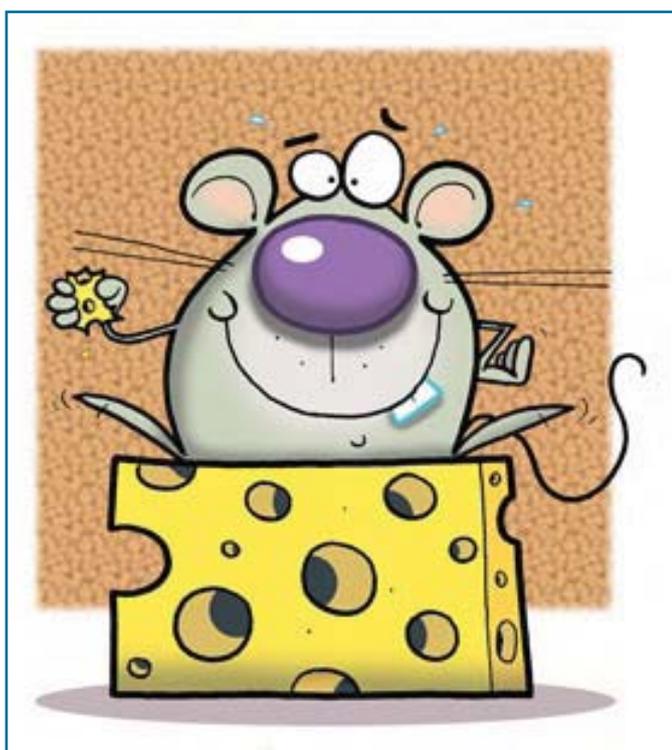


ЦЕОЛИТЫ (Zeolites)

«Чем больше дыр – тем лучше сыр».
Крылатое выражение



Как сделать материал пористым? Конечно, в нем можно просверлить или вырезать отверстия, но если их диаметр должен составлять менее 100 нм, приходится использовать специальные подходы, как это делается при получении нанопористых материалов или *мезопористых молекулярных сит*. Однако в некоторых структурах, к которым, в частности, относятся цеолиты, полости и поры появляются самопроизвольно в процессе их образования в природе или в пробирке химика – подобно тому, как образуются дырки в сыре.

В переводе с греческого «цеолит» означает «кипящий камень» – очень необычное сочета-

ние слов, не правда ли? Если Вы возьмете кусок цеолитного минерала и нагреете его, то заметите выделяющиеся пары воды, как будто твердое вещество закипает. Откуда же в нем берется вода? Ответ на этот вопрос кроется в специфической особенности тех самых пор цеолита – способности поглощать (адсорбировать) и удерживать молекулы различных веществ.

Цеолиты представляют собой алюмосиликаты – производные от диоксида кремния SiO_2 , в котором часть атомов кремния замещена на алюминий. При этом каждый атом Si и Al окружен четырьмя атомами кислорода, образуя тетраэдры, соединяющиеся друг с другом вершинами и формирующие упорядоченную структуру с полостями и каналами. Подобно картинке в калейдоскопе, в зависимости от способа соеди-

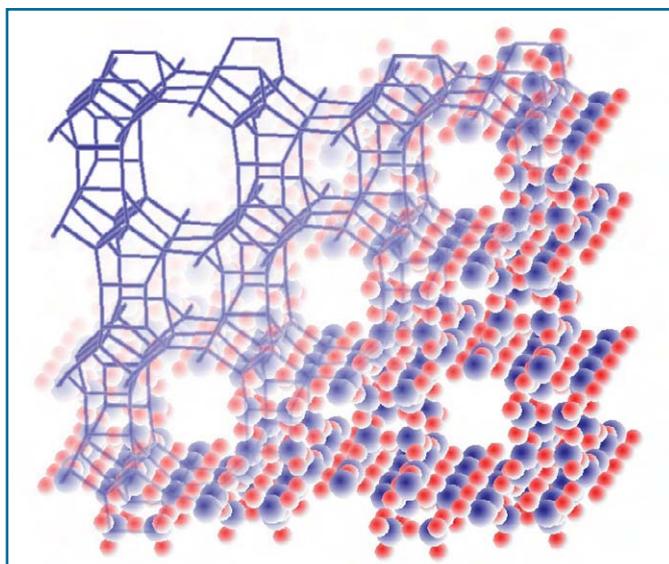


Рис. 1. Структура цеолита

нения тетраэдров возможно образование огромного количества разнообразных упорядоченных структур – на настоящий момент количество классифицированных цеолитов превышает полторы сотни. В целом алюмосиликатная матрица обладает высокой кристаллическостью. Поэтому все каналы цеолитов упорядочены и одинаковы по размерам (рис. 1), чего нельзя сказать о дырках в сыре. При этом каналы имеют крайне маленькие размеры (порядка одного нанометра), определяющиеся структурным типом цеолита. Поскольку замещение четырехвалентных атомов кремния на трехвалентные атомы алюминия создает в структуре избыточный отрицательный заряд, он должен компенсироваться положительно заряженными ионами – в целом-то кристалл нейтрален. И действительно, в полостях цеолита, располагаются катионы металлов в количестве, необходимом для компенсации заряда (рис. 2).

Поры занимают значительную часть от общего объема структуры, поэтому цеолиты активно используются в качестве адсорбентов, например для очистки жидкостей и газов. Однако широкое распространение «кипящие камни» получили вовсе не из-за адсорбционных свойств, а потому, что обладая чрезвычайно большой удельной поверхностью (вплоть до нескольких сотен квадратных метров на грамм минерала), оказались очень удобными для применения в катализе. Судите сами: все поры цеолита одинаковы, а это позволяет входить в них лишь частицам строго определенного размера, препятствуя попаданию в поры больших или разветвленных молекул. Таким образом, катализатор на основе цеолита способен избирательно (селективно) действовать на молекулы в смеси. Другой особенностью цеолитов является наличие в них так называемых каталитически активных центров, находящихся, по большей части, на внутренних

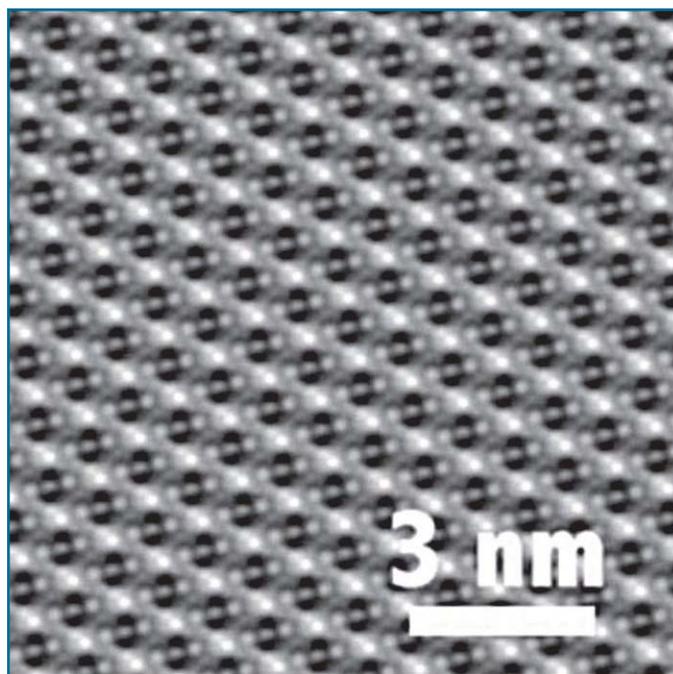


Рис. 2. Микрофотография цеолита NaY вдоль направления [110]

стенках пор и способных взаимодействовать с поглощаемыми молекулами, но только с теми, размеры которых позволили оказаться в порах. При этом количество и активность центров легко задаются изменением состава соединения и типа его структуры. Вы думаете, на этом достоинства цеолитов-катализаторов и ограничиваются? Оказывается, нет, поскольку в их порах, путем химической модификации собственных катионов или сорбированных молекул, можно синтезировать наночастицы, тем самым увеличивая каталитическую активность композита по сравнению с «пустой структурой».

Свойства и структуры цеолитов чрезвычайно разнообразны, поэтому они еще долго будут оставаться для исследователей непрочитанной книгой – кто знает, какие еще структурные типы будут открыты и какие уникальные применения цеолитов будут найдены в будущем.

Литература:

1. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. М.: Мир, 1976.
2. Adsorbents: Fundamentals and Applications, 7. Zeolites and Molecular Sieves / Edited by Ralph T. Yang, «John Wiley & Sons» Inc., 2003.