

К.А. Акмалаев^{1*}, Р.Е. Нурлыбаев², Е.С. Орынбеков³

¹Satbayev University, институт Архитектуры и строительства,
кафедра «Строительство и строительные материалы», Алматы, Казахстан

²Товарищество с ограниченной ответственностью «SAVENERGY», Алматы, Казахстан.

³Международная образовательная корпорация (кампус КазГАСА), Алматы, Казахстан

Информация об авторах:

Акмалаев Кенжебек Акмалаевич – доктор технических наук, профессор, кафедра строительство и строительные материалы Satbayev University, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-9796-8813>, e-mail: 7598154@mail.ru, kakmalaiuly@bk.ru

Нурлыбаев Руслан Ергалиевич – Ph.D (МОН РК), директор, ТОО «SAVENERGY», Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-0161-6256>, e-mail: rusya_nre@mail.ru

Орынбеков Елжан Серикович – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-2131-6293>, e-mail: eljan_79@mail.ru

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. *Рассмотрена проблема использования природных цеолитов и утилизации отработанных сорбентов-цеолитов, используемых в процессах очистки промышленных вод. Показана перспективная возможность их использования в качестве добавок при производстве цементов и бетонов, в качестве добавок к портландцементу. Цеолиты являются кристаллическими водными алюмосиликатами, содержащими в качестве катионов элементы I и II групп периодической системы, в частности натрий, калий, магний, кальций, стронций и барий.*

Ключевые слова: *алюмосиликаты, цеолит, цемент, синтез, добавка, строительные материалы, клиноптилолит, каркас.*

Введение

Цеолиты широко применяются в современной промышленности как катализаторы, адсорбенты, наполнители и другие материалы. Природные цеолиты – группа минералов с уникальными свойствами [1, 2]. В природе они встречаются в виде гидротермальных и осадочных геологических образований. В разных отраслях промышленности распространение получили искусственно синтезируемые цеолиты с заданными свойствами. Принципы рационального природопользования и ресурсосбережения является главенствующим при разработке технологий инженерной защиты объектов окружающей среды от техногенного загрязнения и утилизация отработанных сорбентов после окончательного цикла их регенерации [3-6].

Цеолиты представляют собой кристаллические водные алюмосиликатные минералы, содержащие в качестве катионов элементы I и II групп периодической системы, в частности K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cr^{2+} , Ba^{2+} и другие. Оксидная

формула широко распространённого природного цеолита клиноптилолита имеет вид: $(K, Na, 0,5Ca)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 8H_2O$. Существует ярко выраженная связь между химическим составом цеолитовых минералов и типов вмещающей породы. Так для ультраосновных и основных пород характерны цеолиты с низким отношением Si/Al (жисмондин, тонсонит и другие).

Однако у многих каркасных силикатов структуры значительно более открыты, и во внутрикристаллическом пространстве таких минералов, как содалит, канкринит и скаполит, могут разместиться не только катионы, нейтрализующие заряд каркаса, но и молекулы солей, а в цеолитах и многие другие молекулы [4-7]. Высококремнистые цеолиты – морденит, клиноптилолит, феррьерит – чаще всего связаны с кислыми породами. Цеолиты с характерной широкой вариацией в составе (филлипсит, шабазит) встречаются в любых породах – от кислых до ультраосновных, но, как правило, состав данного образца отражает в определённой степени химический состав вмещающей породы.

Материалы и методы

Для изучения состава, структуры и процессов кристаллизации материала используются методы рентгенофазового и дифференциально-термического и метод петрографического анализ [3-12].

В зависимости от минерального состава различают следующие промышленные типы руд – клиноптилолитовый, морденитовый, филлипситовый и шабазитовый. К высококачественным относятся породы, содержащие более 70% минерала цеолита, к среднекачественным – 50-70% и к бедным рудам – 15-50%. В цеолитовых породах почти всегда присутствуют остатки вулканических стёкол, монтмориллонит, кристобалит, нередко кальций, глауконит и др. [7-10].

Химический состав цеолитсодержащих пород, % от массы: SiO₂ – 72,85, TiO₂ – 0,57, Al₂O₃ – 10,41, Fe₂O₃ – 3,64, FeO – 0,23, MnO – 0,02, MgO – 1,32, CaO – 1,52, Na₂O – 0,23, K₂O – 1,70, P₂O₅ – 0,14, SO₃ – 0,12, прочие – 7,03.

Сегодня выделяют два вида цеолитов: природный и искусственный. Природный цеолит используется в качестве дешевого заменителя искусственного аналога и других природных минеральных соединений: диатомит, каолин, мел. Востребован во многих отраслях промышленности, экологии, сельского хозяйства. Широко используется цеолит в области строительства – геологи называют цеолиты интеллектуальными минералами. Добавляются они при производстве цемента для стеновых материалов, теплоизоляционных изделий.

Природные цеолиты не могут заменить синтетические в тех областях, где требуется сырьё высокой чистоты, однако они представляют интерес для промышленности в тех случаях, когда большие запасы и, следовательно, низкая стоимость природных минералов более важны, чем чистота сырья. Ряд авторов считают, что основными фрагментами каркасов цеолитов являются более сложные, чем показанные структурные единицы. В каркасах цеолитов и других силикатов легко можно выделить различные цепочки, которые также можно использовать в качестве исходных строительных единиц соответствующих структур [6-10].

При прокаливании цеолита при температуре 300-400⁰С происходит удаления адсорбционной воды без нарушения кристаллической решетки, что приводит к его обезвоживанию до 80% и максимальному раскрытию пор. После дегидратации цеолит представляет собой микропористую «губку» с объемом пор до 50% каркаса, которая может более эффективно адсорбировать жидкие и газообразные вещества. Кроме того, цеолиты обладают способностью к легкому катионному обмену, происходящему без каких-либо нарушений кристаллической структуры. Для увеличения адсорбционной емкости цеолиты клиноптилолитового типа могут быть подвергнуты гидрофобизации различными органическими веществами.

Нами разработан в лабораторных условиях способ гидрофобизации поверхности цеолита клиноптилолитового типа Шанканайского месторождения. Синтез цеолитов начинается с рецепта приготовления, выбора условий синтеза и источников «строительных материалов». Основу каркаса алюмосиликатов составляет кремнезем SiO₂, анионы AlO₂ приносят заряд в каркас, который компенсируется зарядом катионов щелочных металлов. Благодаря наличию кристаллической структуры с жестко заданным размером каналов и полостей в микропористой структуре, цеолиты эффективно применяют для разделения смесей газов и жидкостей, тонкой очистки веществ. Было проведено множество фундаментальных исследований, направленных на установление положения и функцию центров адсорбции, закономерностей диффузии веществ во всех типах пор. Целью этих исследований является нахождение путей направленной модификации состава и свойств цеолитов. Установлено физико-химических свойств цеолитизированной породы для определения ее пригодности в поставленных задачах (табл. 1).

Таблица 1 – Основные физико-химические характеристики цеолитового сырья Шанканайского месторождения

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Характеристика
1	Внешний вид		Красно-коричневого, серого цвета
2	Массовая доля цеолита	%	50-84
3	Твердость по шкале Мооса		4,5
4	Сопутствующие минералы: - кварц и полевопшпат в сумме - глинистые минералы - доломит	%	24-30 3,0-6,0 0,5-2,0
5	Массовая доля гелеобразующих веществ	%	0,9-1,8
6	Содержание органического соединения	%	Отсутствует
7	Отношение SiO ₂ / Al ₂ O ₃		4,0-5,28
8	Кислотоустойчивость	%	80-87
9	Плотность истинная	г/см ³	2,18-2,50
10	Насыпная плотность	г/см ³	1,17-1,32
11	Механическая прочность на раздавливание	МПа	15-21
12	Истираемость	%	0,06-0,15
13	Динамическая влагоемкость	%	4,5-5,5

Цеолит могут применяться, как активная минеральная добавка, при производстве портландцемента, бетона и растворов. Экономичность строительных растворов определяется видом и содержанием вяжущих веществ, как наиболее энергоемким их компонентом. Применение в составе смеси портландцемента на доступном сырье является ресурсосбережения в технологии строительных материалов.

Свойства портландцемента зависит от химического и минерального состава клинкера, тонкости помола цемента и других факторов. На результаты испытаний влияют не только физико-химические характеристики портландцемента, но также содержание и особенности применяемых материалов.

Изучено проявления гидравлической активности цеолитов Шанканайского месторождения, измельченных до удельной поверхности 3000 и 5000 см²/г.

Полученные результаты говорят о том, что при затворении измельченного порошка цеолитосодержащей породы водой прочность образцов обусловлена только физическими процессами высыхания тонкодисперсного цеолита, и поэтому, даже будучи измельченным до тонкодисперсного состояния, не может быть использован как самостоятельное вяжущее вещество. Дисперсность цеолитосодержащих пород на прочностные показатели существенно не влияет (табл. 2).

Таблица 2 – Гидравлическая активность цеолитов Шанканайского месторождения

Удельная поверхность, см ² /г	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, ч-мин		Предел прочности при сжатии, Мпа в возрасте 28 суток
		начало схватывания	конец схватывания	
3000	40 – 45	1,50 – 2,35	3,0 – 3,35	0,48
5000				0,50

Природные цеолиты обладают высокой пуццолановой активностью (до 300 мг СаО на 1 грамм) и могут вводиться 10-20% от массы клинкера. Кроме того, природный цеолит может играть роль интенсификатора помола клинкера, увеличивая производительность мельницы на 5-15%. Частичная замена клинкера на 15-20% цеолита позволяет получать цемент марки 400, 500, пуццолановый портландцемент марки 300 с сокращенным временем начала и конца схватывания.

Результаты и обсуждение

Уникальные свойства цеолита, его высокая пуццолановая активность определили возможность его применения в качестве активной минеральной добавки в производстве кислотостойких и сульфатостойких цементов. Цеолиты особенно хорошо пригодны для производства гидравлических цементов, устойчивых к химическому воздействию среды, например, такому, как морская вода.

При применении цеолитов в производстве цемента сокращается срок схватывания, начало на 1,5 часа, конец на 3 часа, увеличивается удельная поверхность на 1000-1700 см²/г, повышается марка цемента на 30-40 единиц. При использовании портландцемента имеет скорость схватывания и твердения. Это

процесс, при котором относительно подвижная часть цемента с водой постепенно густеет и приобретает такую начальную прочность, при которой ее механическая переработка становится практически невозможной. Поэтому вяжущие вещества, должны характеризоваться такими сроками схватывания, которые дают возможность готовить растворные и бетонные смеси. При введении цеолита в состав портландцемента сроки схватывания сокращаются в среднем одного часа. Цеолиты применяются также в качестве активной минеральной добавки и вяжущего компонента силикатных бетонов и гипсоцементопуццоланового вяжущего компонента и бетонов на их основе. Введение активированного цеолита в количестве 10% в раствор, снижает теплопроводность растворной смеси в 5-10 раз. Раствор становится эластичным, имеет высокую водоудерживающую способность, не расслаивается [3, 5, 12].

Применение цеолита в бетоне и ЖБИ позволяет снизить время и температуру пропарки. Цеолит является внутренним агентом по уходу за бетоном, поглощая и удерживая определенное время воду в себе, потом постепенно ее отдавая цементу, способствуя его полной гидратации.

Цеолиты применяются в производстве силикатных кирпичей, в качестве гипсоцементопуццоланового вяжущего компонента на его основе, для производства сухих смесей, в качестве наполнителей бетонных растворов, а также в качестве известково-цеолитового вяжущего компонента для автоклавного силикатного бетона. Применения цеолита для производства строительных материалов определяется главным образом их качествами. Размер цеолита составляет единицы и десятки микрон. Равномерное распределение таких микрокристаллов, а также вторичная пористость туфов определяют хорошую доступность и высокую реакционную способность основной кристаллической решеткой.

Анализируя кинетику кристаллизации установлено, что скорость образования зародышей в гелях сначала возрастает, достигает максимума и затем быстро снижается, причем все эти изменения происходят на начальном этапе кристаллизации, когда рентгенографический анализ еще не обнаруживает кристаллической фазы, следовательно, до того момента, когда отношение Si/Al в реакционной среде сколько-нибудь существенно изменится. Это означает, что кремнезем более избирательно, чем алюминий переходит на поверхность растущих кристаллов и в реакционной среде постепенно уменьшается отношения Si/Al . В результате каждый последующий слой кристаллизующего вещества содержит больше алюминия, чем предыдущий.

В процессе кристаллизации могут возникать зародыши различных типов, в большинстве случаев удается подобрать такие условия синтеза, которые благоприятны для разрастания однородных зародышей в цеолит строго определенного типа. Достаточно быстрый рост массы кристаллов зависит от скорости образования зародышей, а на форму соответствующих кинетических кривых существенное влияние оказывает индукционный период, на продолжительность которого воздействует целый ряд факторов (например, температура, природа катионов, характер и условия обработки реагентов, а также перемешивания).

Если в ходе кристаллизации последовательно образуется несколько продуктов, то увеличение длительности кристаллизации обычно способствует появлению термодинамически более стабильных соединений.

Для многих цеолитов, рост кристаллов которых начинается после стадии образования зародышей, изменение скорости роста кристаллической массы идет во времени. Если же рост кристаллов происходит только на поверхности затравочных кристаллов, то индукционный период не наблюдается. Исследования показали, что линейные скорости роста массы кристаллов остаются постоянными почти до конца кристаллизации. На эти скорости влияет ряд факторов, но особенно сильно зависят от температуры. Многие говорят в пользу того, что скорость зародышеобразования сначала быстро возрастает, проходит через максимум и спустя некоторое время замедляется, поскольку все растущие кристаллы уже не могут с прежней скоростью потреблять химические компоненты реакционной массы.

Пористая структура цеолитов приводит к связыванию больших количеств CaO и SO_3 в известково-гипсовых системах. Разложение цеолитов при этом на гидро- и сульфо-алюминаты и гидросиликатный гель происходит гораздо быстрее, чем у других алюмосиликатов. Это обусловлено тем, что алюмо- и кремнекислородные тетраэдры в цеолитах располагаются поочередно, легче освобождаются и более легко встраиваются в структуры гидратов, поставляя готовые блоки. В цементных композициях за счет этого наблюдается быстрый синтез гидросульфоалюминатных фаз с дополнительным образованием геля гидросиликатное. Однако следует учитывать, что цеолитовые добавки к цементам будут увеличивать их водопотребность.

При содержании цеолита в автоклавных изделиях до 2 % наблюдается некоторое увеличение прочности. Дальнейшее увеличение доли цеолита в смеси снижает прочность готовых изделий (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние добавки цеолита на физико-химические свойства автоклавного изделия

Содержание цеолита в сырьевой смеси, %	Прочность образцов				Средняя плотность образцов, кг/м^3
	сырцовая		после автоклава		
	МПа	%	МПа	%	
0	0,35	100	18,10	100	1865
1,15	0,38	108,6	20,8	115	1850
2,30	0,41	117,1	21,2	117,3	1790
3,40	0,54	154,2	19,0	104,3	1780

Размер пор имеют большое влияние на свойства силикатного изделия, в наибольшей степени на его морозостойкость. На морозостойкость изделий влияние оказывает прочность цементирующей связки, контактной зоны заполнитель-вяжущее, а также пористость самого вяжущего.

Лицевой кирпич должен выдерживать не менее 25 циклов попеременного замораживания-оттаивания, без снижения прочности более чем на 25%. Испытания морозостойкости автоклавных известково-цеолитовых кирпичей показа-

ли, что не выдерживают 15 циклов попеременного замораживания-оттаивания. Таким образом, целесообразно получать цеолитосодержащие прессованные изделия по безавтоклавной технологии, так как они способны выдержать до 30 циклов [6-10].

Все природные цеолиты содержат молекулярную воду, которая существует в виде внутрикристаллической фазы. При термо- и вакуумной обработках вода удаляется и обычно вновь адсорбируется, если дегидратированные кристаллы окажутся в контакте с парами воды. Небольшие полярные молекулы воды легко проникают в каналы и полости цеолитов, поэтому одним из надежных способов определения общего объема внутрикристаллического пространства служит измерение объема жидкой воды, выделяемой из полностью гидратированного цеолита при вакуумной обработке. Такой подход предполагает, что молекулярные объемы цеолитовой и жидкой воды одинаковы. Хотя такое предположение не вполне строго, пользуясь им, можно получить результаты не менее точные, чем при оценке пористости из кристаллографически данных.

Уменьшение содержания воды с увеличением размеров катионов характерно для цеолитов с развитой системой пор. У цеолитов с более плотными каркасами, обмен катионов проявляется более заметно, и после замещения Na^+ на K^+ каркас вообще перестает адсорбировать воду. Подобное влияние размеров катионов на адсорбцию может наблюдаться только в том случае, если внутрикристаллический объем развит на множество очень узких пор. В принципе формы и размеры внутрикристаллических полостей и каналов отличаются таким же разнообразием, как и строение каркасов цеолитов.

Смесь соединений, молекулы которых достаточно различаются по размеру и форме, можно разделить на цеолитах количественно при однократной адсорбции, а в области низких температур разделение достаточно эффективно, даже если разделяемые молекулы не слишком отличаются друг от друга. Адсорбенты, молекулы которых имеют соответствующие размеры и форму, легко проникают в глубь кристалла, а для молекул с неподходящей конфигурацией и слишком крупным размером вход в окна закрыт. Синтезируя цеолиты, можно варьировать в них отношение Si/Al и, следовательно, содержание катионов. Путем ионного обмена поддается изменению и размер катионов, а если вводимые катионы отличаются от обмениваемых по заряду, одновременно меняется и концентрация катионов в элементарной ячейке.

Все стеновые материалы, используемые для возведения наружных стен зданий, должны подвергаться испытанию на теплопроводность. Теплопроводность сухих силикатных кирпичей и камней колеблется от 0,35 до 0,7 Вт/(м·К) и находится на линейной зависимости от их средней плотности. Теплопроводность цеолитосодержащих изделий колеблется в пределах 0,45-0,65 Вт/(м·К) в зависимости от вида применяемого заполнителя и плотности камня.

Возможность использования цеолита в качестве алюмосиликатного компонента для получения клинкера обусловлена: цеолитовые породы по химическому составу близки к глинам, поэтому к моменту декарбонизации кальцийсодержащего компонента алюмосиликатная составляющая из цеолита наиболее

активна и легко вступит в реакцию образования клинкерных минералов. В результате обжига сырьевых смесей установлено, что ввод цеолита вместо части суглинка приводит к ускорению процесса минерал образования, а также термостабильность природных цеолитов выше на 100-200 °С, температур разложения глинистых минералов. Однако отсутствие в составе цеолитов оксидов железа предопределяет использование дополнительного железосодержащего корректирующего компонента.

Цеолиты можно рассматривать и как структуры дефектного типа, потому что катионы в них распределены между несколькими подрешеткам, которые в целом содержать значительно больше катионных центров, чем это необходимо для нейтрализации отрицательных зарядов алюмосиликатного каркаса. По этой причине катионы, введенные в цеолит, распределяются по катионным позициям в каждой паре подрешеток до тех пор, пока не установится определенное равновесие. На распределение катионов среди возможных мест локализации влияет не только природа ионов, но и температура, наличие адсорбированных молекул, их концентрация, а также отношения Si/Al в кристаллах.

Преимуществами цеолитового компонента в цементной сырьевой смеси является облегчение синтеза клинкерных минерало, так как цеолиты являются хорошими антислеживателями. В качестве вероятных источников воды, вспучивающих природные цеолиты, могут рассматривать три вида воды. Во-первых, реально существующая в любом цеолитовом минерале молекулярная цеолитовая вода, сохраняющаяся до температуры спекания и размягчения породы. Во-вторых, ОН-группы, локализованные на дефектах алюмосиликатного каркаса цеолитового минерала, концентрация которого всегда связана с неопределенностью, обусловленной неопределенностью степени совершенства кристаллической структуры минерала. В-третьих, структурные ОН-группы, вероятно, образующиеся за счет протонирования каркаса природных цеолитов с обменными катионными при их термогидратации.

Цеолиты представляют собой нестехиометрические гидраты, причем нестехиометричность проявляется в них одновременно в самых различных формах. Так, в цеолитах мы сталкиваемся с явлениями изоморфного замещения, в результате которого вследствие катионного обмена типа $\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{K}^+$ или $2\text{Na} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$ состав катионов, а в последнем примере и число катионов могут непрерывного изменяться. Возможно и такие изоморфные замещения, как $\text{Al}, \text{Na} \leftrightarrow \text{Si}, \text{Al}$; $\text{Ca} \leftrightarrow \text{Si}, \text{Na}$. Они приводят к изменениям соотношения Si/Al, и в результате эти отношения могут измеряться дробными числами. Изменения содержания алюминия в каркасе Na – форм вызывает также изменение числа катионов. Нестехиометричность проявляется и в переменном содержании воды, которые плавно меняется в зависимости от давления паров, температуры и состава данного цеолита. Подобная нестехиометричность проявляется и после того, как воду полностью или частично вытеснят другие адсорбированные молекулы.

Цеолиты можно рассматривать и как структуры дефектного типа, потому что катионы в них распределены между несколькими подрешетками, которые в целом содержать значительно больше катионных центров, чем это необходимо

для нейтрализации отрицательных зарядов алюмосиликатного каркаса. По этой причине катионы, введенные в цеолит, распределяются по катионным позициям в каждой паре подрешеток до тех пор, пока не установится определенное равновесие. На распределение катионов среди возможных мест локализации влияет не только природа ионов, но и температура, наличие адсорбированных молекул, их концентрация, а также отношение Si/Al в кристаллах.

Спектропическое исследования показали, что при частичной дегидратации цеолитов, содержащих двухвалентные обменные катионы, осуществляется протонирование каркаса цеолитов, то есть частично молекулярная цеолитовая вода преобразуется в более температуроустойчивые структурные гидроксильные группы. В вакуумных условиях полное дегидроксилирование осуществляется при нагревании до 800 °С. При обжиге природных цеолитов на воздухе процессы дегидратации должны сдвигаться в область более высоких температур, что обеспечивает сохранение источника газовой фазы до температуры спекания и плавления породы. Не исключена частичная капсуляция молекул воды в порах спекшейся породы при обжиге образцов на воздухе.

Целесообразным представляется применение цеолитов в качестве минеральных добавок к различным материалам в производстве строительных материалов. Кроме того, это позволит решить проблему утилизации отработанных сорбентов после стадии доочистки сточных вод от различных загрязнителей.

Основной задачей проводимых нами исследований на перспективу является выявление закономерностей влияния остаточных концентраций сорбированных веществ, в отработанных цеолитах, на свойства получаемых строительных материалов.

Роль воды в процессе формирования цеолитов можно сравнить с действием катализаторов на промежуточных этапах, поскольку присутствие воды на определенной стадии способствует стабилизации решетки и тем самым благоприятствует синтезу пористых каркасных силикатов, но после того как формирование каркаса завершено, воду можно удалить, и ни вода, ни топология каркаса никаким изменениям при этом не подвергаются.

Заключение

В данной статье мы попытались показать некоторые принципиальные особенности реакций, протекающих в гидротермальных условиях, осветить их теоретическое и практическое значение и обратить внимание на те большие возможности, которые открывает их использование для синтеза ряда типичных представителей класса силикатов, в том числе и гидратированных алюмосиликатов. Синтез этих минералов можно провести только в гидротермальных условиях при сравнительно низких температурах, и, многие явления, наблюдаемые при синтезе цеолитов, можно объяснить исходя из общих законов химии растворов.

По существу, химию гидротермальных процессов рассматривать с позиций химической термодинамики обычных водных растворов, хотя гидротермальные реакции протекают при повышенных температурах и давлениях. Роль

гидротермальных условий сводится главным образом к тому, что они ускоряют такие реакции, которые термодинамически допустимы и при температурах ниже 100 °С, хотя скорость их очень мала. При столь низких температурах ощутимые результаты таких химических превращений были бы заметны только через чрезвычайно большие отрезки времени.

Таким образом, исследования в гидротермальных условиях дают возможность проследить химические превращения тугоплавких соединений в водных растворах, и уже сейчас, что работа в этом направлении имеет перспективы.

Литература:

1. Байдакова Е. В., Байдаков Е. М. Цеолиты как средство очистки воды от радионуклидов. Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2011, 1, 146 – 150.
2. Лобода Б., Тареев А. Цеолиты новое применение старого минерала. Научный журнал «Наука и жизнь». 2010, 9, 98-110.
3. Шушков Д. Природные цеолиты. Вестник института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2008, 9, 10 – 11.
4. Каратаев О.Р., Шамсутдинова З.Р. Повышение эффективности флотационной очистки сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий. Вестник Казанского технологического университета. 2014, 17(22), 207 – 210.
5. Deem M.W., Pophale R., Cheeseman P.A., Earl D.J. Computational Discovery of New Zeolite-Like Materials. J. Phys. Chem. C. 2009, 113 (51), 21353-21360.
6. Baerlocher C., McCusker L B, Olson DH (2007) Atlas of Zeolite Framework Types. New York: Elsevier Inc., New York, USA. ISBN: 978-0-444-53064-6
7. Pinar A. B. Gomez-Hortiguera L., Perez-Pariente J. Cooperative Structure Directing Role of the Cage-Forming Tetramethylammonium Cation and the Bulkier Benzylmethylpyrrolidinium in the Synthesis of Zeolite Ferrierite. Chemistry of Materials. 2007, 19 (23), 5617-5626.
8. Обуздина М.В., Руш Е.А. Современные технологии использования цеолитов при производстве строительных материалов. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013, 4 (40), 193-197.
9. Руш Е.А., Обуздина М.В. Создание и исследование модифицированных адсорбентов на основе цеолитов. Восточного Забайкалья для очистки промышленных сточных вод в локомотивных депо. Известия Трансиба. 2013, 1(13), 27-33.
10. Машикина С.В. Техничко-экономические аспекты применения цеолитов в технологических процессах. Вести Инновационного Евразийского университета. 2007, 1, 156-159.
11. Кисилева А.В. Добавка цеолитосодержащих материалов в цемент. Цемент. 1989, 8, 13-14.
12. Обуздина М. В., Руш Е.А. Исследование закономерностей сорбционного извлечения органических загрязнителей из промышленных сточных вод цеолитов. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011, 1 (29), 117-123.

References:

1. Baydakova E. V., Baydakov E. M. Tseolityi kak sredstvo ochistki vodyi ot radionuklidov [Zeolites as a means of water purification from radionuclides]. Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy selskokozyaystvennoy akademii = Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2011, 1, 146 – 150. (in Russ.)
2. Loboda B., Tareev A. Tseolityi novoe primeneniye starogo mineral [Zeolites are a new application of an old mineral. Scientific journal "science and life". Nauchnyiy zhurnal «Nauka i zhizn» = Scientific journal "Science and life". 2010, 9, 98-110. (in Russ.)

3. Shushkov D. *Prirodnyie tseolityi [Natural zeolites]. Zhurnal Vestnik instituta geologii Komi nauchnogo tsentra Uralskogo otdeleniya RAN = Bulletin of the Institute of Geology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch.* 2008, 9, 10 – 11. (in Russ.)
4. Karataev O. R., Shamsutdinova Z. R. *Povyishenie effektivnosti flotatsionnoy ochistki stochnyih vod neftepererabatyivayuschih predpriyatiy [Improving the efficiency of flotation wastewater treatment of oil refineries]. Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta = Bulletin of Kazan Technological University.* 2014, 17(22), 207 – 210. (in Russ.)
5. Deem M. W., Pophale R., Cheeseman P. A., Earl D. J. *Computational Discovery of New Zeolite-Like Materials. J. Phys. Chem. C.* 2009, 113 (51), 21353-21360.
6. Baerlocher C, McCusker LB, Olson DH (2007). *Atlas of Zeolite Framework Types.* New York: Elsevier Inc., New York, USA. ISBN: 978-0-444-53064-6
7. Pinar A. B. Gomez-Hortiguela L., Perez-Pariente J. *Cooperative Structure Directing Role of the Cage-Forming Tetramethylammonium Cation and the Bulkier Benzylmethylpyrrolidinium in the Synthesis of Zeolite Ferrierite. Chemistry of Materials.* 2007, 19 (23), 5617-5626.
8. Obuzdina M.V., Rush E.A. *Sovremennyye tehnologii ispolzovaniya tseolitov pri proizvodstve stroitelnyih materialov [Modern technologies for the use of zeolites in the production of building materials]. Sovremennyye tehnologii. Sistemnyiy analiz. Modelirovanie = Modern technologies. System analysis. Modeling.* 2013, 4 (40), 193-197. (in Russ.)
9. Rush E.A., Obuzdina M.V. *Sozдание i issledovanie modifitsirovannyih adsorbentov na osnove tseolitov. Vostochnogo Zabaykalya dlya ochistki promyshlennyyih stochnyih vod v lokomotivnyih depo [Creation and research of modified adsorbents based on zeolites. Eastern Transbaikalia for industrial wastewater treatment in locomotive depots]. Izvestiya Transsiba = News of the Transsib.* 2013, 1(13), 27-33. (in Russ.)
10. Mashkina S.V. *Tehniko-ekonomicheskie aspekty primeneniya tseolitov v tehnologicheskikh protsessah [Technical and economic aspects of the use of zeolites in technological processes]. Vesti Innovats. Evraziys. universiteta = News of the Innovative Eurasian University.* 2007, 1, 156-159.
11. Kisileva A.V. *Dobavka tseolitosoderzhaschih materialov v tsement [Addition of zeolite-containing materials to cement]. Tsement = Cement.* 1989, 8, 13-14. (in Russ.)
12. Obuzdina M.V., Rush E.A. *Issledovanie zakonomernostey sorbtzionnogo izvlecheniya organicheskikh zagryazniteley iz promyshlennyyih stochnyih vod tseolitov [Investigation of the laws of sorption extraction of organic pollutants from industrial wastewater of zeolites]. Sovremennyye tehnologii. Sistemnyiy analiz. Modelirovanie = Modern technologies. System analysis. Modeling.* 2011, 1(29), 117-123. (in Russ.)

К.А. Акмалаев^{1*}, Р.Е. Нурлыбаев², Е.С. Орынбеков³

¹Satbayev University, Сәулет және құрылыс институты,

«Құрылыс және құрылыс материалдары» кафедрасы, Алматы, Қазақстан,

²«SAVENERGY» жауапкершілігі шектеулі серіктестігі, Алматы, Қазақстан.

³Халықаралық білім беру корпорациясы (ҚазБСҚА кампусы), Алматы, Қазақстан,

Авторлар туралы мәліметтер:

Акмалаев Кенжебек Акмалаевич – техника ғылымдарының докторы, профессор, Satbayev University Құрылыс және құрылыс материалдары кафедрасы, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-9796-8813>, email:7598154@mail.ru, kakmalaiuly@bk.ru

Нурлыбаев Руслан Ергалиевич – Ph.D (ҚР БҒМ), директор, ЖШС «SAVENERGY», Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-0161-6256>, email: rusya_nre@mail.ru

Орынбеков Елжан Серикович – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық білім беру корпорациясы (ҚазБСҚА кампусы), Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-2131-6293>, email: eljan_79@mail.ru

ҚҰРЫЛЫС МАТЕРИАЛДАРЫН ӨНДІРУ КЕЗІНДЕ ТАБИҒАТТЫ ҰТЫМДЫ ПАЙДАЛАНУ ЖӘНЕ РЕСУРСТАРДЫ ҮНЕМДЕУ

Аңдатпа. Табиғи цеолиттерді пайдалану және өнеркәсіптік суды тазарту процесерінде қолданылатын пайдаланылған сорбент-цеолиттерді кәдеге жарату мәселесі қарастырылады. Оларды портландцемент пен бетон өндірісінде қоспалар ретінде пайдаланудың перспективалы мүмкіндігі көрсетілген. Цеолит құрылыс материалдары өнеркәсібіндегі ең құнды минерал болып табылады. Цеолиттер – құрамында катиондар ретінде периодтық жүйенің I және II топтарының элементтері, атап айтқанда натрий, калий, магний, кальций, стронций және барий бар кристалды сулы алюмосиликаттар.

Түйін сөздер: алюмосиликаттар, цеолит, цемент, синтез, қоспа, құрылыс материалдары, клиноптилолит, қаңқа.

К.А. Akmalaev^{1*}, R.E. Nurlybaev², Ye.S. Orynbekov³

¹Satbayev University, Institute of Architecture and Construction, Department of "Construction and Building Materials", Almaty, Kazakhstan

²The Limited Liability Company «SAVENERGY», Almaty, Kazakhstan

³International Educational Corporation (KazGASA campus), Almaty, Kazakhstan

Information about the authors:

Akmalaev Kenzhebek Akmalievich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Construction and Building Materials Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-9796-8813>, email: 7598154@mail.ru, kakmalaiuly@bk.ru

Nurlybayev Ruslan Ergalievich - PhD, Director, LLP «SAVENERGY», Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-0161-6256>, email: rusya_nre@mail.ru

Orynbekov Yelzhan Serikovich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, International Educational Corporation (campus KazGASA), Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-2131-6293>, email: eljan_79@mail.ru

RATIONAL USE OF NATURAL RESOURCES AND RESOURCE CONSERVATION IN THE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS

Annotation. The problem of using natural zeolites and utilization of spent sorbents-zeolites used in industrial water purification processes is considered. The promising possibility of their use as additives in the production of cements and concretes, as additives to Portland cement is shown. Zeolites are crystalline aqueous aluminosilicates containing as cations elements I and II groups of the periodic table, in particular sodium, potassium, magnesium, calcium, strontium and barium.

Keywords: aluminosilicates, zeolite, cement, synthesis, additive, building materials, clinoptilolite, frame.