

она была высушена в течение суток. Полученное твердофазное вещество поместили в трубчатую печь и нагрели до 600°C со скоростью нагрева 1°C/мин, после чего прокаливали образец при этой температуре в течение 6 часов в потоке кислорода.

По данным метода низкотемпературной адсорбции/десорбции азота, изотермы на обоих изученных образцах относятся к IV типу по классификации Брунауэра, Эммета и Теллера, наличие в них петли гистерезиса связано с капиллярной конденсацией, происходящей в мезопорах. Однако они отличаются по типу петли гистерезиса. Если на изотерме образца MAS-1 петля гистерезиса относится к H1 типу, свидетельствующая об узком распределении пор по размерам и упорядоченной структуре, то на изотерме образца MAS-2 – H4, свидетельствующая об узких щелевидных порах. Также синтезированные материалы резко отличаются и по удельной поверхности (MAS-1 – 511 м<sup>2</sup>/г, MAS-2 – 1170,0 м<sup>2</sup>/г), средний диаметр пор и объем пор колеблются с 3,82 нм до 2,19 нм и с 1,47 см<sup>3</sup>/г до 0,875 см<sup>3</sup>/г. Для обоих образцов максимум на кривой распределения пор по размерам наблюдается при 3,5-4,2 нм. Средний размер пор для всех трех образцов обусловлен присутствием в небольшом количестве макропор.

Для подтверждения мезопористости и упорядоченности пористой структуры синтезированных материалов был использован метод рентгеновского рассеяния. Согласно рентгенограмме малоуглового рассеяния мезопористого образца MAS-1, присутствие выраженного пика в области значений углов 2θ 2,1° свидетельствует о наличии мезопористой структуры. Для образца MAS-1 пик интенсивности находится в области 2,1°, что при длине волны используемого излучения соответствует межплоскостному расстоянию 4,2 нм.

Для определения относительной прочности кислотных центров Бренстеда и Льюиса на поверхности мезопористых алюмосиликатов был проведен анализ ИК-спектроскопии с Фурье-преобразованием диффузного отражения (DRIFT) адсорбированных образцов пиридина. На изученных образцах фиксируются полосы поглощения при 1445, 1490 и 1595 см<sup>-1</sup>. Наблюдаемые полосы при 1445 и 1595 см<sup>-1</sup> в спектрах объясняются наличием связанного водородом пиридина, адсорбированного на центрах кислот Льюиса. Полоса, наблюдаемая примерно на 1490 см<sup>-1</sup>, обусловлена адсорбцией пиридина как на центрах Льюиса, так и на центрах кислоты Бренстеда. Следует отметить, что появление полосы поглощения в области 1640 см<sup>-1</sup> на спектре образца MAS-2 свидетельствует о наличии кислотных центров Бренстеда.

Для исследования сохранения кристаллического упорядочения в синтезированных мезопористых алюмосиликатах была использована FT-ИК-спектроскопия в диапазоне 400-4000 см<sup>-1</sup>. Появление на спектрах полосы 1059 см<sup>-1</sup> может быть отнесено к асимметричным колебаниям растяжения Si-O и Al-O, в то время как полоса в области 800 см<sup>-1</sup> в спектрах изученных материалов указывает на кристаллическое упорядочение, т.е., по-видимому, обусловлена это внутренней вибрацией тетраэдров TO<sub>4</sub>, содержащих Al и Si. Полоса поглощения при 450 см<sup>-1</sup> отвечает деформационным колебаниям SiO<sub>4</sub>.

Таким образом, были синтезированы упорядоченные мезопористые алюмосиликаты MAS-1 и MAS-2 с использованием различных темплатов и источников алюминия. Синтезированные образцы были исследованы с помощью различных физико-химических методов анализа. Наличие мезопористой и упорядоченной структуры в синтезированных алюмосиликатах подтверждены данными низкотемпературной адсорбции/десорбции азота и FT-IR. По данным DRIFT анализа показано, что на поверхности синтезированных материалов в основном присутствуют кислотные центры Льюиса. В настоящее время мы изучаем возможность использования этих материалов в качестве кислотных компонентов бифункциональных катализаторов нефтехимических процессов.

**Ключевые слова:** мезопористые алюмосиликаты, темплат, бифункциональные катализаторы, пористость, кислотные центры Льюиса и Бренстеда.

#### Information about authors:

Umbetkaliyeva K.M., 3<sup>rd</sup> year PhD of al-Farabi KazNU, researcher of SRI for New Chemical Technologies and Materials, Almaty, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0002-0474-5240>, [kamilla.u.m21@mail.ru](mailto:kamilla.u.m21@mail.ru);

Vassilina G.K., Candidate of Chemical Sciences, acting assistant professor of al-Farabi KazNU, leading researcher of SRI for New Chemical Technologies and Materials, Almaty, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0002-5407-6751>, [v\\_gulzira@mail.ru](mailto:v_gulzira@mail.ru);

Abdrasilova A.K., 2<sup>nd</sup> year Master student of al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan <https://orcid.org/0000-0002-9560-6464>, [albina06.07@mail.ru](mailto:albina06.07@mail.ru);

Khajyrgeldinova A.R., Master of Engineering Science, researcher of SRI for New Chemical Technologies and Materials, Almaty, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0003-1030-2152>, [asyltas\\_2008@mail.ru](mailto:asyltas_2008@mail.ru);

Vassilina T.K., Ph.D., associate professor of Kazakh National Agrarian University, senior researcher of SRI for New Chemical Technologies and Materials, Almaty, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0003-0554-9839>, [v\\_tursunai@mail.ru](mailto:v_tursunai@mail.ru);

Zakirov Zh.Y., 4<sup>th</sup> year student of al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0001-6891-1423>, [abuzhassulan@gmail.com](mailto:abuzhassulan@gmail.com);

Taliyeva M.Kh., Master of Engineering Science, junior researcher of SRI for New Chemical Technologies and Materials, Almaty, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0002-2026-2273>, [taliyevamadina@gmail.com](mailto:taliyevamadina@gmail.com);

Kaldybayeva A.K., Master of Engineering Science, junior researcher of SRI for New Chemical Technologies and Materials, Almaty, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0002-6961-2633>, [kaldybayeva.assylai@gmail.com](mailto:kaldybayeva.assylai@gmail.com)