

В.В.ЮРКОВ, С.В.ЛАНКИН, С.В.БАРЫШНИКОВ,
Л.Г.КОЛЕСНИКОВА, Л.И.РОГУЛИНА, А.В.СЕРОВ

Цеолиты Амурской области

Памяти доктора технических наук, профессора Р.А.Беляева

Рассмотрены особенности структуры, состав, классификационные признаки, основные физико-химические и другие свойства амурских цеолитов. Дан краткий обзор месторождений и проявлений цеолитов, открытых в 1980—1990-е годы на территории Амурской области, представлены методы диагностики и количественного определения цеолитов в породе. Приведены основные направления использования цеолитизированных туфов в промышленности, сельском хозяйстве, охране окружающей среды.

The zeolites of the Amur region. V.V.YURKOV (Branch of Regional Geology and Hydrogeology, FEB RAS, Blagoveshchensk), S.V.LANKIN, S.V.BARYSHNIKOV, L.G.KOLESNIKOVA (Blagoveshchensk State Pedagogical University), L.I.ROGULINA (Amur Integrated Research Institute, FEB RAS, Blagoveshchensk), A.V.SEROV (Blagoveshchensk State Pedagogical University).

The structure peculiarities, components, classification features of the Amur zeolites as well as the main physical, chemical and other properties of this mineral have been considered in detail. Deposits and displays of zeolites discovered in the 80s—90s of last century in the Amur region have been briefly reviewed and methods of diagnostics and quantitative definition of zeolites in a rock have been described. The main approaches to using zeolites in industry, agriculture and the environmental preservation have been given.

Открытые более двухсот лет назад природные минералы цеолиты в последнее время вызывают повышенный интерес ученых и практических работников многих стран мира. По неполным данным в настоящее время зарегистрировано более тысячи авторских свидетельств по открытиям и изобретениям, относящимся к применению цеолитов.

Природные цеолиты — перспективный вид неметаллических полезных ископаемых. Обладая высокими адсорбционными, ионообменными и каталитическими свойствами, они находят все большее применение в различных отраслях наук, промышленности, сельскохозяйственной деятельности, экологии и т. п.

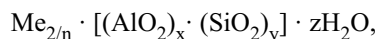
Целью настоящей работы являются обзор комплекса свойств природных цеолитов Амурской области на основании собственных исследований, а также по данным других авторов и рассмотрение возможных направлений их применения.

Цеолиты относятся к группе каркасных алюмосиликатов, бесконечный алюмосиликатный каркас которых образуется при сочленении через общие вершины тет-

ЮРКОВ Владимир Владимирович (Отделение региональной геологии и гидрогеологии Амурского НЦ ДВО РАН, Благовещенск), РОГУЛИНА Лариса Ивановна (Амурский комплексный научно-исследовательский институт Амурского НЦ ДВО РАН, Благовещенск), ЛАНКИН Сергей Викторович — доктор физико-математических наук, профессор, БАРЫШНИКОВ Сергей Васильевич — доктор физико-математических наук, профессор, КОЛЕСНИКОВА Людмила Геннадиевна — кандидат биологических наук, профессор, СЕРОВ Алексей Владимирович (Благовещенский государственный педагогический университет).

раздров AlO_4 и SiO_4 [4]. Каркасы имеют регулярную систему полостей, сообщающихся между собой каналами, в которых находятся катионы и молекулы воды. Катионы подвижны и могут в той или иной степени обмениваться на другие катионы. Вода, при нормальных условиях заполняющая свободный объем кристаллической решетки, может удаляться при нагревании или вакуумной откачке, что приводит к резкому увеличению адсорбционных свойств цеолита. Большинство цеолитов сохраняет способность к регидратации.

Состав цеолитов можно представить следующей эмпирической формулой:



где: Me — катионы с валентностью n (Na, K, Mg, Ca, Sr, Ba и др.); отношение y/x имеет различные значения в зависимости от структуры и обычно находится в пределах от 1 до 5, часть формулы в квадратных скобках соответствует составу каркаса цеолита, z — число молекул воды, — определяются типом цеолита [4].

Согласно Д.Бреку, все цеолиты разделяются на семь групп, в каждую из которых входят структуры с одинаковым характером сочленения тетраэдров (Al, Si) O_4 в структурные элементы [4]. В настоящее время известно более 100 синтетических и около 40 природных цеолитов. Их специфической особенностью являются калиброванные размеры окон каналов (от 0,3 до 1 нм), которые определяются строением элементарной решетки каждого типа кристалла. Эта особенность стала причиной и другого довольно частого названия цеолитов — «молекулярные сита». Молекулярные сита — это материалы, которые вследствие своей внутренней структуры могут избирательно адсорбировать молекулы в соответствии с их размерами и формой.

Для оценки качества цеолитового сырья и определения возможных направлений его использования необходимо знать его физико-химические и другие свойства. Из физико-химических параметров цеолитов, определяющих области их практического применения, наибольший интерес представляют плотность, объемная масса, пористость, влагосодержание, сорбционная емкость. Кроме этого, имеют важное значение термическая стабильность, устойчивость по отношению к агрессивным веществам и ионизирующим излучениям, а также содержание токсических элементов. При нагревании и воздействии других вышеуказанных факторов происходит разрушение кристаллической решетки цеолита, что приводит к частичной или полной потере их полезных свойств. Только некоторые минеральные типы природных высококремнистых ($\text{Si}/\text{Al} > 3$) цеолитов удовлетворяют существующим требованиям использования в практике, это так называемые промышленные цеолиты [14].

Данные об отечественных балансовых запасах цеолитового сырья приведены в табл. 1, из которой видно, что основные запасы цеолитового сырья сосредоточены в Сибири и на Дальнем Востоке.

Отечественные суммарные запасы и прогнозные ресурсы цеолитов (около 50 выявленных месторождений и рудопроявлений) составляют несколько миллиардов тонн [6]. Из них на богатые руды (с содержанием цеолитов более 70 %) приходится 11 %, на рядовые (40—70 %) — 82 % и на бедные (до 40 %) — 6 %. Большинство из этих месторождений благоприятны для открытой разработки. По минеральным типам общемировые запасы цеолитизированных пород распределяются следующим образом: клиноптилолитовые — 67 %, клиноптило-

Таблица 1

**Географическое размещение балансовых запасов
и добычи цеолитов, тыс. т [6]**

Федеральный округ, субъект Федерации	Количество месторождений с балансовыми запасами	Запасы на 01.01.2002 г.					Добыча из недр за 2001 г.	
		A+B	A+B+C ₁			C ₂	Всего	% к добыче по РФ
			Всего	% к запасам РФ	Утвержденные ГКЗ, ГКЗ (остаток)			
<i>Приволжский</i>	1	—	75701	11,7	75701	—	—	—
Республика Татарстан	4	85278,7	483749,7	74,5	483749,7	71884	10,9	97,3
<i>Сибирский</i>	1	3394	5917	0,9	5917	—	—	—
Кемеровская область	3	81884,7	477832,7	73,6	477832,7	71884	10,9	97,3
Читинская область	9	22490,9	90009,9	13,8	64793,9	79790	0,3	2,7
<i>Дальневосточный</i>	1	2833	11462	1,8	11462	—	—	—
Якутия	1	—	6507	1,0	—	891	—	—
Чукотский АО	1	—	7292	1,1	7292	12438	—	—
Камчатская область	2	2438	15078	2,3	—	—	—	—
Амурская область	1	5577	20545	3,2	20545	31648	—	—
Хабаровский край	1	10734,9	20689,9	3,2	20689,9	—	0,3	2,7
Приморский край	2	908	8436	1,3	4805	35013	—	—
Сахалинская область								
Всего по РФ	14	107789,6	649460,6	100	624244,6	798631	11,2	100

Примечание. А, В, С — категории разведанности месторождений; прочерки означают отсутствие информации.

лит–морденитовые — 20 %, морденитовые — 12 %. По другим данным, 85 % общих суммарных запасов прогнозных ресурсов представлено клиноптилолитовыми породами [2].

Практическое использование

Обширная информация, опубликованная в различных отечественных и иностранных изданиях за последние 20 лет, показывает, что цеолиты эффективно используются на практике. Наиболее широко применяются клиноптилолит и морденит для осушки и очистки природного газа, углеводородов, других газов и жидкостей, а также очистки природных вод для питьевого и промышленного снабжения, при производстве строительных цементов и бетонов, для улучшения механических свойств резины, наполнения полимерных материалов, бумаги, других целей [2, 3].

В индустрии использование цеолитов перспективно в нефтяной и газовой промышленности, газовой и элюативной хроматографии, аккумуляции солнечной энергии, катализе реакций при органическом синтезе, производстве суперфосфата, керамзита, керамики, процессах рафинирования серы, обогащения руд, производстве огнетушащих порошков, осушке угля и сельхозпродуктов, получении моющих средств, пищевой промышленности.

В сельском хозяйстве круг возможных областей применения природных цеолитов столь же широк. Главнейшие из них: использование цеолитов в качестве пищевых добавок в корм животным и птице с целью увеличения прироста и продуктивности, уменьшения заболеваемости и снижения расходов кормов, обработка экскрементов животных и птицы с целью получения высококачественных удобрений, улучшение гигиенических условий в животноводческих помещениях. Кроме того, цеолиты применяются в земледелии в качестве мелиорантов для повышения урожайности сельскохозяйственных культур, при выводе токсичных металлов (свинца, кадмия, ртути и др.) из пищевых цепей, осушке влажного зерна, в качестве минерального субстрата в гидропонике, в качестве антислеживателей удобрений и ядохимикатов и т. д.

Необходимо подчеркнуть, что, упоминая о применении цеолитов в сельском хозяйстве, мы фактически говорим о промышленности, ибо любой из приведенных примеров, в конце концов, будет связан с химической, пищевой или другой промышленностью и изменит экологические условия работы, будь то уменьшение производства ядохимикатов или отказ от использования токсичных компонентов. Использование природных цеолитов в перечисленных выше направлениях обусловлено главным образом охраной окружающей среды.

В последние годы получены экспериментальные результаты, подтверждающие возможность широкого применения цеолитов в медицине и микробиологии [12].

Тем не менее в настоящее время цеолиты не используются достаточно широко. Основная причина этого заключается в высокой наукоемкости технологий, основанных на использовании природных цеолитов. Эффективная работа цеолитов определяется многими факторами: типом природного цеолита, составом сопутствующих компонентов, составом катионов в самом цеолите. Добавим также, что непостоянство указанных факторов даже в пределах одного месторождения требует значительных затрат при разведке.

Характеристики месторождений

Вышеназванные проблемы использования цеолитов характерны и для Приамурья. Амурская область богата природными цеолитами [10]. Суммарные прогнозные ресурсы цеолитового сырья составляют около 100 млн т. Они сосредоточены в основном в двух крупных разведанных месторождениях цеолитов — Куликовском и Вангинском, запасы которых учтены и поставлены на государственный баланс [6].

Куликовское месторождение цеолитов расположено в Бурейском районе, в 10 км от районного центра пгт Новобурейский, в пределах Правобуреинской зоны Долдыкано–Буреинского цеолитного узла Монголо–Охотской цеолитоносной провинции. Месторождение приурочено к меловым породам солонечной свиты и залегает в гидротермально–измененных вулканитах кислого состава. Цеолитовая минерализация развита по витрориолитам, их лавобрекчиям, витрокластическим туфам и представлена морденитом. Клиноптилолитовые породы встречаются эпизодически и самостоятельных рудных тел не образуют. По минеральному составу выделяют сорта морденитовых (66 %), клиноптилолит–морденитовых (30 %) и существенно клиноптилолитовых (4 %) руд. По результатам разведки, проведенной на месторождении в 1991—1993 гг., выявлено три продуктивные пластообразные субгоризонтальные залежи средней мощностью 16,8—20,7 м

(В.И.Савинков, 1993 г.)*. Кроме Куликовского месторождения в пределах этой же зоны установлено еще несколько проявлений цеолитов: Самсоновское, Пасечное, Иркунское и др.

Вангинское месторождение расположено в Зейском районе, в верхнем течении р. Ванга, в 25 км к северо-западу от пос. Береговой. Оно приурочено к Вангинскому цеолитоносному узлу, пространственно совпадающему с одноименной вулканотектонической депрессией в центральной части Дамбукинского блока Становой складчатой системы. Месторождение сложено нижнемеловыми вулканогенными и вулканогенно-осадочными образованиями вангинской свиты. Продуктивные цеолитизированные породы (пепловые туфы и риолиты) локализуются в двух пластообразных пологопадающих залежах (Западной и Восточной) мощностью до 20 м и протяженностью около 5 км. Западная залежь месторождения представлена преимущественно гейландитом и промежуточными минералами ряда клиноптилолит-гейландит, а Восточная — в основном клиноптилолитом. На Вангинском месторождении выделяют три сорта сырья: богатые руды с содержанием цеолитов более 70 % (около 1 % запасов), рядовые с содержанием цеолитов 50—70 % (более 50 % запасов) и бедные с содержанием цеолитов менее 50 %. Восточная залежь характеризуется более высоким содержанием цеолита в породе, где преобладают богатые и рядовые руды (Н.И.Бараков, 1994 г.).

Результаты исследований и их обсуждение

Минеральный состав цеолитизированных пород амурских месторождений изучался методами оптической и электронной микроскопии, инфракрасной спектроскопии, рентгенофазового, термического и термохимического анализа. Определялся также их химический и элементный состав. Кроме этого, нами исследовались физико-химические и электрофизические свойства амурских цеолитов.

Первичное определение содержания цеолита в породе осуществлялось термохимическим методом с помощью полевой цеолитовой лаборатории (ПЦЛ). На основании данных, полученных этим методом, произведено минералогическое картирование месторождений.

По данным минералогического анализа цеолитизированных пород месторождений Амурской области установлено, что они представляют собой устойчивую минеральную ассоциацию цеолитов (клиноптилолит, морденит) с полевыми шпатами, слюдами, хлоритами, монтмориллонитом, минералами кремнезема. Микроскопическое изучение шлифов показало, что цеолитсодержащие породы представлены спекшимися витро- и литовитрокластическими девитрифицированными туфами кислого состава. Продуктами девитрификации являются цеолиты, гидрослюды, хлориты, слюды, глинистые минералы и др. Цеолиты практически целиком замещают обломки вулканического стекла в туфах. Количество их может быть до 90 %, но в среднем составляет 30—40 %; размеры выделений колеблются от 0,01 до 0,85 мм. Основная масса породы пепловая с участками спекания. Цеолитизация этой цементирующей массы также изменяется в значительных пределах: от 5—10 до 90 %. Цеолиты в породе образуют призмы, гнезда и линзы. По показателю преломления они относятся к гейландит-клиноптилолиту (Вангинское) и мордениту (Куликовское).

* Здесь и далее ссылки типа «(В.И.Савинков, 1993 г.)» обозначают рукописные работы, которые хранятся в фондах федерального государственного учреждения «Территориальный фонд информации по природным ресурсам и охране окружающей среды» МПР РФ по Амурской области (Благовещенск).

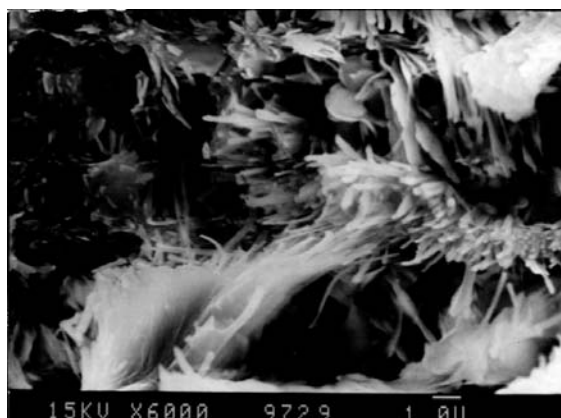


Рис. 1. Игольчатые агрегаты морденита

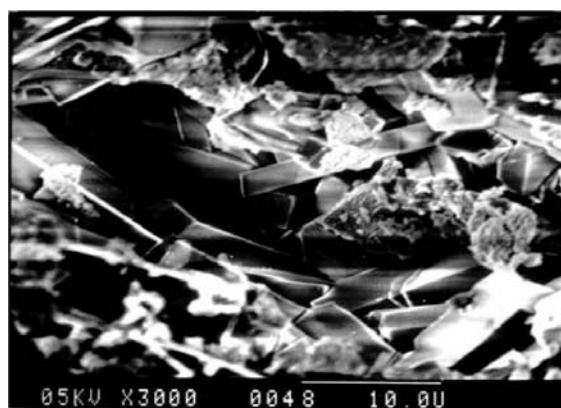


Рис. 2. Пластинчатые агрегаты клиноптилолита

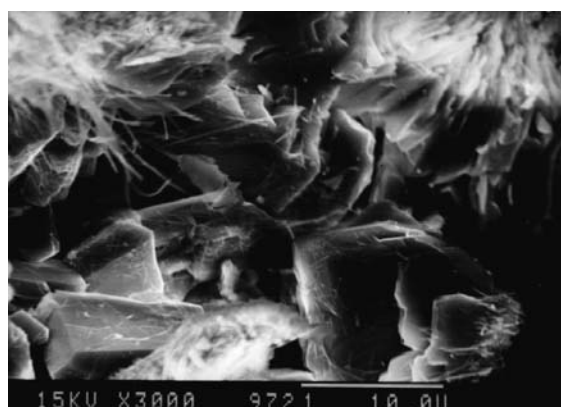


Рис. 3. Игольчатые агрегаты морденита и пластинчатые агрегаты клиноптилолита в клиноптилолит–морденитовых туфах

Электронно–микроскопическими исследованиями выявлено, что цеолиты в основном имеют сложный рельеф микроповерхности, образованный микрокристаллами и агрегатами различных минеральных фаз. Мономинеральные агрегаты цеолитов представлены в большинстве случаев слабо-раскристаллизованной массой либо микрокристаллами. Агрегаты микрокристаллов концентрируются в микрожеодах и микротрещинах, достаточно однородно распределенных по микроповерхности образца. Кроме того, в образцах цеолитизированных пород обнаружены скопления микрокристаллов игольчатого габитуса (рис. 1). Подобная минеральная фаза отнесена к морденитовой по игольчатой, часто со сноповидной или розетковидной формой агрегатов. Микрокристаллы клиноптилолита пластинчатой формы (рис. 2) особенно четко различимы в туфах, где они ассоциируют с морденитом (рис. 3). На микроповерхностях исследуемых образцов часто наблюдаются скопления кристаллов, по морфологии напоминающие сферолиты, вероятно являющиеся зародышами кристаллов.

Рентгеновская дифрактометрия является основным методом диагностики цеолитов и ассоциирующих с ними минералов в цеолитсодержащих породах. Количественный рентгенофазовый анализ цеолитов принят наиболее достоверным и поэтому применяется довольно широко. Дифрактометрические исследования показывают присутствие, кроме цеолитов, пиков, характерных

для кварца, полевых шпатов, слюд и т. д. Полученные нами результаты хорошо согласуются с литературными данными для соответствующих цеолитов других месторождений.

Природные цеолиты имеют характерные термические кривые, которые также могут быть использованы для их диагностики [1]. На дифференциальных термических (ДТА) кривых цеолитизированных пород амурских месторождений регистрируется эндотермический эффект в интервале температур 50—350 °С с максимумами: 170—180 °С, соответствующим мордениту, и около 140 °С — клиноптилолиту, типичными для данных минералов и обусловленными их дегидратацией (рис. 4, а, б). Общая потеря массы пород различных месторождений в процессе дегидратации по данным термической гравиметрии (ТГ) составляет от 5—6 до 16—17 %. Оба цеолита обладают характерной плавной непрерывной дегидратацией в широком интервале температур (50—700 °С) [1]. Гейландит и промежуточные минералы изоморфного ряда клиноптилолит–гейландит (Вангинское месторождение) имеют характерные линии ДТА и ТГ [1, 14].

Почти на всех термограммах цеолитизированных пород месторождений гидротермально–метасоматического типа присутствует небольшой эндотермический эффект при 500—550 °С, отсутствующий или слабо развитый у неизменных пород вулканогенно–осадочных месторождений. Этот эффект, вероятно, связан с процессом дегидроксилирования, происходящим при температурах свыше 350—450 °С в результате потери гидроксильных групп. Аморфизация цеолитов и их переход в новую кристаллическую фазу регистрируются на кривых ДТА в виде экзотермических эффектов (рис. 4, а) [1]. Наличие этих эффектов дает возможность определять стабильность цеолитовых каркасов, что имеет особое значение при их активации и регенерации.

Химический состав цеолитизированных пород Амурской области приведен в табл. 2.

Несмотря на то что в ходе геолого–технологической типизации цеолитов Амурской области исследовались их некоторые физико–химические свойства, нужно отметить, что в целом они изучены слабо. Сведения об основных физико–химических и технологических свойствах цеолитов Амурской области приведены в табл. 3.

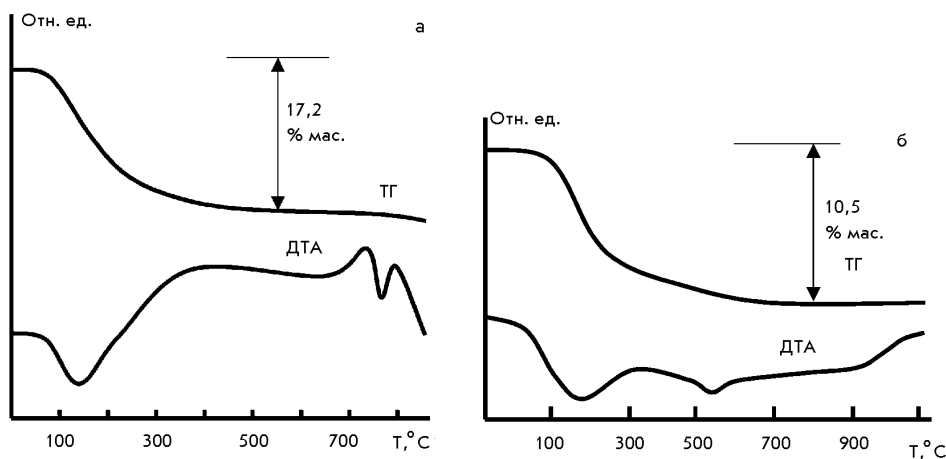


Рис. 4. Кривые ДТА и ТГ образца клиноптилолита Вангинского месторождения (а), морденита Куликовского месторождения (б)

Таблица 2

**Усредненный химический состав Амурских цеолитов,
% мас.**

Компонент	Месторождения		
	Самсоновское	Куликовское	Вангинское
SiO ₂	70,83	72,68	68,36
Al ₂ O ₃	12,11	10,8	12,84
TiO ₂	0,17	0,16	0,12
Fe ₂ O ₃	1,86	2,56	0,7
FeO	0,56	0,56	<0,2
CaO	1,92	1,17	2,66
MgO	0,61	0,22	1,92
MnO	0,01	0,08	0,04
Na ₂ O	1,48	1,44	0,56
K ₂ O	3,39	3,39	2,74
P ₂ O ₅	0,02	0,02	0,03
п.п.п.	7,8	6,38	9,87

Примечание. п.п.п. — потери после прокаливания.

Таблица 3

**Основные физико-химические и технологические свойства цеолитов Амурской области
[8, 9, 15—17], (В.И.Савинков, 1993 г., Н.И.Баранов, 1994 г.)**

Характеристика		Месторождение		
		Проявления Правобуреинской площади	Куликовское	Вангинское
Тип цеолита		Клиноптилолит, морденит	Морденит, реже клиноптилолит	Клиноптилолит, гейландит
Среднее содержание, %		От 30 до 52	40	56
Si / Al		4,2—8,5	5,8—6,6	4,8—6,8
Емкость поглощения по NH ₄ ⁺ , мг-экв/г		0,5—0,9	0,5—0,9	1,2—1,6
Ряд обменных катионов в порядке убывания		Ca—K—Mg—Na	K—Na—Ca—Mg	Ca—Mg—K—Na
Средняя плотность, кг/м ³		2300	2400	2300
% микропор от общей пористости		63—80	63—68	44—66
Адсорбция по парам воды, ммоль/г	P/Ps=0,4	2,63—3,91	2,8—3,95	2,56—5,31
	P/Ps=1	4,23—6,28	3,42—5,27	5,77—8,01
Средняя пористость, %		25—35	30	30—35
Влагосодержание, %		14—16	9—15	14—17
Механическая прочность, МПа		20—50	24,5—53,9	До 50
Термическая стойкость при 400 °С, %		До 90	92—93	75—80
Химическая стойкость в 1 н HCl, %		До 90	92	80—85
Содержание вредных примесей		Не превышает ПДК	Не превышает ПДК	Не превышает ПДК

Основные направления исследований авторов статьи посвящены сорбции ионов ряда тяжелых и редких элементов, некоторых органических молекул цеолитами различных месторождений Амурской области, а также изучению их электрофизических свойств.

Так, наличие в цеолитах слабосвязанных катионов и молекул воды приводит к дисперсии диэлектрической проницаемости и зависимости электрофизических свойств от частоты, температуры и степени гидратации.

Дегидратированные образцы природных цеолитов являются диэлектриками (удельное сопротивление при комнатной температуре составляет порядка 10^9 — 10^{10} Ом·м). При увеличении содержания воды электропроводность и диэлектрическая проницаемость первоначально растут линейно, а при ее содержании свыше 6 % — более резко. Последнее может быть обусловлено протонной проводимостью в полисое физически связанной воды, которая характеризуется пороговой зависимостью от толщины, так как начинается после формирования сплошного слоя воды на поверхности частиц и обусловлена туннелированием протонов по сетке водородных связей [5]. На низких частотах для недегидратированных образцов диэлектрическая проницаемость принимает значение $\sim 10^3$, и с ростом частоты ее значение уменьшается (при частоте $\sim 10^9$ Гц диэлектрическая проницаемость (ϵ) составляет ~ 10). Зависимость диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta$) от частоты немонотонна, на некоторых частотах имеются максимумы, соответствующие различным типам релаксаторов. Диэлектрический спектр зависит от состава цеолитов и содержания воды, что при развитии данной методики может позволить определять состав и степень дегидратации цеолитов по диэлектрическому спектру.

Сорбционные свойства амурских цеолитов также изучены крайне недостаточно. Установлена высокая эффективность применения цеолитов Куликовского месторождения в ионообменной технологии очистки сточных вод от ионов аммония [7, 11], при обезжелезивании подрусловых и артезианских вод [13]. Наши исследования показали, что ионообменные свойства цеолитов значительно увеличиваются в результате отмучивания глинистых и слюнистых минералов и последующего перевода их в активную Na-форму [8]. В результате содержание цеолита увеличивается от 85 до 95 % в зависимости от размера фракции. Удельная адсорбция цеолитов Куликовского месторождения составляет 6,4—28,58 мг ионов аммония на грамм цеолита и зависит от исходной концентрации адсорбата и размера фракции. С увеличением размера фракций ионообменные свойства цеолитов этого месторождения уменьшаются в среднем на 25—30 %. Увеличение температуры от комнатной до 90 °С приводит к снижению сорбции ионов аммония в 1,7—2 раза и также зависит от размера фракций. При высоких концентрациях адсорбата сорбция практически не зависит от размера фракций. Установлено различие в ионообменных свойствах цеолитов в пределах одного и того же месторождения, что связано с различием в их минеральном и химическом составах.

Нами также установлена высокая сорбционная способность цеолитов Вангинского месторождения при обезжелезивании природных вод, которая в зависимости от размера фракций и концентрации адсорбата составляет 13,64—97,54 мг/г [8]. С увеличением размера фракций сорбционные свойства цеолитов уменьшаются на 13—50 % и зависят от начальной концентрации адсорбата. С уменьшением размеров фракций увеличивается общая поверхность активных центров и число непосредственных контактов главных каналов с катионами железа. В связи с этим максимальная сорбция отмечается на фракции 0,16—0,25 мм. Вместе с тем использование в качестве сорбентов ионов тяжелых металлов цеолитов с размерами

фракций менее 0,16 мм неэффективно, так как обычными методами трудно отделить тонкую дисперсную фазу от среды. Предел насыщения, рассчитанный для фракций менее 0,25 мм, изменяется в интервале 48,41—77,97 % на гейландите и в интервале 59,72—80,59 % на клиноптилолите. Максимальный предел насыщения отмечен у клиноптилолита при высокой концентрации Fe^{3+} и составляет 78—81 %, что характеризует цеолиты Вангинского месторождения как хорошие сорбенты. Значения физико-химических констант адсорбции изученных цеолитов, равные 1,82 и 0,95, свидетельствуют о больших возможностях их использования в качестве ионообменников при обезжелезивании природных вод.

Заключение

На основании вышеизложенного можно заключить, что амурские цеолиты — доступное и дешевое минеральное сырье — к сожалению, в настоящее время эффективно не используется в силу своей слабой изученности, хотя большинство месторождений, содержащих значительные запасы цеолитового сырья, находятся в благоприятных для эксплуатации горнотехнических условиях, что делает их освоение экономически выгодным.

Следует отметить, что благодаря значительной сорбционной емкости по парам воды амурские цеолиты успешно использовались в процессах осушки. Образцы цеолитов, модифицированные при помощи ионного обмена, приобретают повышенную сорбционную емкость. Наиболее высокие значения сорбционной емкости отмечены у цеолитов Вангинского месторождения: хорошие результаты получены при адсорбции на них ионов тяжелых металлов, некоторых канцерогенных веществ и органических молекул.

Авторы выражают благодарность члену-корреспонденту РАН А.П.Сорокину за ценную дискуссию и замечания, высказанные при подготовке материалов статьи к печати.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белицкий И.А., Букин Г.В., Топор Н.В. Термическое исследование цеолитов // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. Новосибирск, 1972. Т. 7. С. 255—309.
2. Беляев Р.А. Цеолиты — «Минерал XXI века» // Экология и промышленность России. 1996. № 7. С. 34—35.
3. Беляев Р.А., Юрков В.В. Цеолиты — экологически и экономически эффективное, выгодное природное сырье // Материалы регион. науч.-практ. конф. «Дальний Восток РФ на рубеже веков — региональный аспект возрождения России». Благовещенск: Администрация Амурской области, 1999. С. 185—187.
4. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. М.: Мир, 1976. 781 с.
5. Горелов Б.М., Конин К.П., Морозовская Д.В. Динамическая проводимость, стимулированная кристаллизационной водой // Журн. техн. физики. 2000. Т. 70, вып. 11. С. 54—57.
6. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2002 года: Цеолиты. М.: Росгеолфонд, 2002. Вып. 41. 32 с.
7. Кац Э.М. Сравнительные ионообменные свойства природного клиноптилолита и органических катионов при очистке сточных вод от иона аммония // Природные цеолиты России: Тез. докл. респ. совещ. 25—27 ноября 1991 г., Новосибирск. Новосибирск: Кн. изд-во, 1992. Т. 1. С. 103—106.
8. Колесникова Л.Г., Конфедератов В.А., Горян А.С. и др. Исследование ионообменных свойств природных цеолитов Амурской области // Проблемы экологии Верхнего Приамурья / Под общ. ред. Л.Г.Колесниковой. Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2002. Вып. 6. С. 13—31.
9. Кошечая Е. А., Ключевская Т. Г., Ланкин С. В. Физико-химические свойства цеолитсодержащих пород Куликовского месторождения Амурской области // Химия и химическое образование на рубеже веков: Материалы I Амурской межрегион. конф. / Под общ. ред. Л.Г.Колесниковой, В.В.Шарутина. Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2001. С. 93—94.

10. Минерально-сырьевая база Амурской области на рубеже веков / Отв. ред. И.А.Васильев. Благовещенск: ПКИ «Зея», 2000. 168 с.
11. Новикова В.А., Алибеков Г.Я., Стародубцева Д.С. Исследование природных клиноптилолитов различных месторождений для очистки сточных вод от аммонийного азота // Материалы Всесоюз. науч.-техн. конф. по добыче, переработке и применению природных цеолитов. Гори, 19—21 ноября, 1986. Тбилиси: Сакартвело, 1989. С. 210—214.
12. Паничев А.М., Гульков А.Н. Природные минералы и причинная медицина будущего. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2001. 210 с.
13. Потапова Н.В. Рекомендации по использованию цеолитовой породы Куликовского месторождения для очистки природных вод. Хабаровск: Кн. изд-во, 1995. 16 с.
14. Челищев Н.Ф., Беренштейн Б.Г., Володин В.Ф. Цеолиты — новый тип минерального сырья. М.: Недра, 1978. 174 с.
15. Юрков В.В., Беляев Р.А., Мельникова М.А. Термоаналитическое исследование природных цеолитов Куликовского месторождения Амурской области // Вестн. АмурНЦ ДВО РАН. 1999. Вып. 2, сер. 2. Благовещенск: Изд-во АмурНЦ, 1999. С. 120—125.
16. Юрков В.В., Ланкин С.В., Мельникова М.А. Кинетика термической дегидратации природного клиноптилолита // Вестн. АмурНЦ ДВО РАН. 2002. Вып. 3, сер. 2. Благовещенск: Изд-во АмурНЦ, 2002. С. 29—32.
17. Юрков В.В., Ланкин С.В. Технологические свойства Вангинских цеолитов // Химия и химическое образование на рубеже веков: Материалы I Амурской межрегион. конф. / Под общ. ред. Л.Г.Колесниковой, В.В.Шарутина. Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2001. С. 114—115.

