

# Лекція №4

**Цеоліти як адсорбенти та основа сучасних каталізаторів.**

**Структура, здатність до модифікування.**



**Цеоліти** (від грец.) zéο — киплю і  
líthos — камінь



# Первинні одиниці цеолітного каркасу

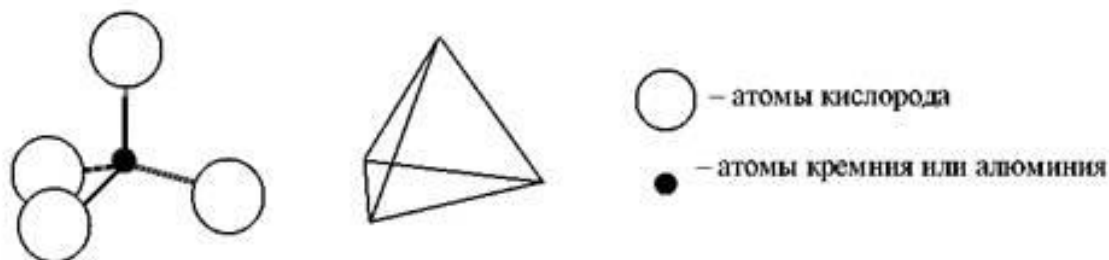


Рисунок 3.5 – Алюминиево- и кремниевокислородные тетраэдры

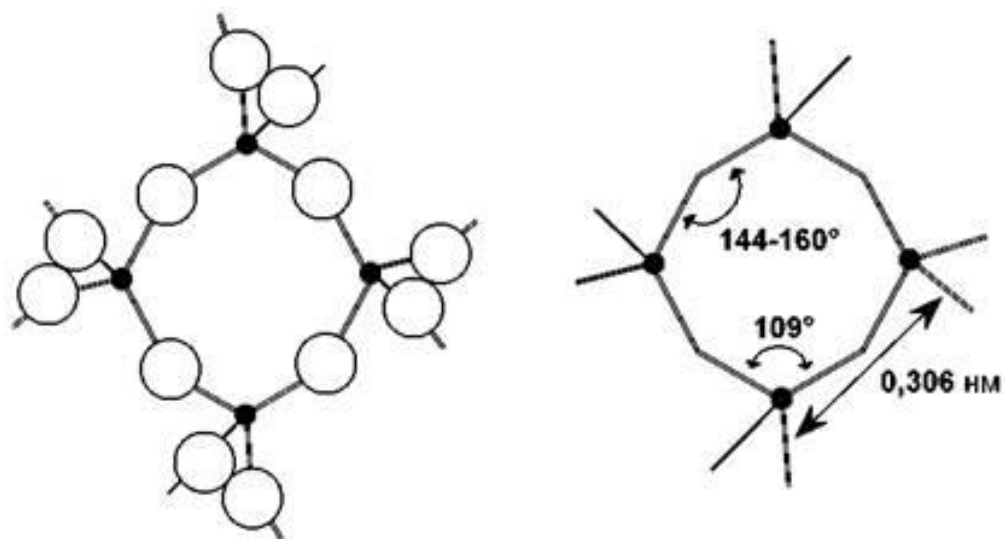
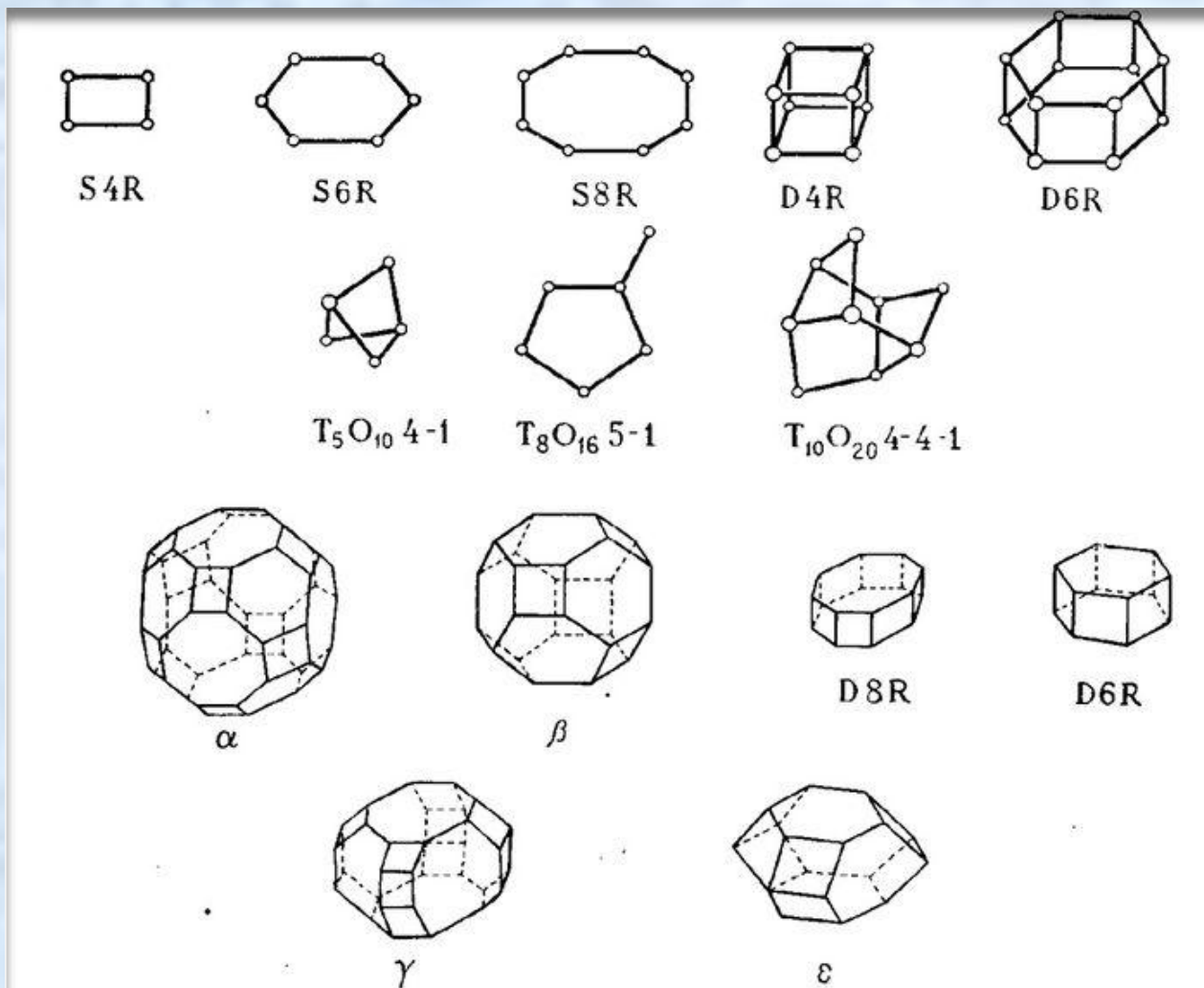
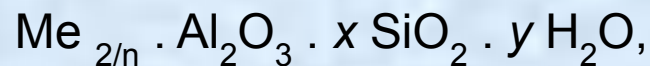


Рисунок 3.6 – Фрагмент кристаллической структуры цеолита

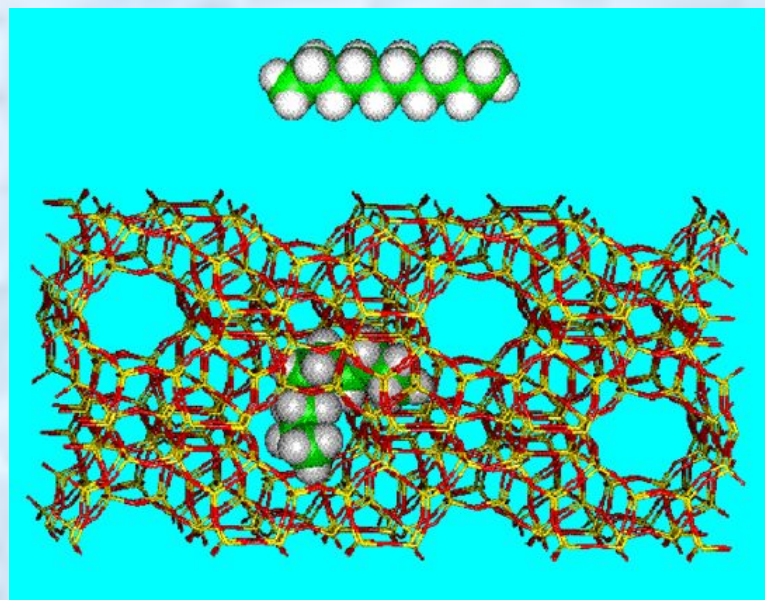
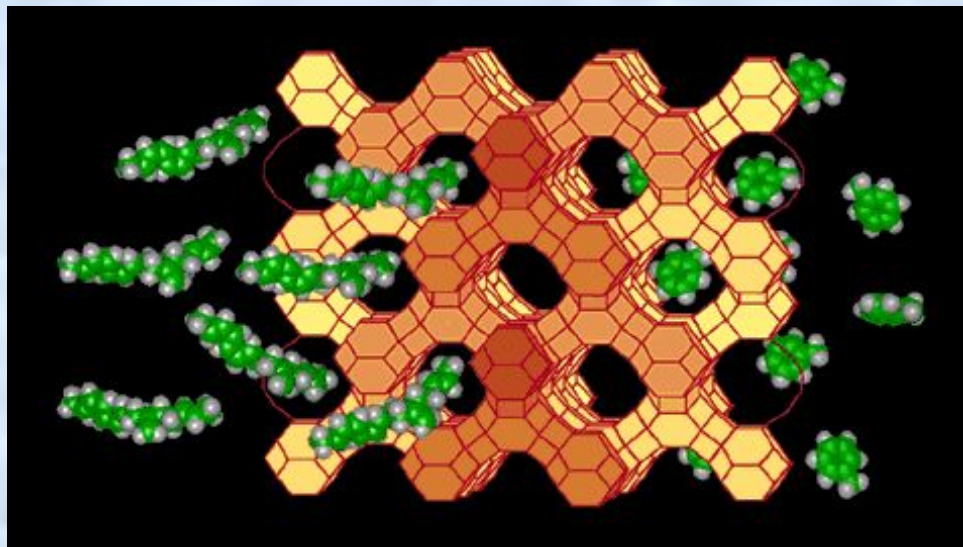
# Вторинні структурні одиниці цеолітів



**Цеоліти** - пористі алюмосилікати з різним співвідношенням  $\text{SiO}_2$  та  $\text{Al}_2\text{O}_3$  регулярної кристалічної структури з порожнинами молекулярних розмірів.



де  $x$  – як правило дорівнює чи більше 2, оскільки тетраедри алюмінію, з'єднуються тільки з тетраедрами кремнію;  $n$  – валентність.



# Цеоліти

```
graph TD; A[Цеоліти] --> B[Природні]; A --> C[Синтетичні]
```

Природні

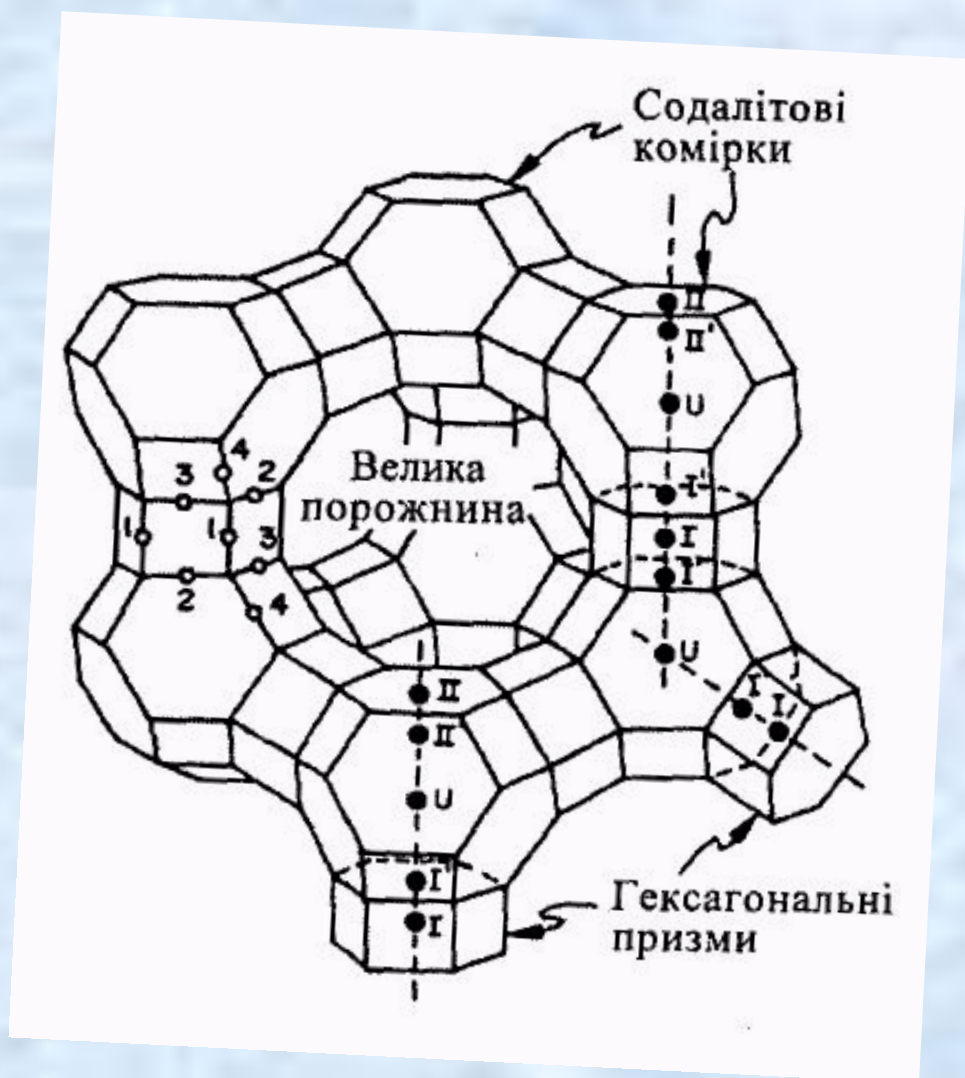
Синтетичні

- 1925 р. – стали відомими властивості цеолітів як молекулярних сит
- 1937 р. – в Англії Баррер Р.М. почав вивчення цеолітів
- 1950 рр. – синтез синтетичних цеолітів Р.М.Баррером

# Номенклатура цеолітів

- 1. За назвами природних аналогів**
  - фожазит, морденіт, еріоніт, шабазит
- 2. Латинськими буквами**
  - A, B, X, Y
- 3. Грецькими буквами**
  - $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\omega$
- 4. Аббревіатури**
  - ZSM-5, ZK-4, EU-1, FU-1, ITQ-1
- 5. Трибуквенний код**
  - FAU, MOR, MFI

# Кристалічна структура цеоліту типу Y

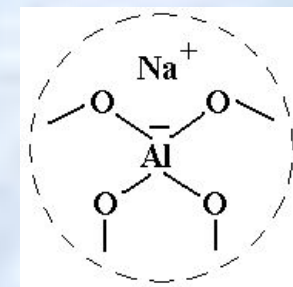
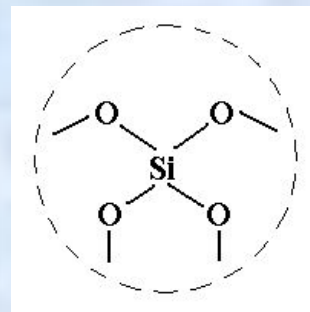


Природний фожазит

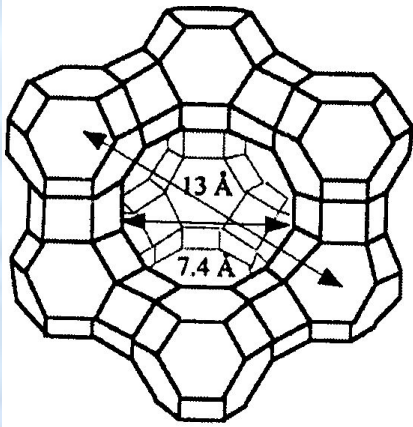


# Базові характеристики цеолітів

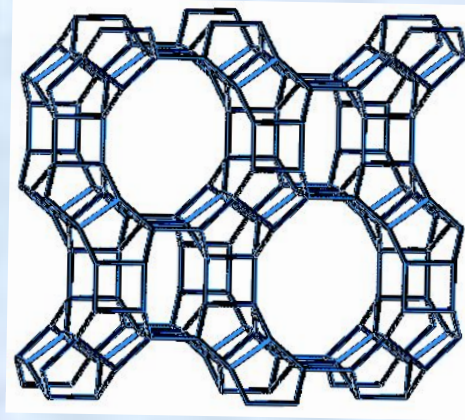
Тип цеоліту	A	X	Y	M (морденіт)	ЦВК, ЦВМ, ZSM-5 (висококремнеземні)
Характеристика					
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ( <i>m</i> )	2	2,1-3,5	4-6	10	>30
Діаметр вхідного вікна, Å	3-5	8	8	7	5,6
Відносна сила кислотності декатіонованих форм					
					HX < HY < HM < HZSM-5



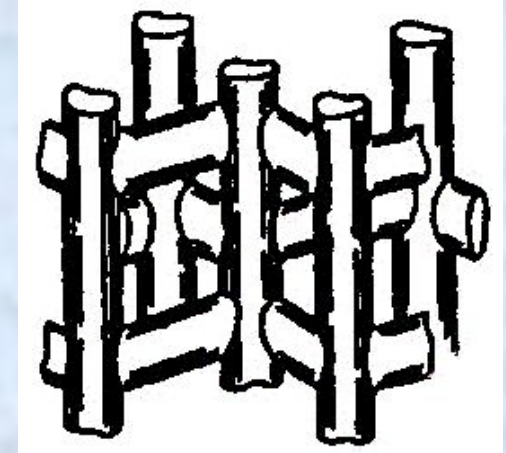
Схематична передача пористих структур поширених цеолітів з різними входними вікнами: широкими - фожазит (FAU), морденіт (MOR); середніми - пентасил ZSM-5 (MFI); вузькими - цеоліт типу А (LTA)



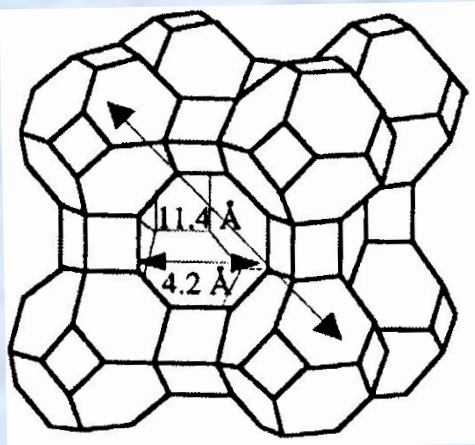
FAU (X, Y)



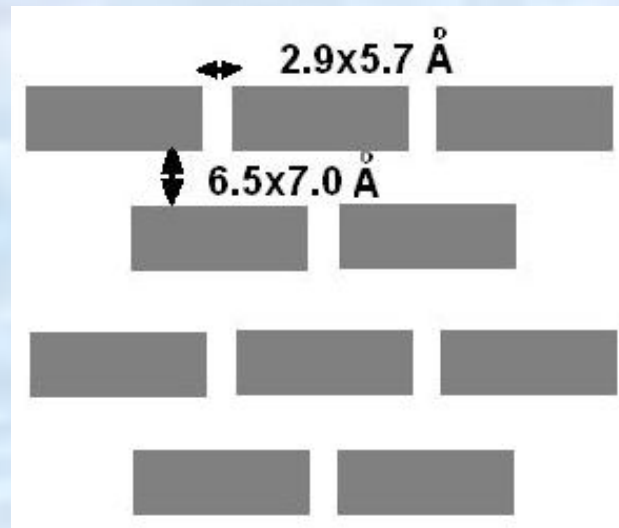
MOR



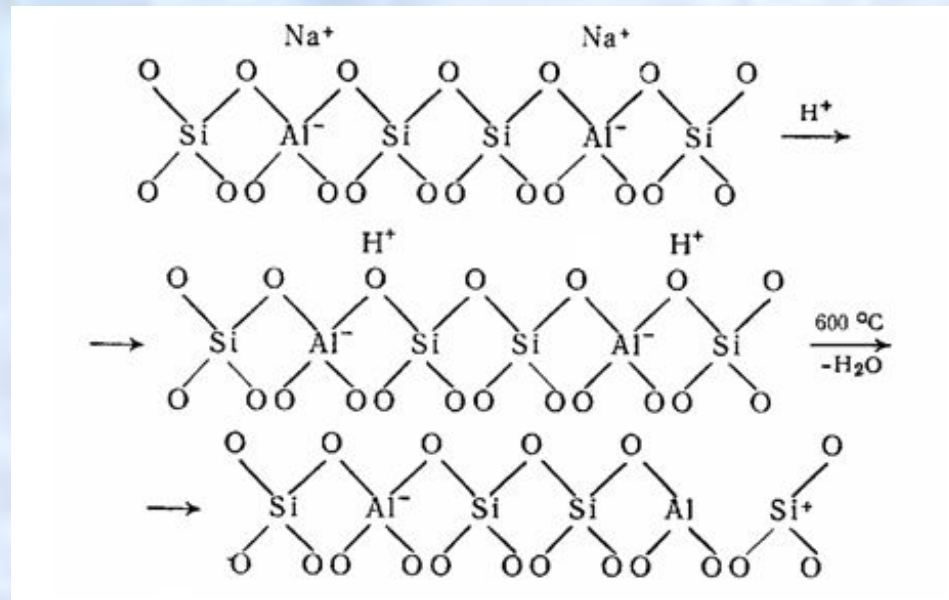
MFI 10



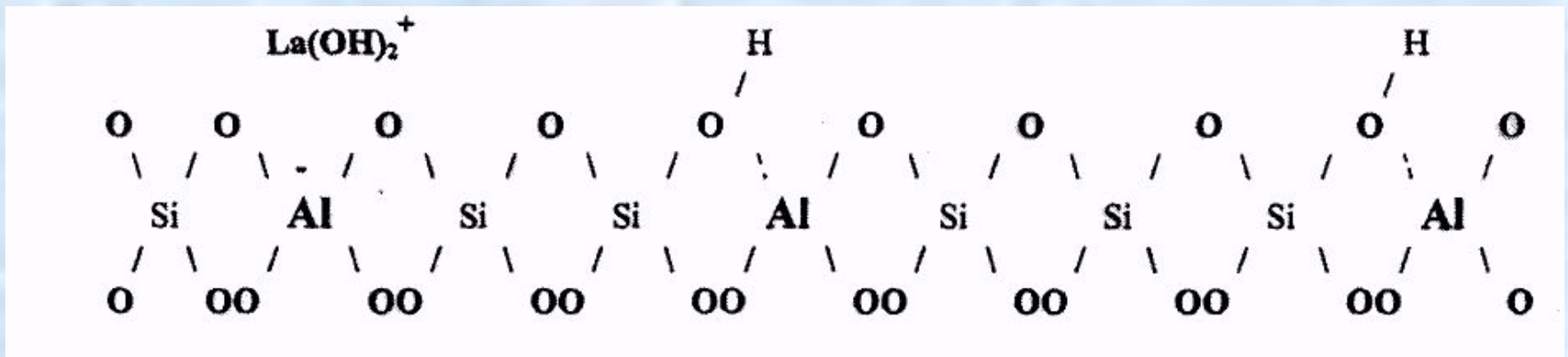
LTA (A)

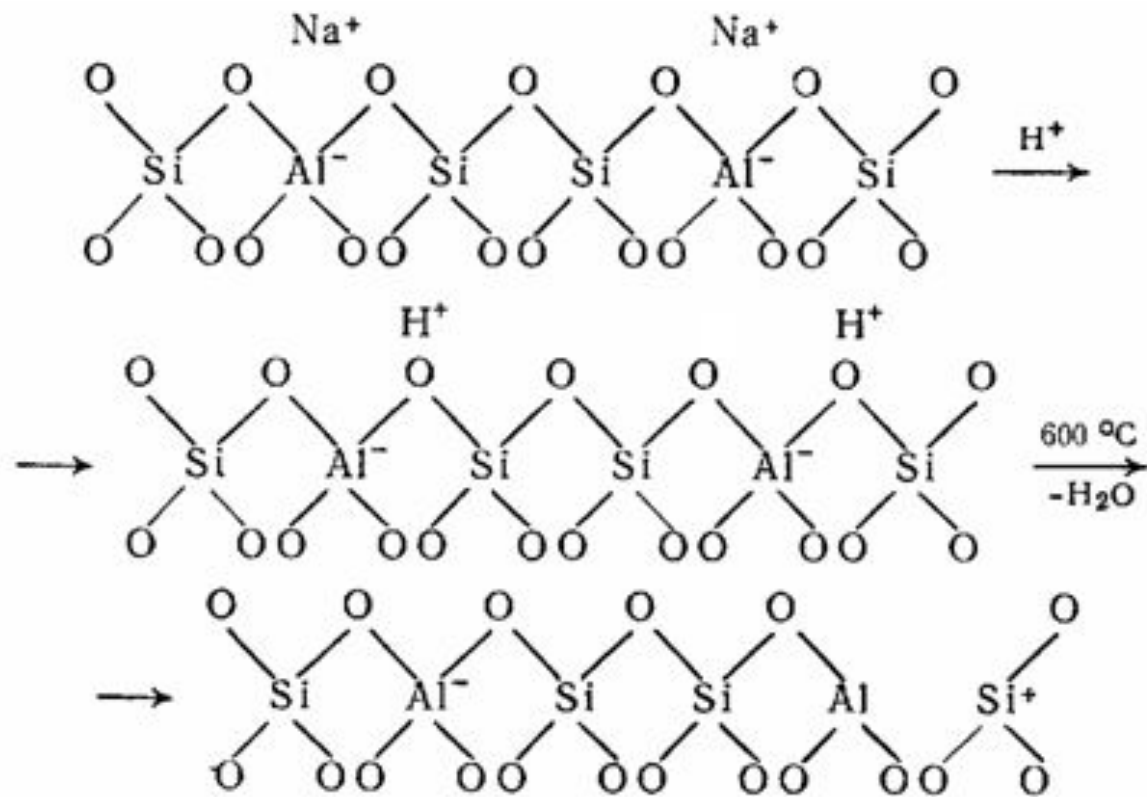


# Декатіонування цеоліту



# Лантан-декатионований цеоліт Y





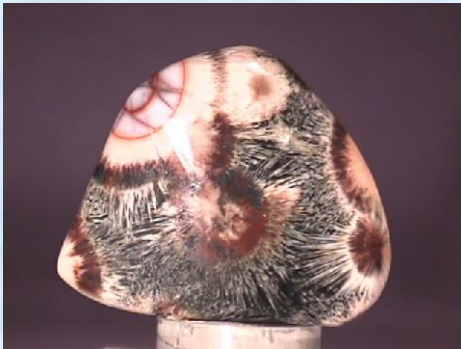
## Деякі приклади природних цеолітів

Цеоліт	Алюмосилікатний модуль $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ( $m$ )	Розмір пор, Å	Пористо-канална структура
Анальцим	4 (3,6÷5,6)	2,6	Одновимірна
Філіпсит	4,4 (2,6÷4,4)	4,2x4,4 2,8x4,8	Тривимірна
Жисмондин	2 (2,24÷2,98)	3,1x4,4	Тривимірна
Югавараліт	6	3,6x2,8	Двовимірна
Еріоніт	6 (5,8÷7,4)	3,6x5,2	Тривимірна
Омега	7 (5,0÷12)	7,5	Одновимірна
Гідросодаліт	2	2,2	Тривимірна
Шабазит	4 (3,2÷6,0)	3,7x4,2	Тривимірна
Гмелініт	4 (3,8÷4,92)	3,6x3,9 7,0	Тривимірна
Натроліт	3 (2,88÷3,16)	2,6x3,9	Двовимірна
Едингтоніт	3	3,5x3,9	Двовимірна
Фер'єрит	11	4,3x5,5 3,4x4,8	Двовимірна
Епістильбіт	6 (5,16÷6,04)	3,2x5,3 3,7x4,4	Двовимірна
Гейландит	7 (4,94÷7,46)	4,0x5,5 4,0x7,2	Двовимірна

# Природні цеоліти



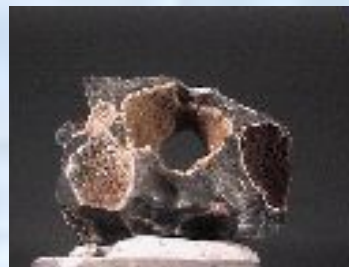
Томсоніт



Томсоніт  
(полірований)



Натроліт



Еріоніт



Полюсіт  
(природний і оброблений)



Гмелініт



Шабазит



Стелеріт

**Цеоліти** (від грец.) zéο — киплю і  
líthos — камінь



# Механізм очищення цеолітом крові в шлунково-кишковому тракті





# ЦЕОЛИТ в Казахстане



## СОСТАВ ЦЕОЛИТА

- ГУМИНОВАЯ КИСЛОТА
- ЦЕОЛИТ
- БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ
- КИСЛОРОД
- ВИТАМИНЫ
- МИНЕРАЛЫ
- АМИНОКИСЛОТЫ

## "Цеолит природный" концентрат минеральной кормовой

**Минеральная добавка для животных и птиц**



- ⚡ Укрепляет иммунную систему, нормализует обмен веществ.
- ⚡ Используется в качестве энтеросорбента, улучшающего и нормализующего деятельность желудочно-кишечного тракта.
- ⚡ Способствует появлению и сохранности здорового потомства.
- ⚡ Обеспечивает естественный блеск шерсти, здоровый рост, силу, восстановление защитных способностей организма




*Подходит для всех видов животных и птиц*



# Синтетичні цеоліти



# Класифікація цеолітів за термічною стабільністю

- *Малостійкі* – не витримують температури вище 125-250 °С;
- *Середньої стійкості* – руйнуються при 300-600 °С;
- *Високотемпературно стійкі* – витримують 600-800 °С.

## Адсорбційні характеристики цеолітвмісної мікросфери (1), катализаторів на її основі (1к й 1'к), NaY-Росія (4), NaY-Linde (5), Engelhard (6), Grace/Davison (7), Уфа (8)

№ пп	Характеристика и ее размерность	Образец							
		1	1к	1'к	4	5	6	7	8
1	Поверхность по БЭТ, м <sup>2</sup> /г	498.7	308.5	344.5	704	879	162.3	55.3	407.3
2	Поверхность по Ленгмюру, м <sup>2</sup> /г	620.3	386.3	431.6	874	-	202.2	69.0	512.4
3	Удельная поверхность (ВН) пор в диапазоне диаметров 1.7-300 нм по адсорбции, м <sup>2</sup> /г	176.5	204	204.9	32	-	47.8	18	357.7
4	Удельная поверхность (ВН) пор в диапазоне диаметров 1.7-300 нм по десорбции, м <sup>2</sup> /г	195.9	230	227.2	41	36	55.1	23	419.1
5	Поверхность микропор, м <sup>2</sup> /г	359.1	143.6	158.1	650	843	117.8	37.6	97.2
6	Удельный объем (ВН) пор в диапазоне диаметров 1.7-300 нм по адсорбции, см <sup>3</sup> /г	0.322	0.366	0.339	0.033	0.028	0.079	0.050	0.42
7	Удельный объем (ВН) пор в диапазоне диаметров 1.7-300 нм по десорбции, см <sup>3</sup> /г	0.339	0.385	0.361	0.038	-	0.086	0.056	0.45
8	Объем микропор, см <sup>3</sup> /г	0.158	0.063	0.070	0.286	0.327	0.051	0.017	0.042
9	Средний диаметр пор (4V/A) по Ленгмюру, Å	29	41	35	15	-	24	34	42
10	Средний диаметр пор (4V/A) по адсорбции (ВН), Å	73	72	66	42	-	66	110	47
11	Средний диаметр пор (4V/A) по десорбции (ВН), Å	69	68	64	38	-	63	97	43

# Ізотерми низькотемпературної адсорбції азоту для зразків ЦВМС (1-3), NaY-Росія (4), NaY-Linde (5), Engelhard (6)

