процессов цеолитизации в разных нефтегазоносных бассейнах, и прежде всего в районах Западной Сибири.

Библиографический список

1. Коробов А. Д., Коробова Л. А., Колотухин А. Т., Мухин В. М., Елисеева Л. В. Гидротермальный литогенез и его роль в формировании рифтогенно-осадочного нефтегазоносного комплекса платформ // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2012. Т. 12, вып. 1. С. 47–57.
2. О зависимости результативности испытания пластов от накопленных знаний о геологическом строении залежей нефти и газа / А. В. Ершов, А. А. Дорошенко (ст.), М. В. Карымова, А. В. Орлов // Проблемы развития газовой промышленности Сибири : сб. тез. докл. XVII НПК молодых ученых и специалистов. Тюмень : ТюменНИИГипрогаз, 2012. С. 19–20.
3. Коробов А. Д., Коробова Л. А., Ахлестина Е. Ф. Минералогические и палеогеотермические критерии нефтегазоносности рифтогенных осадочных бассейнов нефтегазоносного комплекса платформ // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2009. Т. 9, вып. 2. С. 28–35.
4. Поспелов В. И., Шнип О. А. Цеолиты нефтесодержащих пород шельфа Южного Вьетнама // Геология нефти и газа. 1995. № 8. С. 15–20.
5. Саэтгалеев Я. Х., Мазитов М. Р. Оценка продуктивности способом статистической корреляции лабораторных данных (Пяяхинское месторождение, скважина 2020) // Георесурсы. 2012. № 2. С. 46–50.
6. Количественное определение содержания цеолитов в горных породах. Термохимический метод / И. А. Белицкий, А. В. Горбунов, В. А. Дребущак [и др.] Новосибирск : Наука, 1988. 10 с.
7. Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. Москва : Недра, 1957. 870 с.
8. Ахалбадашвили Л. Г. Каталитические и ионообменные свойства модифицированных цеолитов и сверхпроводящих купратов : дис. ... д-ра хим. наук. Тбилиси, 2006. 195 с.
9. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. Москва : Мир, 1976. 781 с.
10. Термический анализ минералов и горных пород / В. П. Иванова [и др.] Ленинград : Недра, 1974. 399 с.
11. Свит Дж. В. Структура цеолитов // Химия цеолитов и катализ на цеолитах / под ред. Дж. Рабо. Москва : Мир, 1980. 506 с.

Поступила в редакцию 13.02.2021, после рецензирования 01.03.2021, принята к публикации 15.03.2021
Received 13.02.2021, revised 01.03.2021, accepted 15.03.2021