

Теоретические основы химической технологии
Theoretical bases of chemical technology

УДК 547.464.7

<https://doi.org/10.32362/2410-6593-2024-19-4-273-278>

EDN SPGLZH



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Гидроизомеризация *n*-гексадекана на Pt-содержащих силикоалюмофосфатных молекулярных ситах SAPO-11 с различным содержанием кремния

М.Р. Аглиуллин^{1,✉}, А.Н. Хазипова¹, А.Ф. Ахметов², О.А. Баулин²

¹ Институт нефтехимии и катализа, Уфа, 450075 Россия

² Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, 450064 Россия

✉ Автор для переписки, e-mail: maratradikovich@mail.ru

Аннотация

Цель. Получить силикоалюмофосфатные молекулярные сита SAPO-11 с различным содержанием кремния, изучить свойства их пористой структуры и кислотные свойства; приготовить на их основе бифункциональные Pt-содержащие катализаторы (0.5 мас. % Pt) и оценить их каталитические свойства в реакции гидроизомеризации *n*-гексадекана.

Методы. Анализ химического состава синтезированных силикоалюмофосфатов SAPO-11 проводили на приборе Shimadzu EDX-7000P методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии. Фазовый состав образцов SAPO-11 анализировали методом рентгеновской порошковой дифракции на дифрактометре Shimadzu XRD-7000 в Cu-K α излучении.

Результаты. Синтезированы из реакционных гелей силикоалюмофосфатные молекулярные сита SAPO-11 с различным содержанием Si и приготовлены на их основе бифункциональные Pt-содержащие катализаторы гидроизомеризации высших *n*-парафинов. С ростом соотношения SiO₂/Al₂O₃ увеличивается число кислотных центров, что приводит к возрастанию конверсии *n*-гексадекана. Селективность образования углеводородов *изо*-строения при этом снижается.

Выводы. Установлено, что соотношение SiO₂/Al₂O₃ в исходных реакционных гелях оказывает влияние как на концентрацию кислотных центров, так и на свойства пористой структуры силикоалюмофосфатов SAPO-11. Показано, что соотношение SiO₂/Al₂O₃ оказывает существенное влияние на каталитические свойства SAPO-11 в гидроизомеризации *n*-гексадекана.

Ключевые слова

молекулярные сита, силикоалюмофосфат SAPO-11, катализаторы гидроизомеризации *n*-гексадекана

Поступила: 15.03.2024

Доработана: 08.04.2024

Принята в печать: 01.07.2024

Для цитирования

Аглиуллин М.Р., Хазипова А.Н., Ахметов А.Ф., Баулин О.А. Гидроизомеризация *n*-гексадекана на Pt-содержащих силикоалюмофосфатных молекулярных ситах SAPO-11 с различным содержанием кремния. *Тонкие химические технологии*. 2024;19(4):273–278. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2024-19-4-273-278>

RESEARCH ARTICLE

Hydroisomerization of *n*-hexadecane on Pt-containing silicone aluminum phosphate molecular sieves SAPO-11 with different silicon content

Marat R. Agliullin¹, Al'fira N. Khazipova¹, Arslan F. Akhmetov², Oleg A. Baulin²

¹ Institute of Petrochemistry and Catalysis, Ufa, 450075 Russia

² Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, 450064 Russia

✉ Corresponding author, e-mail: maratradikovich@mail.ru

Abstract

Objectives. To obtain silicone aluminum phosphate molecular sieves SAPO-11 with different silicon content, to determine their pore space and acidic properties, to apply 0.5 wt % to their surface Pt, and to evaluate the effectiveness of the use of *n*-hexadecane in the hydroisomerization reaction.

Methods. The chemical composition of the SAPO-11 molecular sieves obtained was determined by means of X-ray fluorescence spectroscopy using a Shimadzu EDX-7000P device. The radiographs of non-calcined SAPO-11 were recorded on a Shimadzu XRD-7000 diffractometer in CuK α radiation.

Results. Silicone aluminum phosphate molecular sieves SAPO-11 containing 0.5 wt % Pt on the surface were obtained from gels. As the SiO₂/Al₂O₃ ratio increases, the number of acid centers increases. This then leads to an increase in the conversion of *n*-hexadecane. The selectivity of the formation of hydrocarbons of the structure decreases at the same time.

Conclusions. Silicone aluminum phosphate molecular sieves Pt-SAPO-11 were obtained. It was also found that the samples undergo *n*-hexadecane conversion.

Keywords

molecular sieves, silicone aluminum phosphate SAPO-11, catalysts for hydroisomerization of *n*-hexadecane

Submitted: 15.03.2024

Revised: 08.04.2024

Accepted: 01.07.2024

For citation

Agliullin M.R., Chazipova A.N., Akhmetov A.F., Baulin O.A. Hydroisomerization of *n*-hexadecane on Pt-containing silicone aluminum phosphate molecular sieves SAPO-11 with different silicon content. *Tonk. Khim. Tekhnol. = Fine Chem. Technol.* 2024;19(4):273–278. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2024-19-4-273-278>

ВВЕДЕНИЕ

В современной нефтепереработке и нефтехимии широко используются цеолитные катализаторы [1–2]. В частности, для гидроизомеризации *n*-парафинов C₁₄–C₁₈ находят применение силикоалюмофосфатные молекулярные сита SAPO-*n* [3–10]. Эффективность их использования определяется кислотностью, размерами пор и природой адсорбированного металла. Каталитические свойства цеолитов SAPO-*n* во многом определяются содержанием кремния и технологией приготовления, от которой зависит размер пор и кислотность [3, 11–19].

Ранее нами было описано получение молекулярных сит SAPO-11 (структурированный тип AEL) с одномерной канальной системой, размером пор 4.0–6.5 Å и соотношением SiO₂/Al₂O₃ 0.1 и 0.5 (SAPO-11-0.1 и SAPO-11-0.5), которые использовались

в процессе олигомеризации α -метилстирола [21]. Продолжая эти исследования, мы нанесли металлическую платину 0.5 мас. % на эти цеолиты. После экструдирования и измельчения частицы размером 20–40 мкм использовались в качестве катализаторов гидроизомеризации *n*-гексадекана.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Синтез SAPO-11

Силикоалюмофосфатные молекулярные сита SAPO-11 синтезировали по методике, описанной в [20], из реакционных гелей следующих составов: 1.0Al₂O₃ : 1.0P₂O₅ : (0; 0.2; 0.5)SiO₂ : 1.0(Темплат) : 45H₂O. Для приготовления реакционных гелей использовали фосфорную кислоту (H₃PO₄, 85%, Реахим, Россия), псевдобемит (AlO(OH), 72% Al₂O₃, Ишимбайский

Таблица 1. Химический и фазовый состав реакционных гелей и продуктов их кристаллизации (молекулярные сита SAPO-11 и AIPO-11)**Table 1.** Chemical and phase composition of reaction gels and their crystallization products (SAPO-11 and AIPO-11 molecular sieves)

Образец Sample	Химический состав исходной реакционной массы Chemical composition of the initial reaction mass	Химический состав SAPO-11 Chemical composition of SAPO-11	Кристалличность, % Crystallinity, %
AIPO-11-0	$Al_{1.00}P_{0.98}Si_{0.00}$	$Al_{1.00}P_{0.98}Si_{0.00}$ (AIPO-11)	~93
SAPO-11-0.1	$Al_{1.00}P_{0.98}Si_{0.05}$	$Al_{1.00}P_{0.90}Si_{0.03}$ (SAPO-11)	~92
SAPO-11-0.5	$Al_{1.00}P_{0.98}Si_{0.25}$	$Al_{1.00}P_{0.91}Si_{0.18}$ (SAPO-11)	~95

специализированный химический завод катализаторов, Россия), «белую сажу» (SIGMA, США), ди-*n*-пропиламин (99%, Acros Organics, Бельгия) и дистиллированную воду. После добавления всех компонентов реакционную массу перемешивали при комнатной температуре (25°C) в течение 1 ч. Далее полученный густой гель выдерживали в воздушном термостате в течение 24 ч при 90°C. Ранее обнаружено, что проведение предварительной стадии выдерживания геля при 90°C позволяет при дальнейшей его кристаллизации получить селективно силикоалюмофосфат SAPO-11 высокой фазовой чистоты и степени кристалличности [21]. После стадии старения гели загружали в автоклавы (TEFIC, Китай) с тефлоновым покрытием и кристаллизовали при 200°C в течение 24 ч. После кристаллизации реакционную массу центрифугировали, промывали дистиллированной водой и сушили при 100°C в течение 24 ч. Образцы SAPO-11, полученные из гелей с соотношением SiO_2/Al_2O_3 , равным 0.1 и 0.5, обозначены как SAPO-11-0.1 и SAPO-11-0.5. Кроме того, был синтезирован образец из геля, не содержащего кремния, который обозначен, как AIPO-11.

Приготовление каталитических систем

Бифункциональные катализаторы, содержащие платину (Pt/SAPO-11), готовили следующим образом: прокаленные при 600°C в течение 6 ч в воздухе образцы SAPO-11 с различным содержанием кремния пропитывали водным раствором $H_2PtCl_6 \cdot 6H_2O$ из расчета 0.5 мас. % Pt от массы катализатора, затем сушили при температуре 25°C в течение 48 ч и при 100°C в течение 24 ч. Далее образцы, содержащие соединения платины, подвергались прокаливанию в муфельной печи (LIOP, Китай) при 550°C в течение 5 ч. После прокалики образцы были экструдированы, измельчены

и просеяны с получением фракции частиц размером 20–40 мкм. Образцы, содержащие Pt SAPO-11-0.1 и SAPO-11-0.5, далее обозначены как Pt/SAPO-11-0.1 и Pt/SAPO-11-0.5 соответственно. Образец катализатора, не содержащий кремния, обозначен как Pt/AIPO-11.

Методы анализа материалов

Анализ химического состава синтезированных силикоалюмофосфатов SAPO-11 проводили на приборе EDX-7000P (Shimadzu, Япония) методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии.

Фазовый состав образцов SAPO-11 анализировали методом рентгеновской порошковой дифракции на дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu, Япония) в Cu-K α излучении. Сканирование осуществляли в области углов 2θ от 5° до 40° с шагом 1 град/мин. Обработку рентгенограмм и фазовый анализ проводили с использованием программного обеспечения дифрактометра Shimadzu XRD. Кристалличность оценивали по содержанию аморфного гало в области от 20° до 30° углов 2θ с использованием программы Shimadzu XRD.

Более подробно свойства синтезированных силикоалюмофосфатных молекулярных сит SAPO-11 описаны в диссертации О.С. Травкиной¹.

Гидроизомеризация *n*-гексадекана

Реакцию гидроизомеризации *n*-гексадекана ($n-C_{16}H_{34}$, 99%, Реахим, Россия) проводили в интегральном проточном реакторе под давлением 3.0 МПа при 280–350°C с мольным соотношением $H_2/n-C_{16}H_{34} = 12$ моль/моль и массовой скоростью подачи сырья 2 ч⁻¹. Продукты реакции анализировали методом газожидкостной хроматографии на хроматографе HRGC 5300 Mega

¹ Травкина О.С. Гранулированные цеолиты A, X, Y, морденит и ZSM-5 высокой степени кристалличности с иерархической пористой структурой: синтез, свойства и применение в адсорбции и катализе: дис. ... д-ра хим. наук. Уфа; 2023. 332 с. [Travkina O.S. Granular zeolites A, X, Y, mordenite and ZSM-5 of a high degree of crystallinity with a hierarchical porous structure: synthesis, properties and application in adsorption and catalysis. Diss. Dr. Sci. (Chem.). Ufa; 2023. 332 p. (in Russ.)]

Series «Carlo Erba» (*Carlo Erba*, Италия) с пламенно-ионизационным детектором (стеклянная капиллярная колонка 50 м, SE-30). Продукты идентифицировали методом хроматомасс-спектрометрии на хроматомасс-спектрометре GCMS-TQ8050 (*Shimadzu*, Япония) с использованием библиотеки масс-спектров WILEY. Физико-химические характеристики полученных продуктов соответствовали литературным данным [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Была изучена гидроизомеризация *n*-гексадекана $n\text{-C}_{16}\text{H}_{34}$ на полученных образцах Pt/SAPO-11-0.1, Pt/SAPO-11-0.5, Pt/AlPO-11 в интервале температур 280–340°C (рис. 1). Установлено, что продукты реакции, главным образом, содержат метил-пентадеканы, среди которых основными изомерами являются соответствующие 2-, 3- и 4-мометилпроизводные.

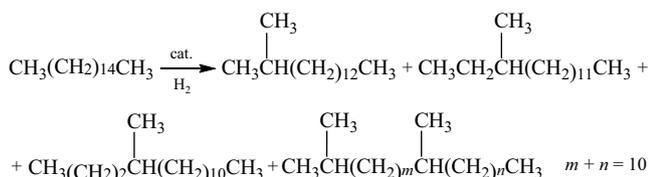


Рис. 1. Гидроизомеризация *n*-гексадекана $n\text{-C}_{16}\text{H}_{34}$

Fig. 1. Hydroisomerization of *n*-hexadecane $n\text{-C}_{16}\text{H}_{34}$

Как следует из работы [22], преимущественное образование таких продуктов (табл. 2) связано со строением микропористой структуры силико-алюмофосфатов Pt/SAPO-11. Параллельно в небольших количествах образуются низшие углеводороды $\text{C}_6\text{--C}_8$ (продукты крекинга).

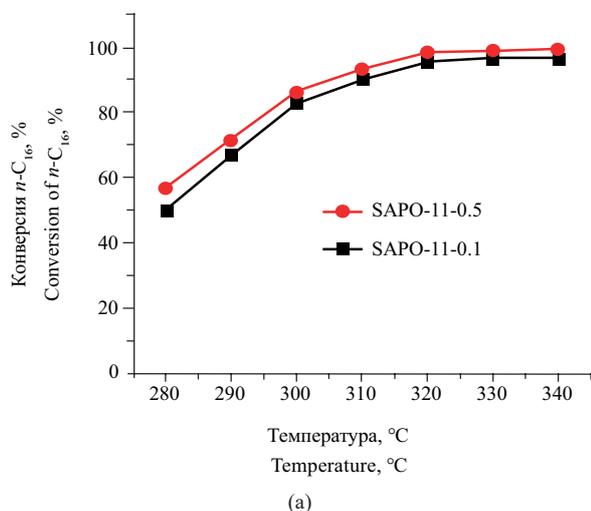


Таблица 2. Результаты гидроизомеризации *n*-гексадекана при 310°C на Pt-содержащих образцах силикоалюмофосфатных молекулярных сит

Table 2. Results of hydroisomerization of *n*-hexadecane at 310°C on Pt-containing samples of silicoaluminophosphate molecular sieves

Наименование Name	Pt/SAPO-11-0.1	Pt/SAPO-11-0.5
Конверсия <i>n</i> -C ₁₆ , % Conversion of <i>n</i> -C ₁₆ , %	90	94
Селективность $\Sigma i\text{-C}_{16}$, % Selectivity of $\Sigma i\text{-C}_{16}$, %	78	71
Состав продуктов реакции, % Composition of reaction products, %		
2-MeC ₁₅ , %	21	20
3-MeC ₁₅ , %	18	16
4-MeC ₁₅ , %	13	11
5-MeC ₁₅ , %	5	3
6-MeC ₁₅ , %	9	6
(CH ₃) ₂ -C ₁₄ , %	12	15
$\Sigma \text{C}_6\text{--C}_8$, %	22	29

Условные обозначения: селективность $\Sigma i\text{-C}_{16}$ — суммарная селективность по изомерам C₁₆; (CH₃)₂-C₁₄ — ди- и триметил-изомеры C₁₆; $\Sigma \text{C}_6\text{--C}_8$ — продукты крекинга.

Symbols: selectivity of $\Sigma i\text{-C}_{16}$ is the total selectivity for C₁₆ isomers; (CH₃)₂-C₁₄ is di- and trimethylisomers of C₁₆; $\Sigma \text{C}_6\text{--C}_8$ are cracking products.

При увеличении загрузочного соотношения SiO₂/Al₂O₃ до 0.5 селективность их образования возрастает до 30% (310°C). С ростом температуры от 310 до 340°C селективность изомеризации резко снижается, и основным направлением является крекинг (рис. 2).

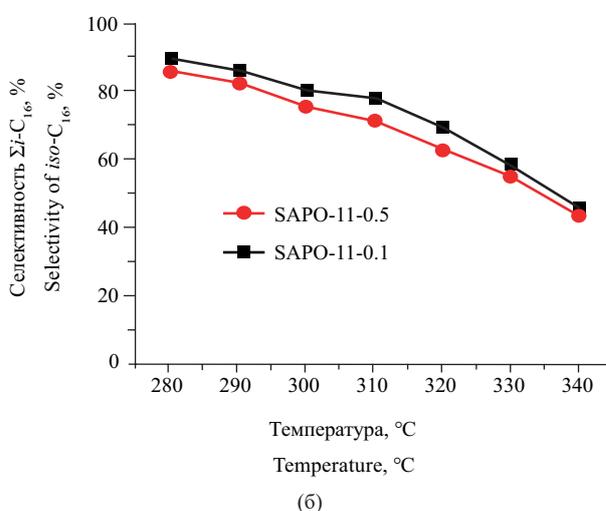


Рис. 2. Гидроизомеризация *n*-гексадекана на катализаторах Pt/SAPO-11: (а) конверсия *n*-C₁₆; (б) селективность образования *изо*-C₁₆

Fig. 2. Hydroisomerization of *n*-hexadecane over Pt/SAPO-11 catalysts: (a) conversion of *n*-C₁₆; (b) selectivity of *iso*-C₁₆ formation

Из полученных данных (табл. 2) следует, что катализатор Pt/SAPO-11-0.1 более эффективен для процессов изомеризации, обеспечивая более высокий суммарный выход изомеров. Предполагаем, что это связано с количеством кислотных центров в образце Pt/SAPO-11-0.5, которых в 5 раз больше, в том числе и на внешней поверхности кристаллов, относительно образца Pt/SAPO-11-0.1.

Отметим, что в алюмофосфате, не содержащем кремний Pt/AlPO-11, гидроизомеризация *n*-C₁₆H₃₄ в этих условиях не наблюдается. Мы связываем это с тем, что кислотные центры в силикоалюмофосфатах, которые ответственны за протекание скелетной изомеризации, образуются только при введении в материал оксида кремния, как было показано в работе [23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе было изучено влияние различного содержания кремния на степень кристалличности, морфологию и размеры силикоалюмофосфатов SAPO-11. Образцы SAPO-11-0.1 и SAPO-11-0.5 с нанесенной 0.5 мас. % Pt исследованы как катализаторы гидроизомеризации *n*-гексадекана. Показано, что образцы бифункциональных катализаторов позволяют при 300°C, 3 МПа, 2.0 ч⁻¹ и H₂/C₁₆ = 12 моль/моль достигать выхода *изо*-гексадеканов не менее 70% при конверсии *n*-гексадекана более 90%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Vermeiren W., Gilson J.P. Impact of zeolites on the petroleum and petrochemical industry. *Top. Catal.* 2009;52(9): 1131–1161. <http://doi.org/10.1007/s11244-009-9271-8>
2. Lin C.C.H., Dambrowitz K.A., Kuznicki S.M. Evolving applications of zeolite molecular sieves. *Canadian J. Chem. Eng.* 2012;90(2):207–216. <https://doi.org/10.7939/R3862BJ6C>
3. Blasco T., Chica A., Corma A., Murphy W.J., Agundez-Rodriguez J., Perez-Pariente J. Changing the Si distribution in SAPO-11 by synthesis with surfactants improves the hydroisomerization/dewaxing properties. *J. Catal.* 2006;242:153–161. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2006.05.027>
4. Song Ch.-M., Yang H., Wang Y., Feng Y., Shi X., Duan H. Dry-gel conversion synthesis of SAPO-11 molecular sieves and their use in hydroisodewaxing of hydrocracking recycle oil. *Asia-Pac. J. Chem. Eng.* 2016;11(6):846–854. <https://doi.org/10.1002/apj.2018>
5. Wei X., Kikhtyanin O.V., Parmon V.N., Wu W., Bai X., Zhang J., Xiao L., Su X., Zhang Y. Synergetic effect between the metal and acid sites of Pd/SAPO-41 bifunctional catalysts in *n*-hexadecane hydroisomerization. *J. Por. Mater.* 2018;25: 235–247. <https://doi.org/10.1007/s10934-017-0437-7>
6. Miller S.J. New molecular sieve process for lube dewaxing by wax isomerization. *Micropor. Mater.* 1994;2(5):439–449. [https://doi.org/10.1016/0927-6513\(94\)00016-6](https://doi.org/10.1016/0927-6513(94)00016-6)
7. Zhang Sh., Chen Sh.-L., Dong P., Yuan G., Xu K. Characterization and hydroisomerization performance of SAPO-11 molecular sieves synthesized in different media. *Appl. Catal. A: Gen.* 2007;332(1):46–55. <http://doi.org/10.1016/j.apcata.2007.07.047>
8. Zhang Sh., Chen Sh.-L., Dong P., Ji Zh., Zhao J., Xu K. Synthesis, characterization and hydroisomerization catalytic performance of nanosize SAPO-11 molecular sieves. *Catal. Lett.* 2007;118(1–2):109–117. <https://doi.org/10.1007/s10562-007-9138-1>
9. Du Y., Feng B., Jiang Y., Yuan L., Huang K., Li J. Solvent-Free Synthesis and *n*-Hexadecane Hydroisomerization Performance of SAPO-11 Catalyst. *Eur. J. Inorg. Chem.* 2018;2018(22):2599–2606. <https://doi.org/10.1002/ejic.201800134>
10. Gerasimov D.N., Kashin E.V., Pigoleva I.V., Maslov I.A., Fadeev V.V., Zaglyadova S.V. Effect of Zeolite Properties on Dewaxing by Isomerization of Different Hydrocarbon Feedstocks. *Energ. Fuel.* 2019;33(4):3492–3503. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b00289>
11. Yang Zh., Li J., Liu Y., Liu Ch. Effect of silicon precursor on silicon incorporation in SAPO-11 and their catalytic performance for hydroisomerization of *n*-octane on Pt-based catalysts. *J. Energy Chem.* 2017;26(4):688–694. <https://doi.org/10.1016/j.jchem.2017.02.002>

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке программы «Приоритет 2030».

Acknowledgments

The research was financially supported by the Priority 2030 program.

Вклад авторов

М.Р. Аглиуллин — проведение исследований, сбор и обработка материала, написание текста статьи.

А.Н. Хазипова — обзор публикаций по теме статьи.

А.Ф. Ахметов — консультации по вопросам планирования.

О.А. Баулин — разработка концепции научной работы, критический пересмотр с внесением ценного интеллектуального содержания.

Authors' contributions

M.R. Agliullin — conducting research, collecting and processing material, and writing the text of the article.

A.N. Khazipova — review of publications on the topic of the article.

A.F. Akhmetov — planning consultations.

O.A. Baulin — conceptualization of the research paper, critical revision with the introduction of valuable intellectual content.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interest.

12. Araujo A.S., Fernandes V.J., Diniz J.C., Silva A.O.S., Silva C.C., Santos R.H.A. Hydrothermal synthesis and crystallographic properties of silicoaluminophosphate with different content of silicon. *Mater. Res. Bull.* 1999;34(9):1369–1373. [https://doi.org/10.1016/S0025-5408\(99\)00135-X](https://doi.org/10.1016/S0025-5408(99)00135-X)
13. Wang X., Zhang W., Guo Sh., Zhao L., Xiang H. Optimization of the Synthesis of SAPO-11 for the Methylation of Naphthalene with Methanol by Varying Templates and Template Content. *J. Braz. Chem. Soc.* 2013;24(7):1180–1187. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20130152>
14. Yang L., Wang W., Song X., Bai X., Feng Zh., Liu T., Wu W. The hydroisomerization of *n*-decane over Pd/SAPO-11 bifunctional catalysts: The effects of templates on characteristics and catalytic performances. *Fuel Proc. Tech.* 2019;190:13–20. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.02.027>
15. Liu P., Ren J., Sun Y. Synthesis, characterization and catalytic properties of SAPO-11 with high silicon dispersion. *Catal. Commun.* 2008;9(9):1804–1809. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2008.01.030>
16. Liu P., Ren J., Sun Y. Influence of template on Si distribution of SAPO-11 and their performance for *n*-paraffin isomerization. *Micropor. Mesopor. Mater.* 2008;114(1–3):365–372. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2008.01.022>
17. Singh P.S., Bandyopadhyay R., Rao B.S. Characterization of SAPO-11 synthesized conventionally and in the presence of fluoride ions. *J. Chem. Soc. Faraday Trans.* 1996;92(11):2017–2026. <https://doi.org/10.1039/FT9969202017>
18. Sinha A.K., Seelan S. Characterization of SAPO-11 and SAPO-31 synthesized from aqueous and non-aqueous media. *Appl. Catal. A: Gen.* 2004;270(1–2):245–252. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2004.05.013>
19. Wang Zh., Tian Zh., Teng F., Wen G., Xu Y., Xu Zh., Lin L. Hydroisomerization of Long-Chain Alkane Over Pt/SAPO-11 Catalysts Synthesized from Nonaqueous Media. *Catal. Lett.* 2005;103(1–2):109–116. <https://doi.org/10.1007/s10562-005-6510-x>
20. Agliullin M.R., Cherepanova S.V., Fayzullina Z.R., Serebrennikov D.V., Khalilov L.M., Prosochkina T.R., Kutepov B.I. Crystallization of SAPO-11 Molecular Sieves Prepared from Silicoaluminophosphate Gels Using Boehmites with Different Properties. *Gels.* 2023;9(2):123. <https://doi.org/10.3390/gels9020123>
21. Agliullin M.R., Arzumanov S.S., Gerasimov E.Y., Grigorieva N.G., Bikbaeva V.R., Serebrennikov D.V., Khalilov L.M., Kutepov B.I. Crystal engineering of SAPO-11 sieves by forming intermediate phases. *CrystEngComm.* 2023;25(20):3096–3107. <https://doi.org/10.1039/d3ce00278k>
22. Lok B.M., Messina C.A., Patton R.L., Gajek R.T., Cannan T.R., Flanigen E.M. *Crystalline Silicoaluminophosphates: USA Pat.* 44440871. Publ. 03.04.1984.
23. Flanigen E.M., Patton R.L., Wilson S.T. Structural, synthetic and physicochemical concepts in aluminophosphate-based molecular sieves. *Studies in Surface Science and Catalysis.* 1988;37:13–27. [http://doi.org/10.1016/S0167-2991\(09\)60578-4](http://doi.org/10.1016/S0167-2991(09)60578-4)

Об авторах

Аглиуллин Марат Радикович, к.х.н., старший научный сотрудник, Институт нефтехимии и катализа – обособленное структурное подразделение, ФГБНУ Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии науки (450075, Россия, г. Уфа, пр. Октября, 141). E-mail: maratradikovich@mail.ru. Scopus Author ID 56480769400, ResearcherID M-6486-2016, <https://orcid.org/0000-0002-2210-9520>

Хазипова Альфира Наилевна, к.х.н., старший научный сотрудник, Институт нефтехимии и катализа – обособленное структурное подразделение, ФГБНУ Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии науки (450075, Россия, г. Уфа, пр. Октября, 141). E-mail: khazipova@gmail.com. Scopus Author ID 6506529764, ResearcherID AAC-3049-2022, SPIN-код РИНЦ 1558-3478, <https://orcid.org/0000-0002-2643-8233>

Ахметов Арслан Фаритович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология нефти и газа», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (450064, Россия, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1). E-mail: tngrosoil@mail.ru. Scopus Author ID 7004645636, ResearcherID L-4129-2017, SPIN-код РИНЦ 3282-5937, <https://orcid.org/0000-0003-0478-5928>

Баулин Олег Александрович, к.т.н., доцент, ректор, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (450064, Россия, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1). E-mail: rector@rusoil.net. Scopus Author ID 57189619506, SPIN-код РИНЦ 3207-2586, <https://orcid.org/0000-0002-6744-7451>

About the authors

Marat R. Agliullin, Cand. Sci. (Chem.), Senior Researcher, Institute of Petrochemistry and Catalysis, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences (141, Oktyabrya pr., Ufa, 450075, Russia). E-mail: maratradikovich@mail.ru. Scopus Author ID 56480769400, ResearcherID M-6486-2016, <https://orcid.org/0000-0002-2210-9520>

Alfira N. Khazipova, Cand. Sci. (Chem.), Senior Researcher, Institute of Petrochemistry and Catalysis, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences (141, Oktyabrya pr., Ufa, 450075, Russia). E-mail: khazipova@gmail.com. Scopus Author ID 6506529764, ResearcherID AAC-3049-2022, RSCI SPIN-code 1558-3478, <https://orcid.org/0000-0002-2643-8233>

Arslan F. Akhmetov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Oil and Gas Technology, Ufa State Petroleum Technological University (1, Kosmonavtov ul., Ufa, 450064, Russia). E-mail: tngrosoil@mail.ru. Scopus Author ID 7004645636, ResearcherID L-4129-2017, RSCI SPIN-code 3282-5937, <https://orcid.org/0000-0003-0478-5928>

Oleg A. Baulin, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Rector, Ufa State Petroleum Technological University (1, Kosmonavtov ul., Ufa, 450064, Russia). E-mail: rector@rusoil.net. Scopus Author ID 57189619506, RSCI SPIN-code 3207-2586, <https://orcid.org/0000-0002-6744-7451>