

Таблица 3

Некоторые пигментные свойства механической смеси диоксида титана и полиметиленакарбамида

Показатель	TiO <sub>2</sub>	+1% ПКМ	+5% ПКМ	+10% ПКМ
Разбелывающая способность, у.е.	2060	2020	1940	1840
Укрывистость, г/м <sup>2</sup>	20	22,45	23	23,6
Диспергируемость, мкм	20	72	80	86
Маслоемкость, г/100г пигмента	20,23	20,34	20,43	20,78
Белизна, у.е.	96,64	96,62	96,64	96,58
Желтизна, у.е.	1,91	1,88	1,81	1,82

Анализ экспериментальных данных показывает, что при механическом смешении диоксида титана и полиметиленакарбамида достигаются результаты, аналогичные случаю модификации карбаминоформаль-

дегидным олигомером – ухудшаются такие показатели как диспергируемость, разбелывающая способность.

Исходя из полученных данных, мы сделали вывод, что выбранная нами в качестве модификатора смола КФМТ-15 коагулирует при исчерпывающем разбавлении водой, следствием чего является образование механической смеси диоксида титана и отвержденного карбаминоформальдегидного олигомера.

#### Литература

1. Ермілов П.И. Диспергирование пигментов / П.И. Ермілов. – М.: Химия, 1971. – 300 с.
2. Керча Ю.Ю. Структура та властивості модифікованих сечовиноформальдегідних олігомерів / Ю. Ю. Керча, О. В. Маслош, В. В. Котова, Д. В. Маслош, В. І. Штомпель // Полімерний журнал. – 2004.- №1.- С – 21-25.

УДК 76.01.94

# СИНТЕЗ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ АНИОННЫХ АДСОРБЕНТОВ

**Э.О. Бутенко**

Аспирант\*

Контактный тел.: (0629) 53-40-08

E-mail: butenkoeo@rambler.ru

**А.Е. Капустин**

Доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой\*

\*Кафедра химической технологии и инженерии Приазовский государственный технический университет ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, Украина, 87500

Контактный тел.: (0629) 41-62-72

E-mail: kapustin\_a\_e@pstu.edu

*Досліджені різні умови синтезів аніонних сорбентів різних типів, а також обговорені різні технологічні методи здобуття аніонних сорбентів в промислових умовах*

*Ключові слова: аніонні адсорбенти, синтез, формування, технологія здобуття*

*Исследованы различные условия синтеза анионных сорбентов различных типов, а также обсуждены различные технологические методы получения анионных сорбентов в промышленных условиях*

*Ключевые слова: анионные адсорбенты, синтез, формирование, технология получения*

*The different terms of syntheses of anionic sorbents of different types are investigation, the different pilot-scale technological methods of anionic sorbents are discussed*

*Keywords: anionic adsorbents, synthesis, forming, industrial technology*

## Введение

Большинство анионных адсорбентов являются продуктами изоморфного замещения в кристаллической решетке. Замена одного элемента другим, обладающим более высокой степенью окисления, приводит к

возникновению избыточного положительного заряда, для компенсации которого требуется наличие анионов. Таким образом устроены соединения, относимые, по современной классификации, к различным классам: смешанные гидроксиды, полицианиды, нерастворимые соли, обращенные цеолиты. Свойства этих веществ во

многим одинаковы, и самое главное, прослеживается сходная зависимость между структурой твердого тела и его свойствами. Анионные адсорбенты обладают набором различных основных центров – это слабые брэнстедовские центры – гидроксилы для гидратированных поверхностей и сильные Льюисовские центры в парах  $O^{2-}-Mn^{+}$ . Основность слоистых двойных гидроксидов зависит от температуры прокалывания, состава и структуры сорбентов, соотношения катионов. Методам синтеза анионных адсорбентов с заранее заданными свойствами, а также технологиям промышленного получения данных веществ, посвящена данная работа.

**Основные свойства анионных сорбентов**

Наиболее распространенный класс анионных адсорбентов – двойные гидроксиды [1, 2]. Известно много представителей этого класса, они довольно подробно исследованы, хотя для промышленного их использования требуется еще много дополнительных экспериментов. К классу гидроксидов примыкает и класс смешанных оксидов, поскольку большую часть двойных оксидов получают именно из двойных гидроксидов, а главное, при термообработке двойных гидроксидов, обладающих основными свойствами, образуются двойные оксиды, также обладающие основными свойствами. Кроме того, невозможно провести четкую границу между оксидами и гидроксидами, как впрочем, и между двойными оксидами и солями.

Анионные адсорбенты обладают набором различных основных центров – это слабые брэнстедовские центры – гидроксилы для гидратированных поверхностей и сильные Льюисовские центры в парах  $O^{2-}-Mn^{+}$ . Основность слоистых двойных гидроксидов зависит от температуры прокалывания, состава и структуры сорбентов, соотношения катионов.

Например, катионы  $Zn^{2+}$  и  $Ni^{2+}$  дают менее основные анионные адсорбенты, чем  $Mg^{2+}$ . Предшественники в карбонатной форме дают более основные адсорбенты, чем предшественники, содержащие  $Cl^{-}$  или  $SO_4^{2-}$ .

Исследования анионных адсорбентов начались с работ Фейткнехта, который обнаружил, что при осаждении гидроксидов металлов из смеси растворов их солей образуется новая фаза - двойной гидроксид, обладающий основными и анионообменными свойствами. С тех пор были получены и изучены самые различные сложные гидроксиды, обладающие аналогичными свойствами [3].

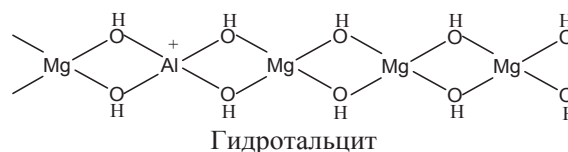
Структуру и связанные с ней основные и сорбционные свойства анионных сорбентов лучше всего изучать, рассматривая их как синтетические аналоги анионных глин. Все глины имеют обменную емкость примерно одинаковую для катионов и анионов, а кислотно-основные свойства определяются, в первую очередь, значением pH среды:



Твердые вещества, у которых ионный обмен происходит на концевых группах, имеют весьма небольшую обменную емкость, изменяющуюся пропорциональ-

но площади поверхности. Число активных центров в гидроксидах сильно повышается при изоморфном замещении катионов металлов. Так число кислотных центров, имеющихся в каолине, может быть существенно увеличено при замещении катионов  $Al^{3+}$  в октаэдрическом слое на  $Mg^{2+}$  или  $Fe^{2+}$ , а катионов  $Si^{4+}$  в тетраэдрическом слое на катионы  $Al^{3+}$ . При этом слои приобретают отрицательный заряд и для его компенсации между слоями находятся катионы щелочных металлов, а также молекулы сольватационной воды. Эти катионы могут быть замещены и другими, что и определяет катионообменные свойства глинистых минералов. Число кислых центров зависит от степени изоморфного замещения, но во всех случаях она значительно выше, чем обмен на краях и углах.

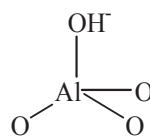
Гидроксиды, обладающие основными свойствами, также могут быть получены путем изоморфного замещения катионов основных слоев. Естественно, в этом случае замещающие катионы должны иметь степень окисления больше, чем замещаемые. Например, гидротальцит может быть получен путем изоморфного замещения ионов  $Mg^{2+}$  ионами  $Al^{3+}$  в структуре брусита ( $Mg(OH)_2$ ):



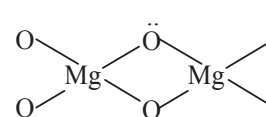
Из одних и тех же элементов можно получить различные анионные сорбенты. Наиболее низкой силой основных центров обладают анионные сорбенты, построенные из металлов равной степени окисления. Их сила определяется лишь индукционным влиянием за счет смещения электронной плотности.

Согласно определению Брэнстеда основанием является вещество, способное акцептировать протон, а основание по Льюису - соединение, являющееся донором пары электронов. Поскольку основания Льюиса могут присоединять протон, то часто брэнстедовские основные центры льюисовские основные центры называют просто основными центрами.

Брэнстедовский основной центр в таких соединениях может представлять собой гидроксил, локализованный на тетраэдрическом алюминии. Льюисовские основные центры представляют собой неподеленную электронную пару кислорода:



брэнстедовский центр



льюисовский центр

Зависимость числа основных центров на поверхности Mg-Al-гидроксида в карбонатной форме от степени изоморфного замещения в бруситоподобном слое показана на рис. 1.

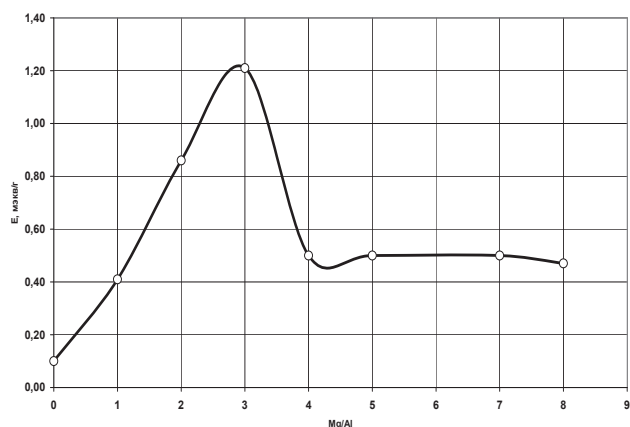
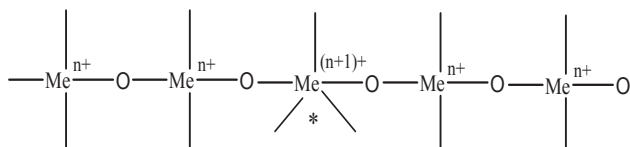
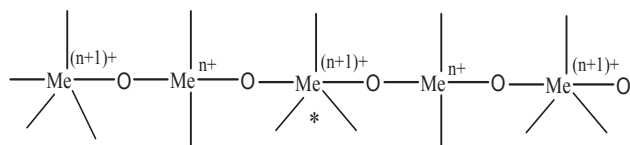


Рис. 1. Зависимость основности Mg-Al двойного гидроксида от степени изоморфного замещения

Основным фактором, определяющим количество основных центров и их силу, является количество изоморфных замещений и их частота. Очевидно, что центр типа:



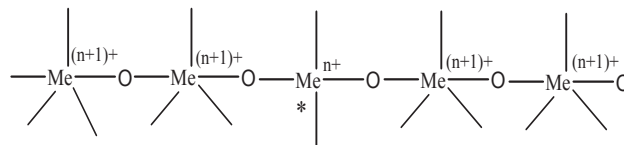
будет обладать более сильной основностью, чем центр типа:



из-за более сильного смещения электронной плотности.

Существует обратнопропорциональная зависимость между силой и числом основных центров. То есть, максимальной силой будет обладать центр образца, у которого изоморфно замещен один единственный атом; емкость такого образца будет минимальна. Соответственно, образец с максимальным числом основных центров будет обладать минимальной силой основных центров [4-5].

При любых соотношениях Me(N)/Me(M) реальная структура сложных сорбентов будет далека от идеальной, то есть от равномерного чередования центров изоморфного замещения ...AABAABAABA... Если рост оксидной цепи определяется статистически, то реальные сложные гидроксиды практически при любых стехиометрических соотношениях обладают центрами типа



являющимися центрами кислотного типа, хотя их кислотность может практически быть незаметна при сильных основных свойствах образующих гидроксидный слой элементов.

Безусловно, количество и сила центров кислотного типа также зависит от степени изоморфного замещения. При исследовании основности сорбентов с различным соотношением катионов была установлена экстремальная зависимость от состава (табл. 1). Для приведенного анионного сорбента основные центры лежат в области  $17,2 < H_0 < 18$ .

Таблица 1

Изменение кислотно-основных свойств двойного гидроксида при изменении состава

MgO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , моль/моль	2,49	3,80	5,23	9,33	17,6
Кислотность, мэкв/г	0,41	0,32	0,21	0,06	0
Основность, мэкв/г	0,73	0,54	0,63	0,85	0,94

От степени изоморфного замещения, то есть от катионного состава матрицы слоистых двойных гидроксидов зависят не только основность, но и число центров определенной силы. Для анионных сорбентов на основе магния и алюминия такая зависимость показана на рис. 2.

Поскольку изоморфное замещение катионов является неупорядоченным процессом, можно предположить, что на строение и свойства анионных сорбентов, построенных по этому принципу, будет оказывать сильное влияние временной фактор процесса их синтеза.

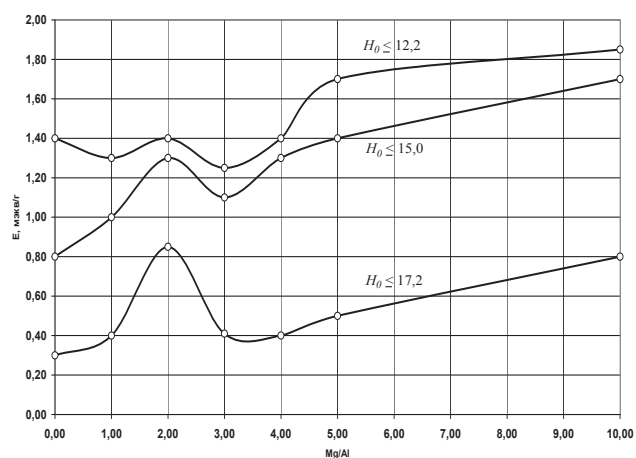


Рис. 2. Распределение центров по силе в зависимости от состава

Упорядоченность структуры анионных сорбентов может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на сорбционные свойства. В некоторых случаях, в частности, когда необходимо максимально избежать наличия кислых центров, следует стремиться к наиболее упорядоченной структуре,

однако, активность сорбентов в большинстве случаев выше, когда они находятся в неуровновешенных состояниях.

### Синтезы анионных сорбентов

Существуют различные методы получения анионных сорбентов.

Наиболее часто применяемым и хорошо разработанным способом получения является осаждение гидроксидов из растворов солей. Рассмотрение недостатков и преимуществ различных методов позволило выработать следующую методику, близкую к оптимальной.

Раствор солей металлов с концентрациями, близкими к 100 г/л, взятых в стехиометрических соотношениях, при перемешивании вливают в раствор, содержащий примерно двукратный избыток щелочи и карбонатов (конечное значение pH 8-10). Осадок кристаллизуется при нагревании не менее 18 часов. Чем выше температура кристаллизации и чем больше время, тем лучше получается продукт. При низких температурах возможно образование побочных, нежелательных фаз.

На свойства получаемых анионных сорбентов, могут оказать влияние природа осадителя и осаждаемых компонентов, скорость осаждения, интенсивность перемешивания и другие факторы. Варьированием перечисленных параметров можно увеличивать выход целевого продукта и улучшать его свойства [6-7].

В качестве осадителя применяются растворы KOH, NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, аммиака. Присутствие сверхстехиометрического количества гидроксида натрия сильно увеличивает область кристаллизации гидроксосульфата алюминия-кальция за счет сокращения области кристаллизации гидроксида алюминия. Далеко не все анионные сорбенты могут быть получены при использовании сильноосновных осадителей. Медно-алюминиевые анионные сорбенты могут быть получены только при использовании растворов гидрокарбонатов, поскольку при высоких значениях pH медь осаждается в виде гидроксокарбонатов. Значение pH среды при синтезе анионных сорбентов имеет определяющее значение.

Как правило, скорость осаждения возрастает с увеличением pH, с другой стороны, селективность процесса снижается. Наибольшая селективность достигается при осаждении сильно разбавленными растворами щелочей, взятых в стехиометрических количествах, однако, процесс образования анионных сорбентов в этом случае может продолжаться месяцами.

Для ускорения был предложен метод контролируемого гидролиза.

Этот метод заключается в осаждении из разбавленного хлоридного или нитратного раствора первого катиона и поддержании постоянного значения pH при осаждении второго катиона. Скорость осаждения увеличивается, когда щелочь добавляется в количествах, превышающих стехиометрические. В табл. 2 показаны результаты осаждения методом контролируемого гидролиза.

Таблица 2

Реакционные условия получения различных анионных сорбентов методом контролируемого гидролиза

M1	M2	M2/M1	pH	Время, мин
Al(III)	Ni(II)	3,68	6,9	110
Al(III)	Co(II)	2,99	7,4	440
Al(III)	Mn(II)	2,04	7,5	60
Al(III)	Mg(II)	1,61	8,4	210
Fe (III)	Co(II)	3,18	7,4	2460
Si(IV)	Co(II)	2,42	7,4	410
Zn(II)	Co(II)	1,28	7,4	130
Zn(II)	Ni(II)	1,39	6,9	240
Al(III)	La(IV)	1,80	7,8	700
Fe (III)	V (IV)	4,0	4,0	1200

Более перспективным и технологически простым является механохимический метод получения анионных сорбентов. Полученные таким методом соединения не отличаются по химическому составу от полученных осаждением, но отличаются по своим физико-химическим характеристикам. В "сухих способах" получения, например, Zn-Cr-анионного сорбента, удельная поверхность колебалась от 5 до 22 м<sup>2</sup>/г, а в осадительных методах она была более, чем 70 м<sup>2</sup>/г.

### Термическая обработка анионных сорбентов

Термическая обработка анионных сорбентов влияет как на количество и силу основных центров, так и на их ситовые свойства. Типичная термограмма показана на рис. 3.

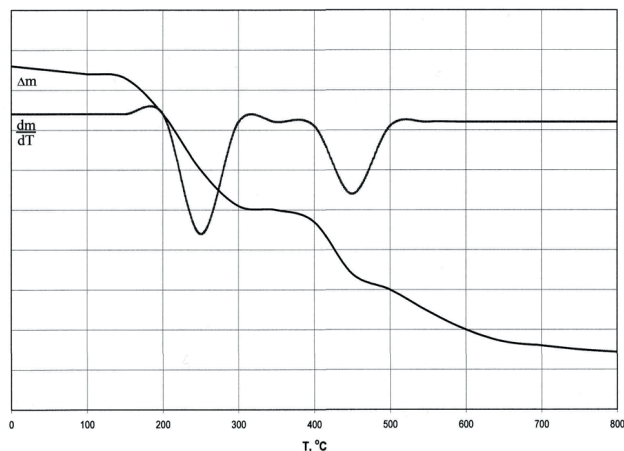


Рис. 3. Типичная кривая термической обработки слоистых двойных гидроксидов

При прокаливании Mg-Al-анионного сорбента было обнаружено, что максимальное количество основных центров имеется в сорбенте, полученном при термообработке при температуре 450°C. Прокаливание же при температурах ниже 400°C М дает слишком низкую основность. Исследование изменения числа основных центров отдельно брэнстедовского и льюисовского типов при температурной обработке на воздухе было проведено при помощи индикаторного метода и результаты показаны на рис. 4.

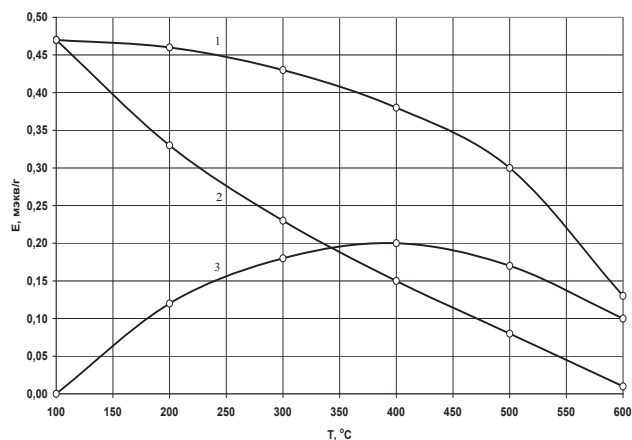


Рис. 4. Изменение основности анионного сорбента при термообработке (1 — общая, 2- брэнстедовская, 3 — льюисовская)

Термообработка анионных сорбентов до температуры 300°C приводит к образованию исключительно однородной смеси оксидов металлов с содержанием одной гидроксильной группы на катион металла М(III).

Методом термической обработки можно приготовить сорбенты с высокой основностью и активностью центров, однако, при этом следует уделять большое внимание составу газовой фазы. При прокаливании анионных сорбентов на воздухе, а не в атмосфере инертного газа или под вакуумом возможно отравление активных центров молекулами углекислого газа.

#### Требования к анионным сорбентам

Многие годы разработка и приготовление анионных сорбентов являлось скорее искусством или алхимией, но не наукой, а процессом, в котором преобладали ошибочные или ненужные эксперименты. Эти эксперименты были многочисленны и длительны, и не были связаны с другими научными исследованиями, прежде всего с аналитической химией и химией твердого тела. Считалось нормальным и приемлемым, если анионный сорбент имел, по сравнению со своим лабораторным прототипом, активность меньшую на 1-2 порядка.

Разработка анионного сорбента включает в себя целый ряд стадий, начиная с подбора наиболее активного сорбента, и заканчивая выбором метода формирования активных частиц. Во многих случаях этот процесс значительно упрощается, если создание нового сорбента фактически является улучшением уже работающего в промышленности. Для большинства сорбентов изучение влияния различных параметров на активность и селективность проводят не на основе научных теорий, а методом подбора и однофакторными экспериментами. С этой точки зрения, создание анионных сорбентов гораздо в большей степени базируется на научном предвидении, чем для остальных сорбентов.

Анионные сорбенты являются композитными материалами, которые характеризуются следующими параметрами:

1. Количеством компонентов
2. Формой частиц
3. Размером частиц и их распределением
4. Объемом пор и их распределением
5. Удельной поверхностью

Хотя на активность анионных сорбентов влияет большое число параметров, самым важным является природа активного центра.

Лучший анионный сорбент должен обеспечивать набор оптимальных свойств, таких как активность, селективность, длительность работы, возможность регенерации, и при этом должен быть дешевым и экологически приемлемым. Эти параметры почти всегда противоречат друг другу, и создание сорбента заключается в нахождении взаимоприемлемого компромисса. Математическое описание влияния каждого параметра на активность, а также решение всей системы параметрических уравнений позволяет ускорить процесс оптимизации.

#### Получение анионных сорбентов

Процесс получения анионных сорбентов может рассматриваться как последовательность элементарных стадий, каждая из которых может быть описана в общем виде. Для получения анионных сорбентов могут использоваться различные методы — осаждение, высокотемпературный синтез, механохимические процессы и т.д. В зависимости от процесса получения анионные сорбенты можно разделить на массивные или нанесенные и импрегнированные анионные сорбенты. В первом случае сорбционные свойства определяются созданием новой фазы, а во втором активная фаза внедряется или закрепляется на твердом теле. Методы фиксации определяются главным образом поверхностью носителя [8].

При синтезе массивных сорбентов пересыщение раствора может достигаться как физическим (температура, испарение растворителя), так и химическим методами (изменение рН, введение комплексообразователей).

Дальнейшее превращение твердой фазы протекает через 2 элементарные стадии:

- зародышеобразование, то есть появление мельчайших элементарных частиц новой фазы, стабильных в условиях осаждения
- рост и агломерация частиц

Обычно требуется получать осадки с определенными заданными свойствами. Эти свойства — тип образующейся фазы, химический состав, степень чистоты, наличие примесей, размер частиц, удельная поверхность, размер пор и т.д.; а так же требования к последующим процессам обработки — высушивание, таблетирование, термообработка.

Золь-гель метод является гомогенным процессом который обеспечивается непрерывным превращением растворенного вещества в гидратированный твердый предшественник — гидрогель. Золь-гель метод имеет некоторые преимущества перед осаждением, поскольку в нем легче контролировать текстуру, состав и структурные свойства конечных твердых тел. Химия наночастиц рассматривает золь-гель метод как основной способ получения высокодисперсных материалов.

В этом методе легко выделить 4 основных шага: 1 - образование гидрогеля, 2 - рост частиц, 3 - удаление растворителя, 4- термообработка. На каждой стадии данного процесса можно регулировать параметры конечного продукта.

Гидрофильные коллоидные растворы образуются мицеллами, которые остаются разделенными из-за электростатических зарядов на их поверхностях и в окружающем растворе. Размер удельной поверхности твердого тела зависит от размера исходных мицелл, а также от условий созревания и высушивания. В связи с возможностью получения твердых тел с высокой удельной поверхностью, гомогенным составом, с контролируемой порозностью, золь-гель метод широко используется для синтеза микро- и мезопористых материалов, смешанных оксидов, слоистых двойных гидроксидов, гидроксоапатитов, композитных соединений и т.д.

Нанесенные анионные сорбенты представляют собой активную фазу, диспергированную на носителе. Ионно-обменные реакции протекают на внутренней поверхности, то есть внутри пор сорбента. Хорошие носители сочетают в себе относительно высокую дисперсию с высокой степенью термической стабильности. Кроме того, носитель должен быть способен генерировать частицы большого размера, состоящие из очень маленьких легко спекаемых кристаллов активной фазы, причем спекание должно предотвращаться за счет разделения компонентов. Наиболее общими методами приготовления являются импрегнирование, ионный обмен, адсорбция и соосаждение.

Импрегнирование является процедурой, в которой определенный объем раствора, содержащий предшественник активной фазы, контактирует с твердым носителем, который затем высушивается для удаления поглощенного растворителя. Два метода контактирования могут быть выделены в зависимости от объема раствора – влажное импрегнирование и импрегнирование с минимальной влажностью. При влажном импрегнировании (А) используется избыток раствора. После выдерживания в течение некоторого времени твердое тело отделяется, и остаток растворителя удаляется высушиванием. Состав одновременно загружаемого раствора будет меняться, образующиеся обломки образуют шлам, который препятствует полному использованию раствора. Теплота адсорбции выделяется лишь в короткий период времени. При импрегнировании с минимальной влажностью (В) объем раствора соответствующей концентрации примерно равен или слегка меньше, чем объем пор носителя.

В методе соосаждения происходят два процесса: 1 – осаждение из раствора, взаимодействие с поверхностью носителя. Суспензия образуется с использованием порошкообразных частиц требуемой соли в достаточном количестве, затем добавляется щелочной раствор для того, чтобы вызвать осаждение.

Осадки получают, используя порошки или мелкие частицы требуемой соли, в необходимых количествах. Затем добавляется достаточное количество щелочного раствора, чтобы вызвать процесс осаждения. Однако, осаждения из объема раствора следует избегать, так как это приводит к росту осаждаемого вещества во внешних порах носителя. Хорошо диспергированная и однородная активная фаза достигается, когда ОН-

группы носителя реагируют непосредственно с ионами, находящимися в растворе; именно этот процесс определяет характер образующейся фазы. Скорость зародышеобразования должна быть выше у поверхности носителя, чем в объеме раствора, однородность раствора должна сохраняться. Метод получения стандартного осадка состоит в использовании процесса гидролиза мочевины, как источника ОН-групп, вместо обычной щелочи. Мочевина растворяется в воде и медленно разлагается при 90°C, давая однородную концентрацию ионов ОН- как в самом растворе, так и в порах. Таким образом, осаждение происходит равномерно по всей поверхности носителя (табл. 3).

Таблица 3

## Основные гидротермальные изменения

Исходная фаза	Конечная фаза
Аморфное твердое тело	Кристаллическое твердое тело
Маленькие кристаллы	Большие кристаллы
Маленькие аморфные частицы	Большие аморфные частицы
Кинетические фазы	Термодинамические фазы
Высокопористые гели	Низкопористые гели

Отделение твердой фазы от маточного раствора может быть проведено декантацией, фильтрацией, центрифугированием с последующим промыванием дистиллированной водой для удаления исходной жидкости. Операции сепарирования легки для кристаллических осадков и трудны, и даже бесполезны для гидрогелей. Выбор метода сепарации зависит от размера частиц, например, мелкие частицы могут потребовать фильтрации или центрифугирования.

Термальная обработка включает в себя высушивание, прокаливание и активизацию. Сушка – это удаление растворителя из пор твердого материала. Это обычная процедура для кристаллизованных твердых тел, но она становится критической для хлопьевидных осадков, флокулятов и тем более для гидрогелей, которые могут содержать до 90 % воды. В двух последних случаях удаление воды может стать результатом коллапса структуры и сушка должна быть хорошо контролируемой, если необходимо получить высокую пористость. В зависимости от того, какая процедура выбиралась чтобы высушить гидрогель, то окончательное твердое тело может иметь различное название: ксерогель, аэрогель, карбогель и т.д. Структура твердого тела сохраняет структурные свойства сырого геля, так получают высокопористые твердые тела – аэрогели или карбогели, соответственно.

Кальцинация означает обжиг без образования жидкой фазы и является дальнейшей тепловой обработкой после высушивания. При использовании различных атмосфер (азот, вакуум и т.д.) чаще используют термин «термообработка, а не «кальцинация». Вместе с сушкой, эта операция может происходить до или после формирующей операции. В общем, термин «активации» соответствует другим термальным обработкам, таким как восстановление и сульфирование, выполняемым в специальных атмосферах в начале запуска реактора. Более того, активация не предполагается, как обязательная подготовительная процедура.

Хотя во многих случаях не достаточно полагаться на лабораторное тестирование, формирование сорбентов является ключевым шагом в процессе их подготовки. Форма и размер частиц сорбента могут определять сорбционную активность, сопротивление частицы к истиранию и разрушению, уменьшению падения давления, уменьшить стоимость производства и равномерное распределение пыли. К сожалению, некоторые из этих целей взаимно противоположны. Например, частица маленького размера увеличивает активность, но приводит к падению давления. Таким образом, выбор формы и размера диктуется в основном типом реактора (табл. 4).

Таблица 4

## Критерии для выбора размера и формы частиц

Реактор	Проблема	Наилучшая форма
Реактор с подвижным слоем	Слабое тонкое улавливание циклонами	Большие сферы
	Слабая подвижность слоя	Маленькие сферы
	Слабое суспендирование	Маленькие частицы
Реактор с неподвижным слоем	Большая внутренняя диффузия	Экструдаты (кольца, звезды, гранулы)
	Стоимость	Экструдаты
	Ударное давление	Большой размер и неодинаковая форма
	Дезактивация	Экструдаты (большая внешняя поверхность)
	Высокое давление на нижний слой	Таблетки (одинаковой формы)
Высота загрузки или движение сорбционного слоя	Таблетки (одинаковой формы)	

Дробить и молоть кальцинированные твердые тела для получения микрогранул бесполезно, поскольку получаемый порошок имеет широкое распределение частиц по размеру с минимальными размерами в несколько микрон и со слабым механическим сопротивлением. Эффективнее использование гранул – частиц сферической формы от 1 до 20 мм.

Экструзия – наиболее экономичная общепринятая технология формовки сорбентов. Производство включает стадии смешивания, добавление содержимого, добавление воды, выдержка и температурная обработка. Качество продукта также зависит от процедуры сушки и кальцинации. Специальные формы (трехлопастные кольца, пустотелые цилиндры, монолитные или ячеистые) могут быть получены с использованием специальных матриц.

## Выводы

Получение анионных сорбентов является областью науки, где появляются все новые требования, часто противоречащие друг другу. Вместе с постоянным улучшением в области подготовки сорбентов для специальных реакций или процессов, наблюдается создание сорбентов для традиционных использований, но с гораздо более эффективными характеристиками.

Также можно ожидать, что в будущем появится много еще более интересных анионных сорбентов, а также их применений в новых неожиданных областях.

## Литература

- Hou K., Bish D.L., Wang S.-I. Hydration, expansion, structure, and dynamics of layered double hydroxides//American Mineralogist, 2003.- V. 88, N 1. P. 167-179.
- Kang M.R., Hyung M.L., Lee S.C. Layered Double Hydroxide and its Anion Exchange Capacity//Advances in Technology of Materials and Materials Processing, 2004.- N 6.- P. 218-223.
- Новоселецкая О.В., Боковикова Т.Н., Процай А.А. Исследование механизма сорбции в физико-химических системах//Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология, 2006.- № 49.- С. 23-24.
- Танабе К. Твёрдые кислоты и основания. М.: «Мир», 1973.
- Якобс П. Карбонийонная активность цеолитов. М.: Химия, 1983. – 144 с.
- Tsenga C.-H., Hsueh H.-B., Chen C.-Y. Effect of reactive layered double hydroxides on the thermal and mechanical properties of LDHs/epoxy nanocomposites//Composites science and technology, 2007.- V. 67.- N 11-12.- P. 2350-2362.
- Plank J., Daia Z., Andresa P.R.. Preparation and characterization of new Ca-Al-polycarboxylate layered double hydroxides//Materials Letters, 2006.- V. 60.- N 29-30.- P. 3614-3617.
- Kapustin A.E., Milko S.B.. Are the galleries of pyroaurite "open" or "closed"?//Bulgarian Chemical Communications, 1995.- V. 28.- N 1.- P. 147-149.