

УДК 541.186

## ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

© 2013 г.

*А.В. Шарпова*

Ульяновский государственный технический университет

a.v.sharapova@gmail.com

*Поступила в редакцию 07.11.2012*

Изучена сорбция в статических условиях ионов цинка и меди из воды на природном сорбенте опоке при действии ультразвука. Показано, что количественные характеристики и скорость процесса сорбции катионов улучшаются по сравнению с сорбцией без ультразвуковой обработки.

*Ключевые слова:* очистка, сточные воды, сорбция, ультразвук.

### Введение

Одной из актуальных экологических проблем машиностроительных предприятий является проблема глубокой очистки сточных вод от токсичных ионов тяжелых металлов. В этом направлении перспективно использование природных и синтетических сорбентов. Применение природных минералов для очистки сточных вод приемлемо с экологической и экономической точек зрения, но зачастую такие материалы не обладают нужными сорбционными свойствами, и необходимо модифицирование материала или дополнительная интенсификация процесса извлечения загрязняющих веществ.

Для интенсификации технологических процессов применяют различные физические факторы воздействия, в частности ультразвуковые колебания – акустические колебания с частотой выше 20 кГц [1]. Исследования в области ультразвуковой кавитации и акустических течений позволили разработать новые технологические процессы, протекающие при распространении ультразвука в жидкой фазе. В настоящее время формируется новое направление химии – ультразвуковая химия, позволяющая ускорить многие химико-технологические процессы и получить новые вещества. Развитие и применение ультразвуковых технологий открывает перспективы в создании новых веществ и материалов, в придании известным материалам и средам новых свойств.

Использование ультразвука в процессах сорбции позволяет резко сократить продолжительность насыщения сорбента, а иногда и увеличить его емкость. При акустическом воздействии на микрокристаллический сорбент изменяется не только поверхностный слой зерен, но и капиллярная структура сорбента [2, 3].

Интенсификация процесса сорбции при ультразвуковой обработке происходит, в первую очередь, за счет кавитации. На образование кавитационных пузырьков расходуется лишь часть энергии ультразвуковых волн, распространяющихся в жидкости. Остальная часть идет на возникновение микропотоков, нагревание и распыление жидкости. В результате под воздействием источника ультразвуковых колебаний частицы сорбента создают кипящий слой. Это также способствует более активному перемешиванию жидкости, интенсификации процессов массопереноса на границе раздела фаз и ускорению сорбции ионов из раствора.

Цель данной работы – исследование процессов сорбции тяжелых металлов на природном сорбенте опоке при действии ультразвука.

### Экспериментальная часть

Для изучения кинетики сорбции тяжелых металлов при действии ультразвука использовали природный минерал – опоку месторождения Ульяновской области.

Исследование кинетики процесса сорбции ионов цинка и меди на опоке при действии ультразвука в водной среде проводили в статических условиях (соотношение раствора и сорбента  $T : Ж = 1 : 60$ , исходные концентрации ионов цинка и меди 10–100 мг/л).

Ультразвуковую обработку проводили на лабораторной установке ИЛ-100-6/4 путем погружения наконечника ультразвуковой установки в раствор в процессе сорбции. Время воздействия – 60 с, частота – 21 кГц. При проведении ультразвуковой обработки в течение различного времени была определена продолжительность воздействия, обеспечивающая максимальную степень извлечения ионов тяжелых металлов из растворов. Максимальное значение степени извлечения ионов цинка из растворов

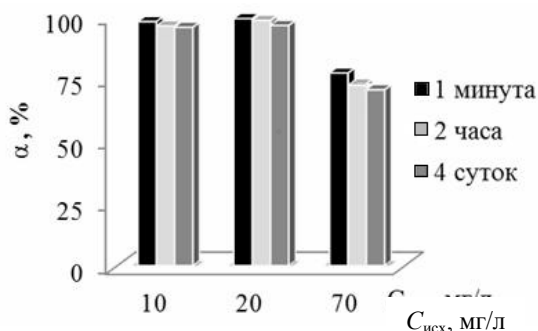


Рис. 1. Степень извлечения на опоке ионов меди ( $\alpha$ ) из раствора после обработки ультразвуком в зависимости от исходной концентрации катионов

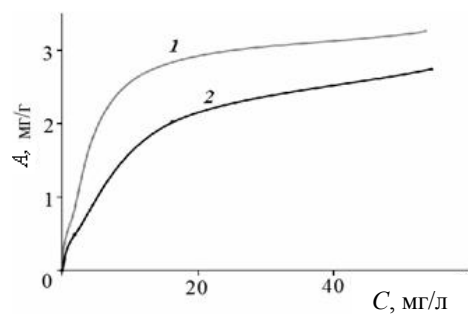


Рис. 2. Изотермы адсорбции катионов цинка на опоке при действии ультразвука. Адсорбция в течение: 1 – 2 ч; 2 – 4 сут;  $A$  – адсорбция;  $C$  – равновесная концентрация катионов цинка в растворе

наблюдается при воздействии ультразвука в течение 60 с. Дальнейшее увеличение времени обработки приводит к механическому разрушению сорбента и повышению температуры, способствующей преобладанию процесса десорбции [4]. Выбор частоты ультразвука основан на необходимости достижения порога воздействия, после которого в достаточной мере происходят процессы кавитации.

Для изучения процессов сорбции и десорбции определяли остаточные концентрации катионов в растворе после обработки ультразвуком 1 мин, 2 ч, 4 сут. Остаточные концентрации ионов цинка и меди в растворе определяли атомно-абсорбционным методом (Спектр 5-3).

Результаты анализов обрабатывались с помощью программы *Microsoft Excel* с вычислением среднего арифметического значения ( $\bar{x}$ ), его отклонения ( $d = x - \bar{x}$ ), стандартного отклонения ( $S = \sqrt{\sum d^2 / (n-1)}$ ) и доверительного интервала ( $\bar{x} \pm e_a$  или  $\bar{x} \pm S \times t_{a,K} / n$ ). Значение заданной доверительной вероятности  $a = 0.95$ . Общее число определений  $n = 4$ ; число степеней свободы  $K = n - 1 = 3$ . Значение коэффициента Стьюдента  $t_{a,K} = 3.18$  [5].

### Результаты и их обсуждение

Сравнивая концентрацию ионов в исходном растворе с остаточной (равновесной) концентрацией после контакта сорбента с модельным раствором, можно сделать вывод об адсорбционной способности исследуемого сорбента по отношению к иону.

При оптимальном времени ультразвукового воздействия была определена степень извлечения ионов цинка и меди из растворов. Остаточные концентрации катионов определяли сразу после обработки ультразвуком через 1 мин, 2 ч, 4 сут.

Результаты исследования изменения степени извлечения из воды ионов меди на опоке после действии ультразвука приведены на рис. 1.

Анализ полученных данных показывает, что степень извлечения катионов максимальна сразу после обработки ультразвуком и уменьшается с течением времени. Таким образом, ультразвуковая обработка приводит к значительному увеличению адсорбции ионов. После обработки преобладает процесс десорбции ионов.

Степень извлечения ионов цинка в зависимости от исходной концентрации колеблется в пределах 23–80%, а при обработке опоки ультразвуком – в пределах 47–96%. Степень извлечения ионов меди на опоке составила 52–92%, а при ультразвуковой обработке увеличилась до 60–99%. Степень извлечения ионов цинка на обработанной ультразвуком опоке в среднем на 15% выше по сравнению с сорбцией на исходной опоке. Для ионов меди степень извлечения увеличивается незначительно, но достигает значений более 99%, что позволит использовать опоку для глубокой очистки сточных вод.

По экспериментальным результатам после установления равновесия в системе «сорбент — раствор» была рассчитана адсорбция ( $A$ ) ионов из растворов с разной исходной концентрацией и построены изотермы адсорбции (рис. 2).

На практике для анализа и расчетов часто используют эмпирическое уравнение Фрейндлиха [6]. Вид уравнения следующий:

$$A = \beta C^{1/n},$$

где  $\beta$  и  $1/n$  – константы;  $C$  – равновесная концентрация.

Константы уравнения Фрейндлиха определяли графически при построении зависимости  $\lg A$  от  $\lg C$ .

По результатам исследования были определены константы уравнения Фрейндлиха для катионов цинка и меди на опоке (таблица).

По изотермам были рассчитаны значения максимальной адсорбции. Максимальная ад-

Таблица

**Адсорбция катионов металлов на опоке под действием ультразвука**

Катион	Время контакта сорбента с раствором	Уравнение Фрейндлиха, $A$
Цинк	2 ч	$0.061 \cdot C^{0.413}$
	4 сут	$0.070 \cdot C^{0.50}$
Медь	2 ч	$0.093 \cdot C^{0.407}$
	4 сут	$0.084 \cdot C^{0.403}$

сорбция уменьшается с течением времени для ионов цинка с 3.38 до 2.21 мг/г, для ионов меди – с 4.29 до 4.03 мг/г. Таким образом, в результате ультразвуковой обработки увеличивается сорбционная емкость опоки по отношению к катионам в первые минуты и уменьшается с течением времени. Значения степени извлечения ионов металлов из водных растворов при действии ультразвука превышают равновесное значение адсорбции. Ультразвуковая обработка позволяет значительно сократить время сорбционной очистки сточных вод.

### Заключение

Воздействие ультразвука частотой 21 кГц в течение 60 с приводит к интенсификации процесса сорбции ионов металлов из растворов на природном минерале опоке.

Степень извлечения катионов на опоке при ультразвуковом воздействии достигает для ме-

ди 98%, для цинка – 95%, что позволяет рекомендовать использование ультразвуковой обработки для процессов извлечения загрязняющих веществ из сточных вод в статических условиях и сокращения времени сорбционной очистки.

### Список литературы

1. Милушкин В.М., Ильин А.П. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2009. Т. 9. Вып. 2. С. 308.
2. Лейкин Ю.А., Мясоедов Б.Ф., Лосев В.В. // Химическая физика. 2007. Т. 26. № 10. С. 18.
3. Jiménez de Haro M.C., Pérez-Rodríguez J.L., Royato J. // Applied Clay Science. 2005. V. 30. P. 11.
4. Шарапова А.В., Неронова Н.А., Бузаева М.В., Климов Е.С. // Вузовская наука в современных условиях: сборник материалов 46-й научно-технич. конф. Ульяновск: УлГТУ, 2012. Ч. 3. С. 26.
5. Урбах В.Ю. Математическая статистика для биологов и медиков. М.: АН СССР, 1983. 267 с.
6. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. Л.: Химия, 1982. 168 с.

## APPLICATION OF ULTRASOUND TO INTENSIFY ABSORPTION SEWAGE TREATMENT

*A. V. Sharapova*

The article studies the sorption of zinc and copper ions from water on natural sorbent silica clay under static conditions and the action of ultrasound. The use of ultrasound improves the cation absorption rates and other sorption quantitative characteristics.

*Keywords:* purification, sewage, sorption, ultrasound.