

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦЕОЛИТОВ РОССИИ:
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ, УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И
ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ

БЕЛОУСОВ П.Е.,
КАРЕЛИНА Н.Д.

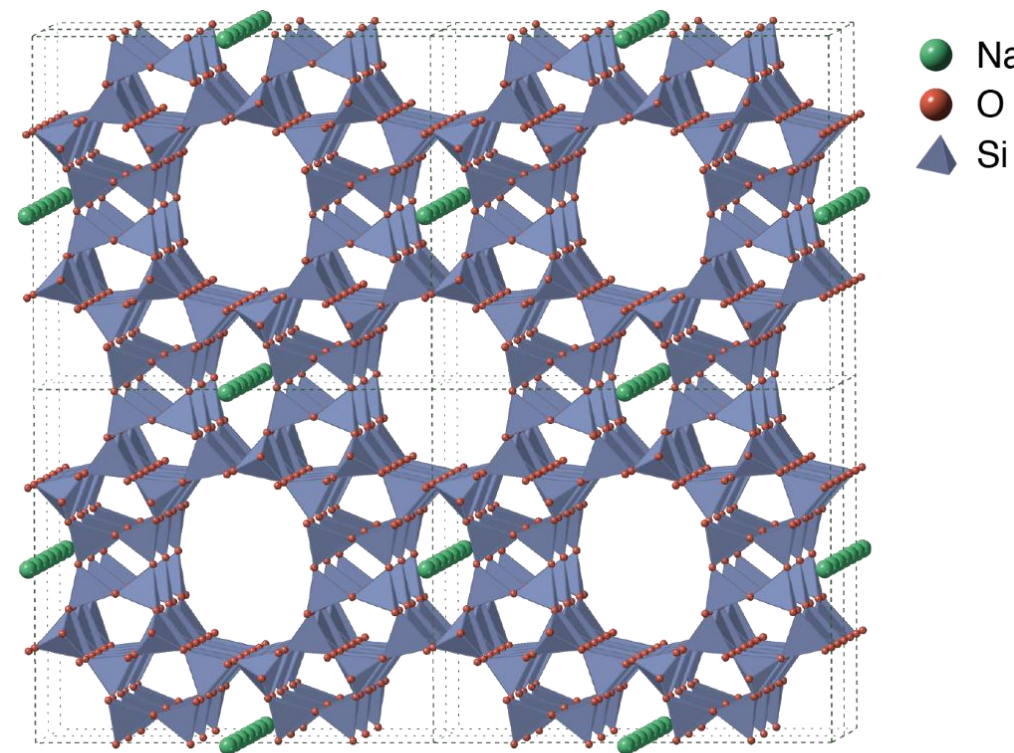
ФГБУ «ВИМС»



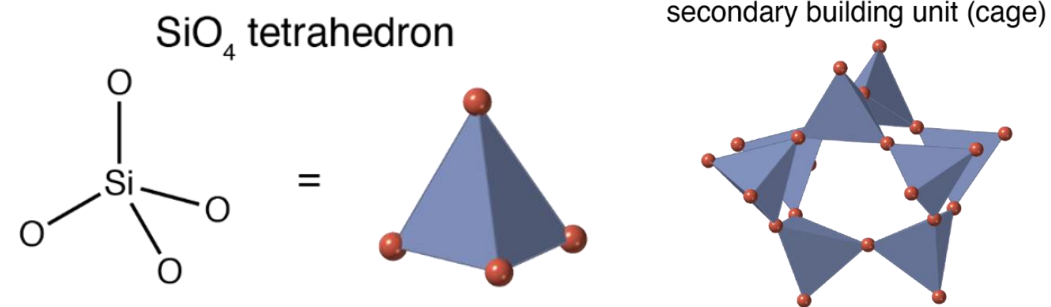
Цеолиты (молекулярные сита) - водные алюмосиликаты, построенные в основном из четырех-, пяти- и шестичленных или более сложных колец, образованных кремнекислородными тетраэдрами.

Особенности:

- Высокая емкость катионного обмена – 200-300 мг*экв/100гр
- Высокое водопоглощение – 50-100% от собственного веса
- Наличие нано каналов - 2.6 - 6.7 Å
- Высокое содержание кремнезема
- Устойчивость к температуре и кислотам



Mordenite (MOR framework)





ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

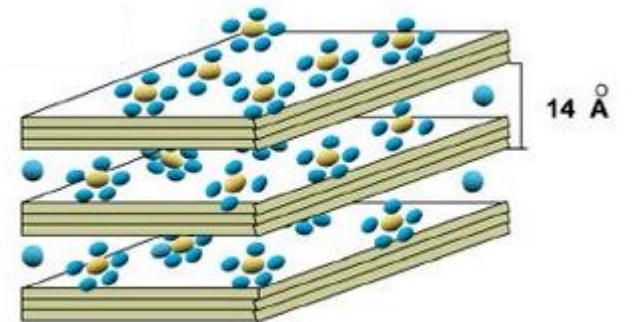
Минерал	Формула	Структурная группа	Пределы изменения отношения Si/Al	Второстепенные примесные катионы	Размеры входных окон, нм	Объем пустот, %	Удельный вес, г/см ³	Способность к ионному обмену, миллиэквивалент на 1 г	Устойчивость при дегидратации, нагреве, °С	Относительная кислотостойкость*	Распространенность в осадочных и вулканогенно-осадочных комплексах**
Клиноптилолит	$\text{Na}_6(\text{AlO}_2)_6(\text{SiO}_2)_{30} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	$\text{T}_{10}\text{O}_{20}$	4,25–5,25	Ca, K, Mg	0,41×0,62 0,27×0,57	34	2,16	2,54	до 700	В	З
Морденит	$\text{Na}_{18}(\text{AlO}_2)_8(\text{SiO}_2)_{40} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	T_8O_{16}	4,17–5,0	Ca, K, Mg	0,67×0,7 0,29×0,57	28	2,12–2,15	2,29	до 800	В	З
Эрионит	$(\text{Mg}, \text{Ca}, \text{Na}_2, \text{K}_2)_{4,5} \cdot (\text{AlO}_2)_9(\text{SiO}_2)_{27} \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	S_6R	2,9–3,7	Mg, NH ₄	0,36×0,52	35	2,02–2,08	3,12	стабилен	С	Мз
Шабазит	$\text{Ca}_2(\text{AlO}_2)_4(\text{SiO}_2)_8 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$	D_6R	3,2–3,8	Mg, Sr, Ba	0,37×0,42	47	2,05–2,10	3,81	стабилен	С	Мз
Анальцим	$\text{Na}_{16}(\text{AlO}_2)_{16}(\text{SiO}_2)_{32} \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	S_4R	1,8–2,8	K, H	0,26	18	2,24–2,29	4,54	до 700	Н	З
Филлипсит	$(\text{K}, \text{Na})_{10}(\text{AlO}_2)_{10}(\text{SiO}_2)_{22} \cdot 20\text{H}_2\text{O}$	S_4R	1,3–2,2	Ca, Ba, Sr, Mg	0,42×0,44	31	2,15–2,20	3,87	до 200–250	Н	З

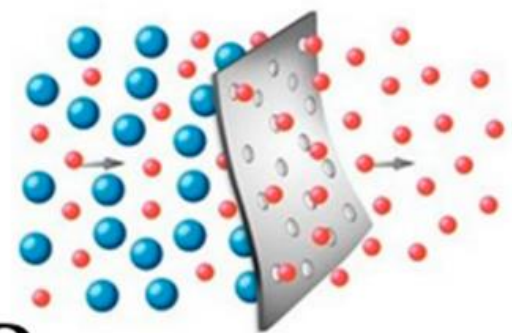
* Н — низкая (разлагаются в разбавленных кислотах); С — средняя (разлагаются в сильных кислотах); В — высокая (разлагаются в концентрированных кислотах); ** З — значительная; Мз — менее значительная.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

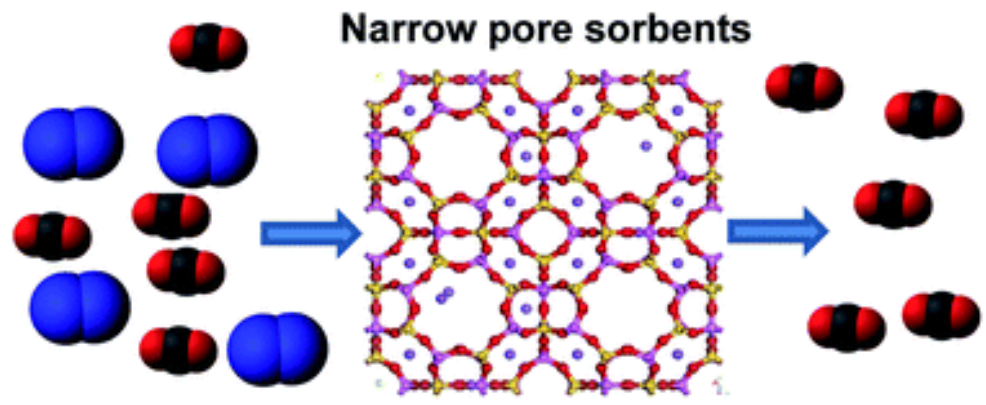


- **Нефтехимия:** очистка и разделение газов, катализаторы
- **Сорбенты:** очистка промышленных и природных вод
- **Строительство:** наполнители бетонов, пеностекло
- **Сельское хозяйство:** конденсаторы и мелиораторы почвы, удобрения
- **Животноводство:** НКТ, кормовые добавки
- **Пищевая промышленность:** очистка напитков, детокс-комплексы
- **Медицина:** “Drug delivery systems”, детокс комплексы, аналоги активированного угля.

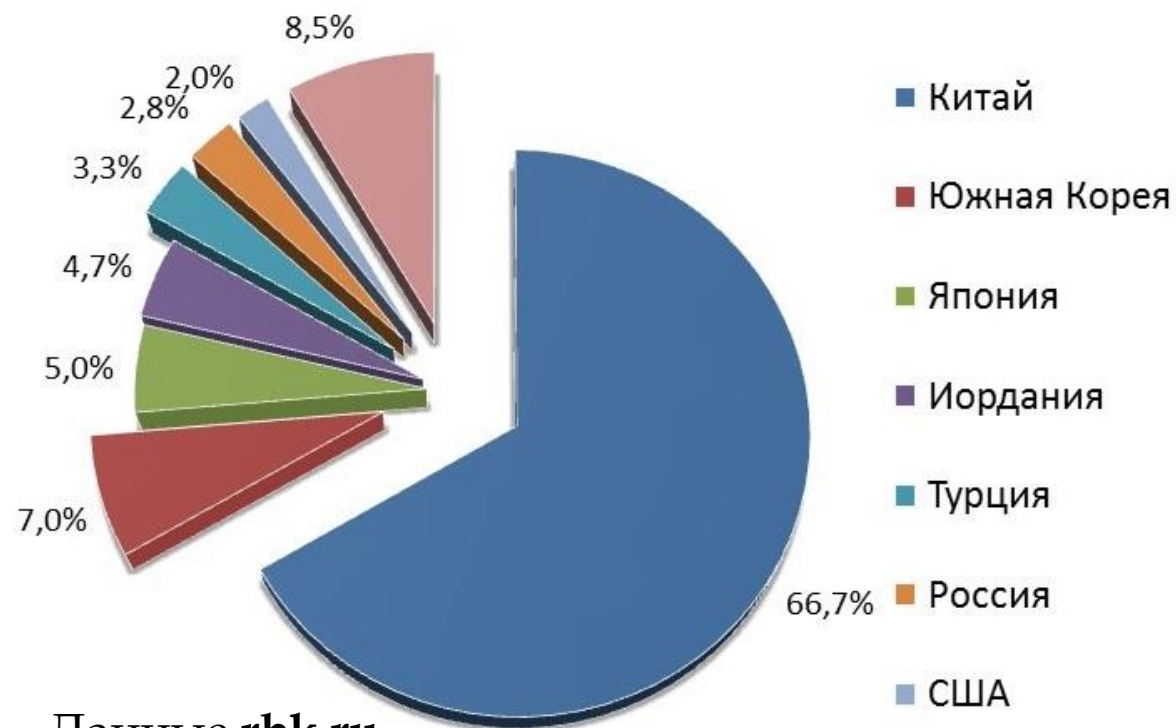




Разделение
газов



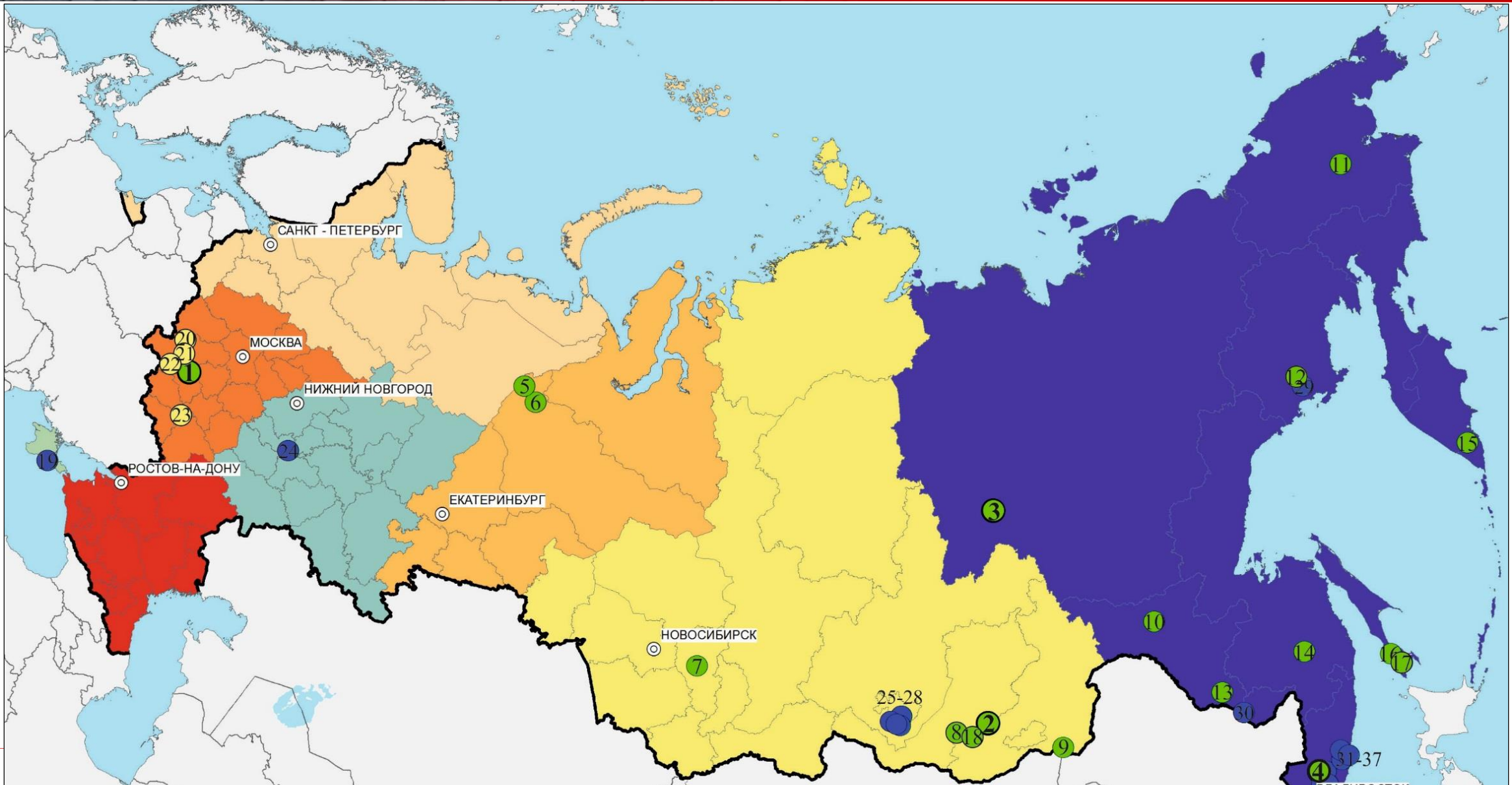
Структура мирового производства природного цеолита в 2018 г., % от общего объема



Данные rbk.ru



МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА РФ



Карта минерально-сырьевой базы цеолитов РФ по состоянию на 01.2022



МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА РФ

№	Месторождение	Географическое положение	Возраст	Геотектоническая позиция	Содержание ПИ, %	A+B+C1, тыс. т
1	Хотынецкое	Орловская обл.	K ₂	Воронежская антеклиза	40,0-65,0	6995,6
2	Холинское	Забайкальский край	J ₂	Саяно-Байкальская складчатая область	62,1	129623,9
3	Хонгуруу	Республика Саха (Якутия)	J ₂	Вилуйская синеклиза	80	11302
4	Чугуевское	Приморский край	P	Сихоте-Алиньская складчатая область	60,0-80,0	20679
5	Мысовское	ХМАО	S ₃	Уральская складчатая область	98,5	27,6
6	Люльинское	ХМАО	S ₂	Уральская складчатая область	70	7
7	Пегасское	Кемеровская обл	T	Бунгарапская синклиналь Кузнецкого межгорного прогиба	50	5917
8	Мухор-Талинское	Бурятия	J	-	-	685
9	Шивыртуйское	Забайкальский край	J ₃ -K ₁	Монголо-Забойкальская складчатая область	50	348186
10	Вангинское	Амурская облатсь	K ₂ , Pt	Урало-Охотская складчатая область	51	902
11	Пастбищное	Чукотский АО	K ₂	Карякско-Камчатская складчатая область	40,0-90,0	6507
12	Флора	Магаданская обл	K ₂	Охотско-Чаунская складчатая область	40	12931
13	Куликовское	Амурская облатсь	K ₂ , Pt	Урало-Охотская складчатая область	37	14176
14	Середочное	Хабаровский край	P ₂₋₃	Сихоте-Алинская складчатая область	37,6-62,9	20545
15	Ягоднинское	Камчатский край	N ₂	Средино-Камчатская вулcano-тектоническая дуга	60	7290,7
16	Чеховское	Сахалинская область	P ₃ -N ₁	Западно-Сахалинский синклинорий	59	1 905
17	Лютогское	Сахалинская область	P ₃ -N ₁	Восточный борт Лютогской синклинали	56,0-59,0	6530
18	Бадинское	Забайкальский край	J ₂	Саяно-Байкальская складчатая область	-	C2 - 0840,0



МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА РФ

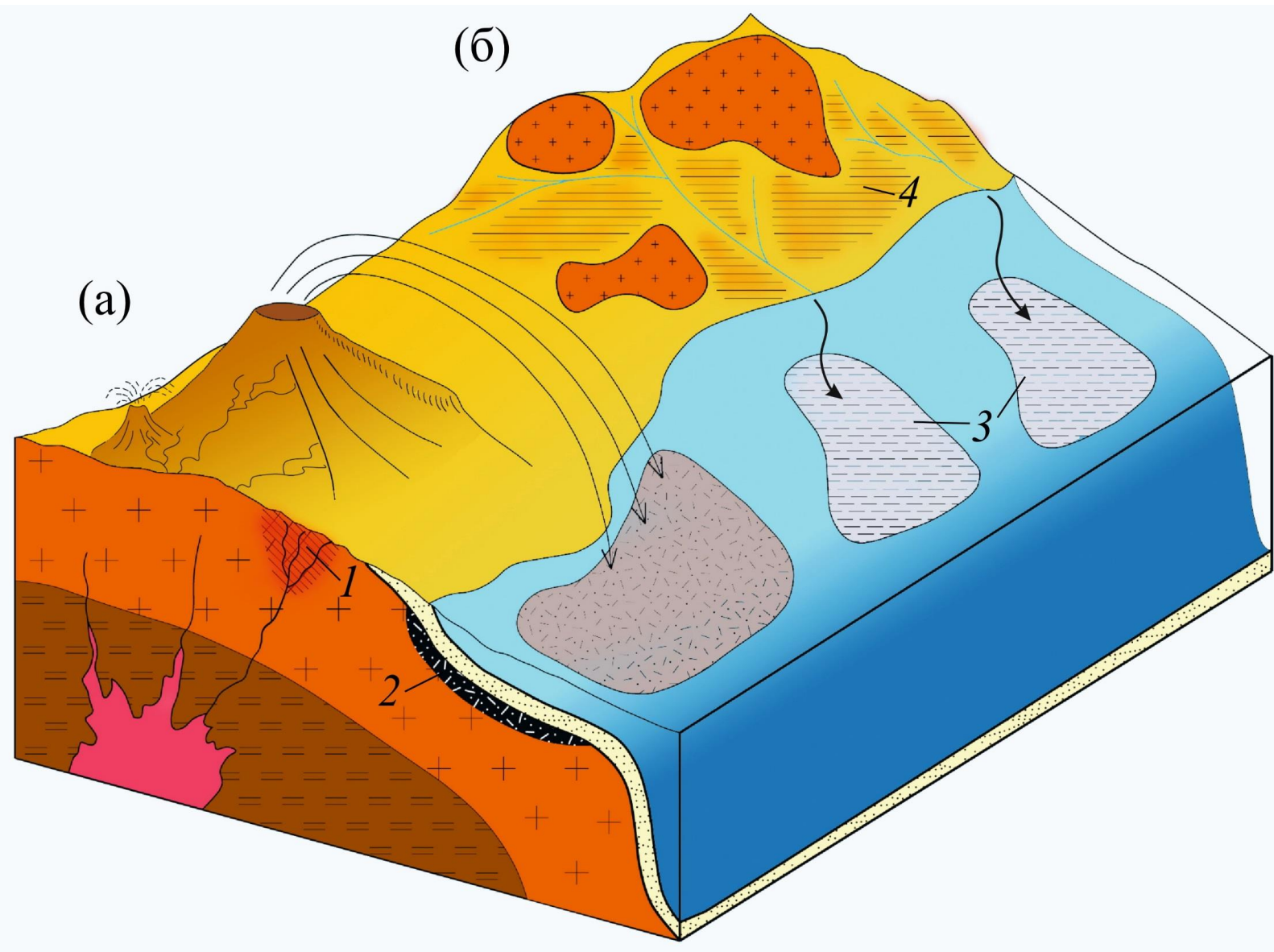
№	Месторождение	Географическое положение	№	Месторождение	Географическое положение
19	Карадагское	Республика Крым	29	Рудопроявление Слон	Магаданская область
20	Гришина Слобода	Брянская область	30	Радденское	Хабаровский край
21	Фокинское	Брянская область	31	Хурчан	Магаданская область
22	Погребское	Брянская область	32	Уч. Суворовский	Приморский край
23	Кривой Лог	Воронежская область	33	Уч. Богопольский	Приморский край
24	Татарско-Шатрашанское	Татарстан	34	Уч. Колобенковский	Приморский край
25	Кудинское проявление	Иркутская область	35	Уч. Сергеевский	Приморский край
26	Ушаковское проявление	Иркутская область	36	Уч. Слинкино	Приморский край
27	Малоеланское	Иркутская область	37	Уч. Овсянниковский	Приморский край
28	Оёкское	Иркутская область	38	Новгородское	Приморский край



МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА РФ

- По состоянию на 01.01.2019 Государственным балансом запасов полезных ископаемых по Российской Федерации учитываются **18 месторождений цеолитов**.
- **Суммарные балансовые** запасы цеолитовых пород составляют: **кат. А+В+С1 – 594** млн т, **кат. С2 – 799** млн т.
- На данный момент **разрабатываются 4 месторождения** – Хотынецкое (орловская обл.), Хонгуруу (респ. Саха (Якутия)), Шивыртуйское и Холинское (Забайкальский край).
- Наибольшее количество запасов цеолитов в Российской Федерации сосредоточено **в Дальневосточном федеральном округе – 97,82 %**.
- **Суммарная добыча цеолитов составила 49 тыс. т.**

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЦЕОЛИТА



**Активная континентальная
окраина:**

- 1 – гидротермальные,
- 2 – вулканогенно-осадочные

**Пассивная континентальная
окраина:**

- 3 – осадочно-диагенетические



УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЦЕОЛИТА

Генетические типы	Вулканогенно-осадочный, гидротермальный, осадочный
Геотектоническая обстановка	Вулканогенно-осадочный, гидротермальный: окраинно-континентальные орогены и рифтогенные структуры в период активного вулканизма и гидротермальных процессов; осадочный: платформенные отложения со спокойной гидродинамической обстановкой.
Палео- географические обстановки	Вулканогенно-осадочный: условия морских и озерных бассейнов, лагуны и заливы со стоячей водой; гидротермальный: вулканические пояса; осадочный: морские и озерные бассейны платформенного типа.
Возраст	T, J2-3, K, Pg, Ng
Материнская порода	От кислых до основных пород, терригенный материал, биогенный кремнезем, смектит
Количество месторождений поставленных на баланс - 18	
Балансовые запасы кат. ABC1, млн т - 594	



УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЦЕОЛИТА

Эпоха/ Эра	Эра	Система/Период			
		Ц	И	Название	П
570	65		Q	Четвертичная/ Четвертичный	1,6
	Кайнозойская	KZ	N	Неогеновая/ Неогеновый	22,8
			P	Палеогеновая/ Палеогеновый	40,4
			K	Меловая/ Меловой	79,0
	Мезозойская	MZ	J	Юрская/ Юрский	69,0
			T	Триасовая/ Триасовый	35,0
			P	Пермская/ Пермский	38,0
	Фанерозойская	PZ	C	Каменно угольная/ Каменно- угольный	74,0

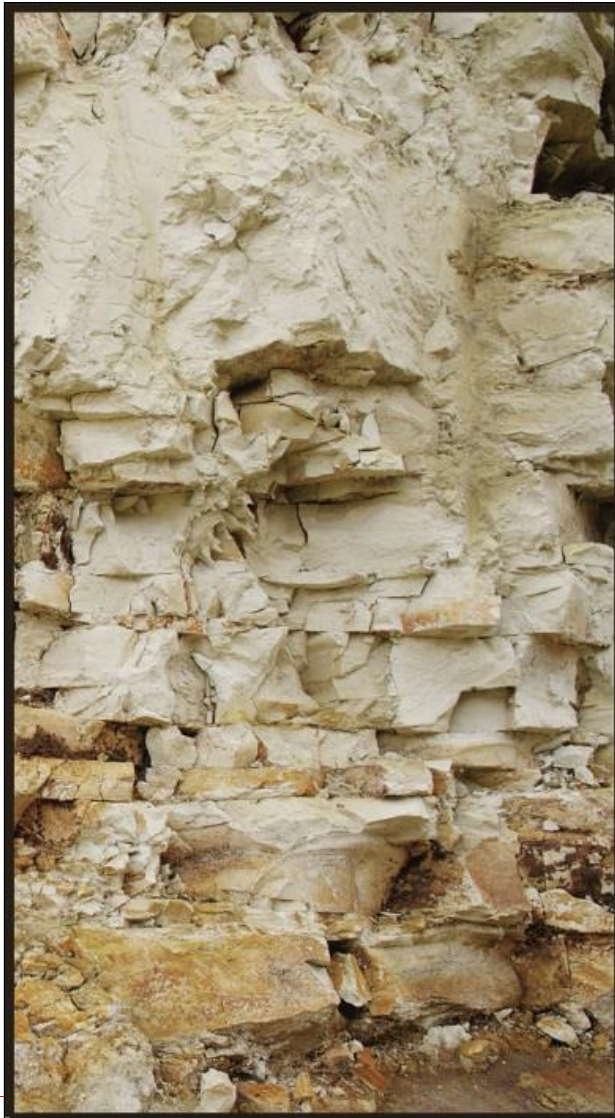
ХОТЫНЕЦКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Хотынецкое месторождение цеолит-содержащего трепела (Орловская обл.)



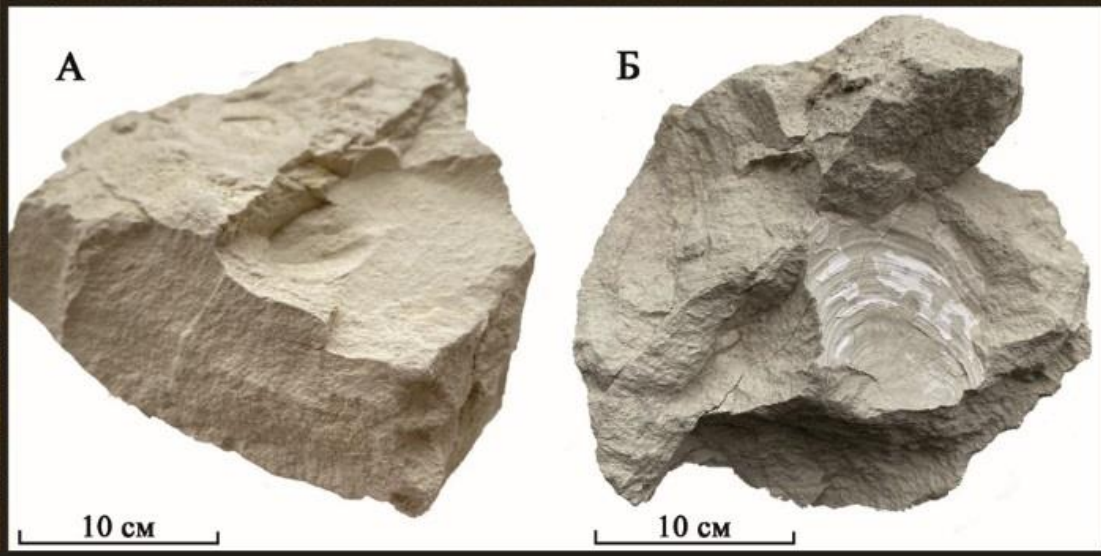


ХОТЫНЕЦКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

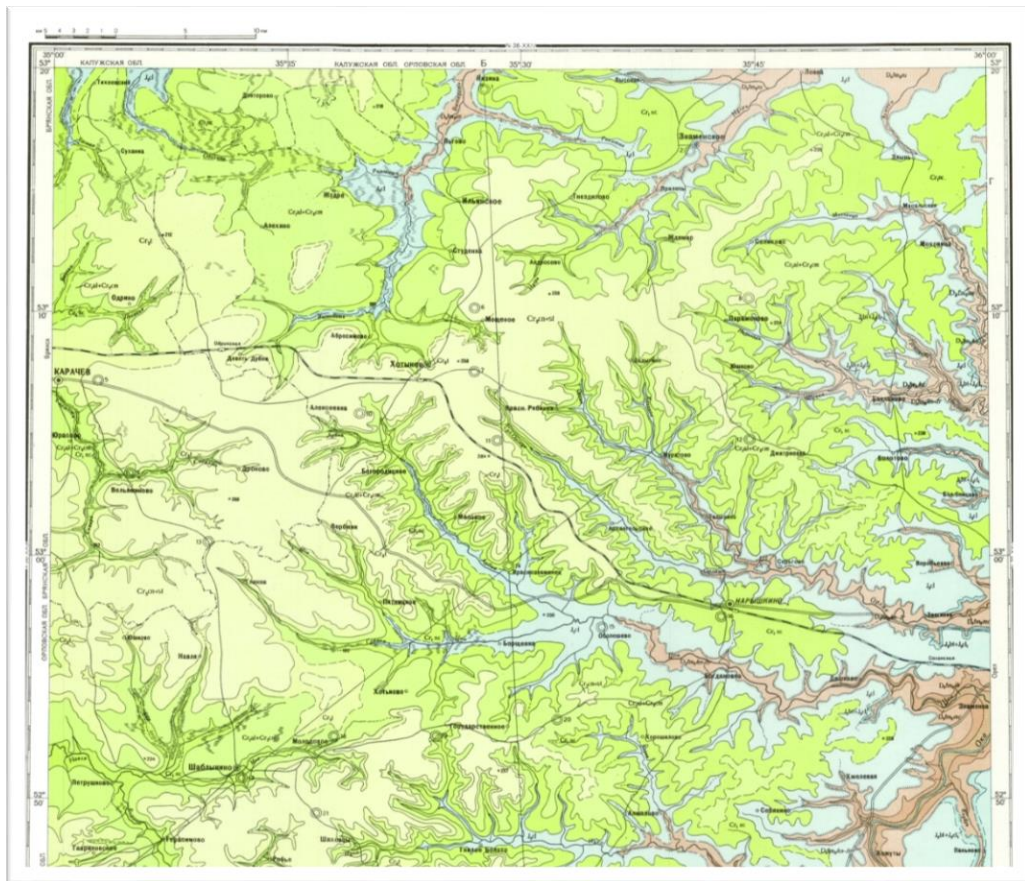


Запасы кат А+В+С1 – 7.3 млн т.

Добыча за 2018г – 40 тыс.т.



ХОТЫНЕЦКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ



Фрагмент геологической карты Листа N-36-XXX (Нарышкино). (И.С. Бухтояров, С.Я. Гоффеншефер, ВСЕГЕИ, 1957 г.).

Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Стратиграфическая колонка	Индекс	Мощность, м	Литологическое описание
меловая	верхний	коньякский			K ₁ k-st	0-32	Трепелы глинистые с прослоями опок, в подошве известковые
		туронский			K ₂ t	0-13	Мел песчаный в основании песчанистый
	нижний	альбский			K ₁ al+s	6-12	Пески галуконитовые с конкрециями и слоями фосфоритов
		сеноманский					Пески глауконито-кварцевые в основании галька
юрская	средний	валанжиский			K ₂ v-br	до 17	Пески кварцево-глауконитовые, глины, в основании с галькой фосфоритов
		берриасский			J ₂ k	до 39	Глина с конкрециями сидерита



Цеолит - 10-30%
(клиноптилолит)

- Прочность
- Сорбционные свойства



Смектит - 10-30%
(монтмориллонит)

- Связующая способность
- Сорбционные свойства
- Термоустойчивость



Аморфный SiO2 - 10-30%

- Высокая пористость
- Сорбционные свойства
- Источник легкорастворимого кремнезема

Отличительной чертой породы является то, что она состоит из **трех минералов** с различными свойствами.

Полезным компонентом считается сумма минералов группы цеолита, смектита и аморфного SiO₂. Их содержание в породе достигает 90%.

Вредной примесью является кальцит. По его содержанию выделяют верхнюю (менее 5%), среднюю (более 5%)* и нижнюю (более 5%)** пачки

*Содержание карбонатов варьирует от 5 до 15%, однако содержание ПК остается высоким, порядка 70-90%

*Содержание карбонатов может достигать 30%, содержание ПК от 45%

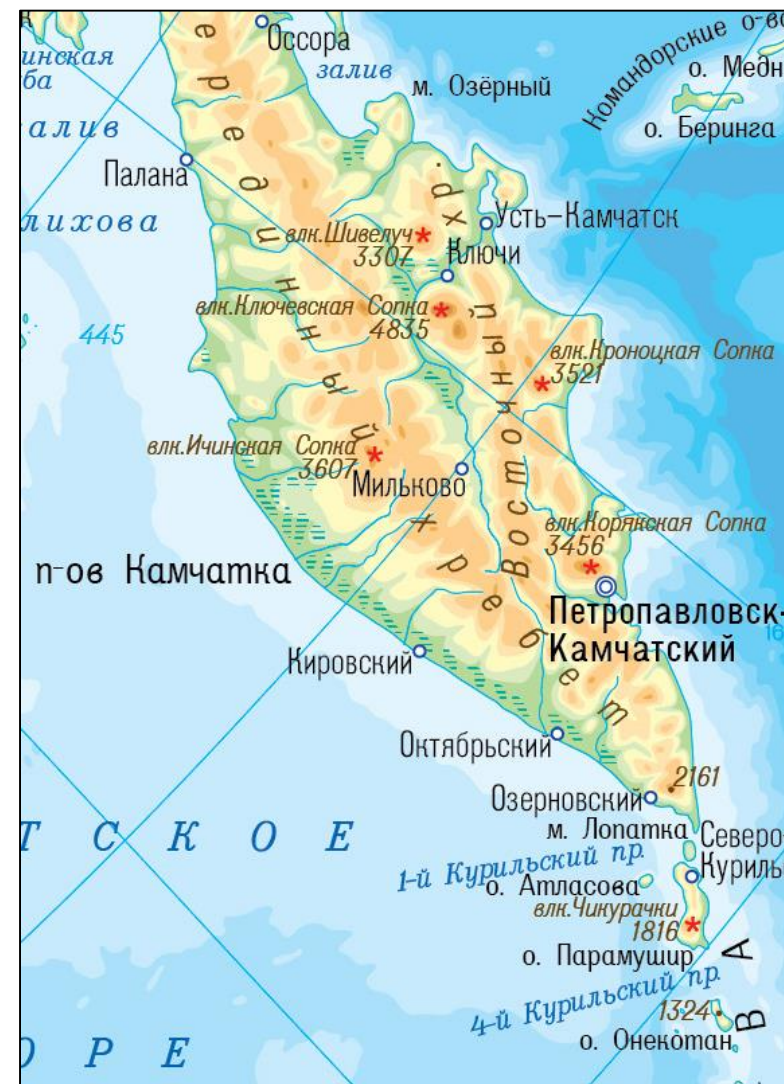


ХОТЫНЕЦКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Продуктивная толща	Образец	Кварц	Тридимит	Кристобалит	Анагаз	Микроклин	Иллит	Кальцит	КЛИНОПТИЛОЛИТ	Смектит	Аморф SiO ₂	Сумма полезных компонентов
Средняя	1-1	8,4	1	1,2	0,7	4	6,1	0,4	28	22,4	27,8	80,4
	1-2	9,9	1,5	1,1	0,6	6,5	3,3	0	26	19,3	31,8	79,7
	1-3	11	1,9	1	0,4	8	4,9	0,6	24,4	18,9	28,8	75
	1-4	10,5	1,2	1,2	0,4	6,7	3,5	0	31,5	21,7	23,2	78,8

ЯГОДНИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Ягоднинское месторождение вулканического цеолита (Камчатский Край)





ЯГОДНИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ





Есть ли в России высококачественны цеолиты?

Основные причины низкой степени потребления природных цеолитов:

- Логистика
- Наличие «минералов-заменителей»
- Низкая степень внедрения современных высокотехнологичных направлений использования цеолитов
- Отсутствие концепции использования природного, экологически безвредного сырья
- Замена дефицита импортным сырьем



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке
Российского Научного Фонда, проект № 22-77-10050