

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СОРБЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ**

*Т.М. Лонзингер, И.И. Макфузова*

Проведены экспериментальные исследования процесса сорбции катионов меди неорганическим композиционным сорбентом. Определена зависимость скорости сорбционного процесса от температуры и выполнен расчёт экспериментальной энергии активации, по уравнению Аррениуса.

Ключевые слова: сорбция, температурная зависимость, энергия активации, катионы меди, композиционный сорбент.

Промышленные стоки, содержащие тяжелые металлы представляют собой, как правило, кислые водные электролиты, в которых токсичные вещества присутствуют в виде ионов. Разработанная на базе теоретических исследований технология синтеза неорганического композиционного сорбента тяжёлых металлов и радионуклидов, по данным анализа российского и зарубежного рынка не имеет аналогов. Состав и структура сорбента обеспечивают необратимое удержание катионов-загрязнителей, аналогично природным рудным породам, в которых катионы тяжёлых металлов находятся в незначительном количестве в связанном состоянии и поэтому не оказывают вредного воздействия на окружающую среду. Механизм необратимой сорбции катионов тяжёлых металлов композиционным сорбентом изучен недостаточно.

Исследовали систему композиционный сорбент – раствор пятиводного сульфата меди в статических условиях при соотношении жидкое-твёрдое равном 1/30. Температуру процесса варьировали от 10 до 40 °С.

По полученным экспериментальным данным строили зависимость концентрации катионов меди в растворе от времени контакта сорбента и сорбата, которая приведена на рис. 1.

Данные исследований показывают, что с увеличением температуры время достижения полного поглощения сорбентом катионов меди заметно сокращается. Если при температуре 10 °С для очистки модельного раствора от катионов меди необходимо 11,5 суток, то для раствора с температурой 40 °С только 2 суток.

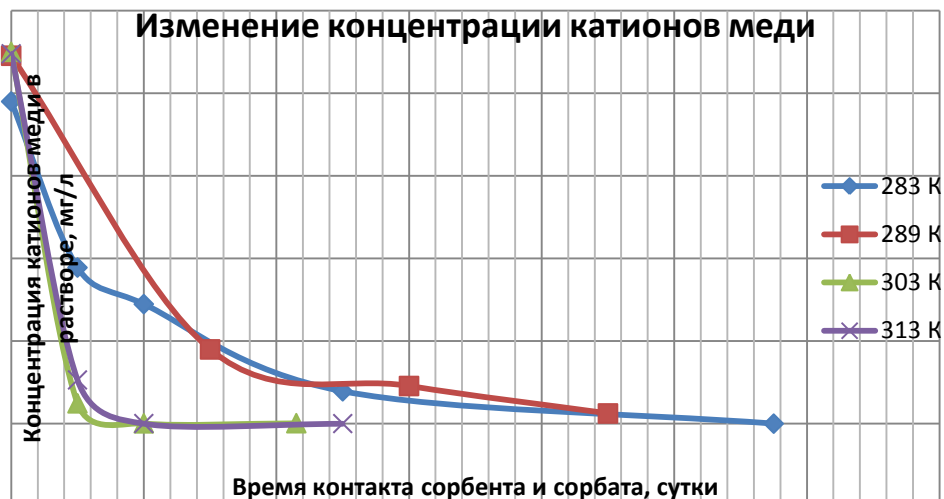


Рис. 1. Изменение концентрации катионов меди в растворе в зависимости от времени контакта с сорбентом

На рис. 2 приведён график зависимости степени завершённости сорбционного процесса от продолжительности контакта сорбента и сорбата. Степень завершённости процесса определяется отношением ёмкости сорбента по катионам меди в текущий момент времени к ёмкости сорбента по тем же катионам в состоянии равновесия, мг/г.



Рис. 2. Влияние времени контакта сорбента и сорбата на степень завершённости процесса

Степень завершённости сорбционного процесса пропорциональна температуре модельного раствора. На рис. 2 видно, что наблюдается изменение угла наклона кривых при различных температурах, что характеризует увеличение скорости сорбции с ростом температуры.

Данные электронно-микроскопического и микрорентгеноспектрального анализа сорбента показали, что при увеличении температуры модельного раствора происходит эволюция новообразований на активных центрах сорбента. На рис. 3–6 показаны изменения формы и размеров новообразований, включающих в свою структуру катионы меди. В табл. 1–3 приведены результаты микрорентгеноспектрального анализа новообразований. С повышением температуры модельного раствора происходит увеличение размеров новообразований. Если при низкой температуре на поверхности композиционного сорбента видны отдельные включения, содержащие катионы меди, то с повышением температуры наблюдается увеличение размеров и количества новообразований. При температуре модельного раствора равной 40 °С на поверхности сорбента видны пластины, содержащие до 22 % катионов меди.

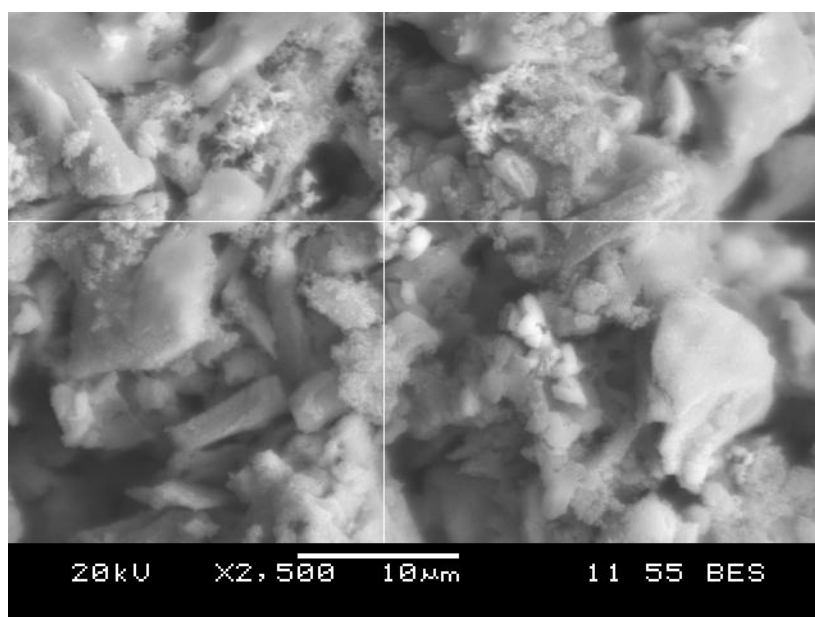


Рис. 3. Новообразования на поверхности сорбента после сорбции катионов меди из раствора с температурой 10 °С

Таблица 1

Результаты микрорентгеноспектрального анализа

Элемент	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Cu	Итого
Мас. %	5,54	53,86	1,24	1,38	9,98	1,18	14,52	0,84	11,45	100,0

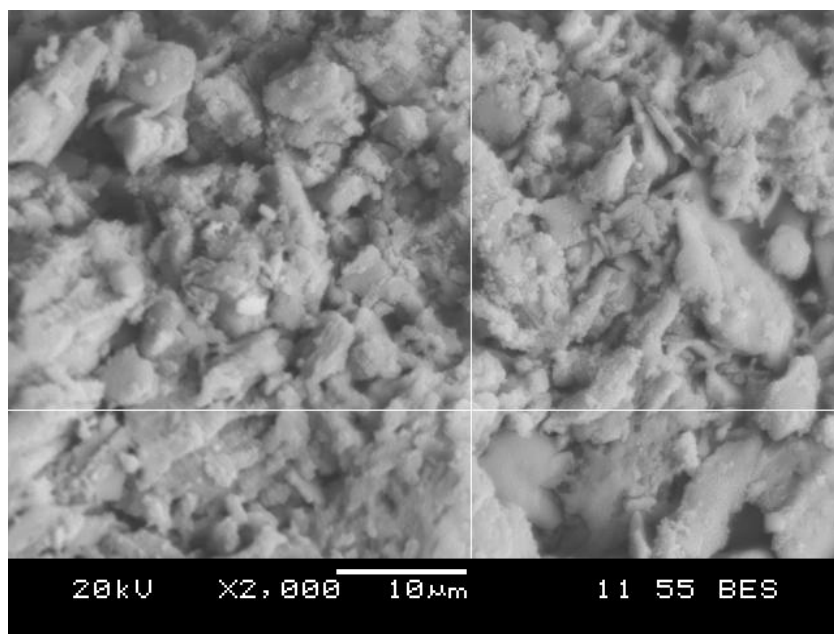


Рис. 4. Новообразования на поверхности сорбента после сорбции катионов меди из раствора с температурой 16 °С

Таблица 2

Результаты микрорентгеноспектрального анализа

Элемент	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Cu	Итого
Мас. %	9,99	38,68	1,10	2,96	7,07	8,01	21,59	2,94	7,66	100,00

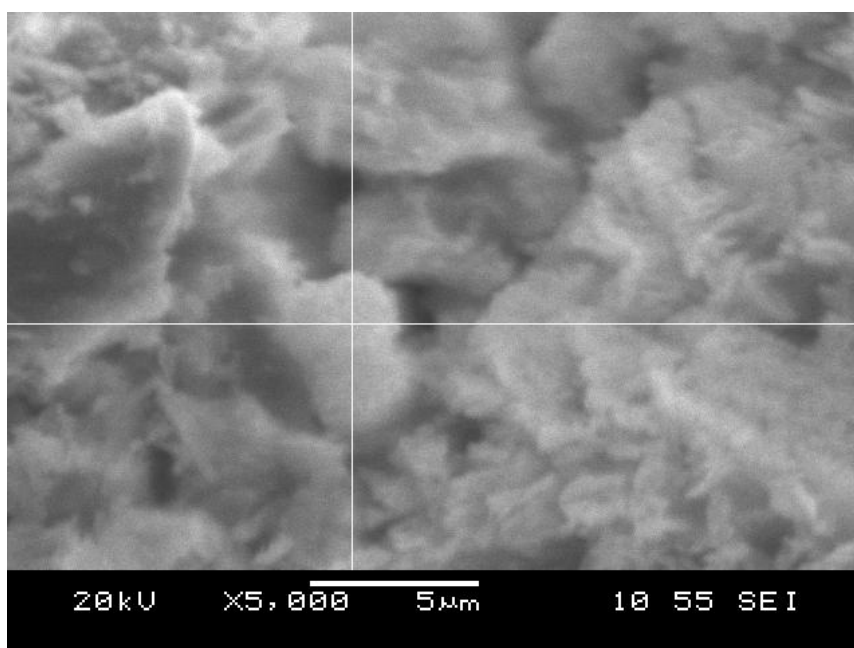


Рис. 5. Новообразования на поверхности сорбента после сорбции катионов меди из раствора с температурой 40 °С

Таблица 3

Результаты микрорентгеноспектрального анализа

Элемент	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Cr	Fe	Cu	Итого
Мас.%	15,36	28,53	-	1,77	4,60	19,58	7,45	-	22,71	100,00

Для установления лимитирующей стадии поглощения катионов меди композиционным сорбентом провели расчёт экспериментальной энергии активации, по уравнению Аррениуса. На рис. 6 показаны полученные экспериментальные результаты для образцов композиционного сорбента с различным составом связующего.

Экспериментальная энергия активации равна 42,74кДж/моль. Известно [1], что для диффузионных процессов энергия активации имеет величину 10–40 кДж/моль, причём внешнедиффузионная кинетика реализуется при  $E_a$  менее 20кДж/моль, а внутридиффузионная – при  $E_a=20-40$  кДж/моль. Поэтому высокие значения энергии активации показывают преобладание химического взаимодействия при контакте композиционного сорбента с раствором медного купороса. Замена связующей композиции не оказывает влияния на величины энергии активации.

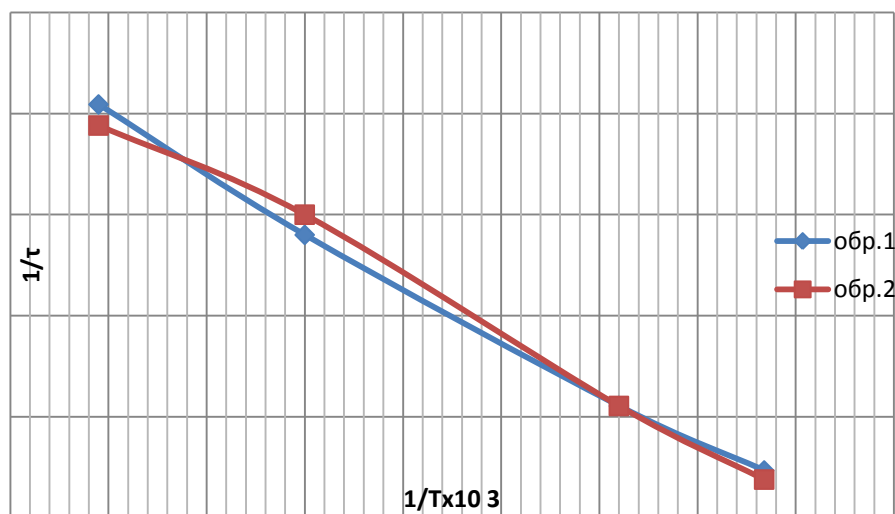


Рис. 6. График зависимости скорости реакции от обратной температуры

### Заключение

1. Проведённые исследования позволили установить, что взаимодействие в системе композиционный сорбент-сорбат лимитируется стадией химического взаимодействия.

2. Скорость сорбционного процесса зависит от температуры. С повышением температуры повышается скорость поглощения катионов меди из раствора.

### Библиографический список

1. Воронюк, И.В. Влияние температуры на кинетику сорбции формальдегида низкоосновным анионообменником / И.В. Воронюк, Т.В. Елисеева, И.Ю. Черникова, Н.А. Лобова // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2011. – Т. 11. – Вып. 5. – С. 679–682.

[К содержанию](#)