



2. Кондрашова А. В., Кузьмина Р. И. Очистка сточных вод от ионов аммония // Экология и жизнь / под ред. В. В. Арбузова. Пенза, 2008. С. 133–134.
3. Кузьмина Р. И., Панина Т. Г., Холкина Т. В. Адсорбционные и каталитические свойства дисперсных кремнезёмов // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2000. Т. 43, вып. 2. С. 51–53.
4. Казанцева Н. М., Кондрашова А. В., Кузьмина Р. И. Очистка сточных промышленных вод от ионов аммония // Электронная промышленность. 2000. № 2. С. 200–203.
5. Тарасевич Ю. И. Природные сорбенты в процессах очистки сточных вод. Киев, 1981. 208 с.
6. Тимофеев Д. П. Кинетика адсорбции. М., 1962. 252 с.
7. Сертионова Е. Н. Промышленная адсорбция газов и паров. М., 1969. 413 с.

УДК 541.183.2

## АДСОРБЦИЯ АНИОНОВ ХРОМА (VI) И МЫШЬЯКА (III) СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИДА ЖЕЛЕЗА (III)

И. А. Никифоров

Саратовский государственный университет  
E-mail: Galtek@mail.ru



Исследована адсорбция анионов мышьяка (III) и хрома (VI) сорбентами на основе оксигидроксида железа (III), полученных из реагентов, отработанных травильных растворов, и шламов, образующихся в процессе очистки гальваностокков. Определена обменная емкость в статических и динамических условиях, проведена очистка реальных сточных вод в пилотной установке с высотой слоя сорбента 2 м и скоростью подачи раствора 200 л/ч. Предложена безотходная технология регенерации отработанного сорбента путем растворения его в кислоте, осаждения гидроксидов металлов и сушки.

**Ключевые слова:** адсорбция, мышьяк (III), хром (VI), оксигидроксид железа (III), очистка сточных вод, регенерация сорбентов.

### Adsorption of Anions Chromium (VI) and Arsenic (III) by Sorbents on the Basis of Iron (III) Oxyhydroxide

I. A. Nikiforov

Adsorption of arsenic (III) and chromium (VI) anions by sorbents on the basis of iron (III) oxyhydroxide, derived from the reagents, used etching solutions and sludges generated during galvanic treatment is investigated. Exchange capacity under static and dynamic conditions is defined, the actual cleaning of sewage in a pilot plant with sorbent layer height 2 m and solution feed rate of 200 l/h is carried out. Waste technology regeneration of spent sorbent by dissolving it in acid, precipitation of metal hydroxides and drying is proposed.

**Keywords:** adsorption, arsenic (III), chrome (VI), iron (III) oxyhydroxide, sewage treatment, regeneration of sorbents.

Адсорбционные способы извлечения анионов металлов из сточных вод сорбентами на основе гидроксидов железа тестируются в процессах очистки сточных вод гальванических производств, предприятий металлургии [1]. Кроме того, в процессе уничтожения химического оружия (люизита) образуются растворы хлорида натрия, со-

держащие арсенит натрия, удаление которого до концентрации ниже ПДК ( $<0,05$  мг/л) возможно на подобном сорбенте [2]. Проблемы применения сорбентов на основе гидроксида железа (III), во-первых, в низкой механической прочности, поэтому их или добавляют в очищаемый раствор в виде порошка [3] с последующим отстаиванием и фильтрацией, что низкотехнологично, или гранулируют со связующим, что значительно снижает активность получаемых материалов. Другая проблема применения сорбентов связана с методикой регенерации – обычно это обработка растворами щелочей с последующей отмывкой до нейтральных значений pH, при этом снижается обменная емкость и образуется значительное количество токсичных элюатов, требующих дополнительных методов обезвреживания [4].

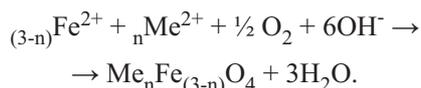
Нам удалось получить сорбенты с механической прочностью, достаточной для работы в опытно-промышленных адсорберах с высотой слоя сорбента 2 м.

Сорбенты получали из хлорида и сульфата железа (III) с добавлением модифицирующих ионов отработанного раствора травления меди путем осаждения в раствор гидроксида натрия. Осадок выдерживался в маточном растворе 30 мин, затем отмывался дистиллированной водой до нейтральной реакции промывных вод (по фенолфталеину) и высушивался при температуре 100 °С в течение 3 ч.

Кроме того, в качестве сорбента применялся гальваношлам, полученный в ходе очистки промывных вод гальванического участка предприятия



методом ферритизации раствора, (предприятие ФГУП «Алмаз», г. Саратов). Процесс ферритизации заключается в образовании ферритов переменного состава при действии на ионы тяжелых металлов сульфата железа (II) [5]. Ферритизация гальванических шламов протекает в щелочной среде при обработке суспензии гальваношламов серно-кислым железом и последующем окислении реакционной смеси кислородом воздуха. Суммарный процесс можно описать следующей схемой:



Ферритизированные гальваношламы практически нерастворимы в нейтральной и слабокислой средах.

Структуру синтезированных образцов исследовали методами рентгенофазового анализа (дифрактометр ДРОН-2 с использованием

(Cu-K $\alpha$ -излучение), удельная поверхность определялась по стандартной методике по методу БЭТ. Концентрация ионов Cr (VI) и As (III) определялась фотокалориметрически и с помощью рентгенофлуоресцентного анализа (спектрометр – Спектроскан МАКС-G).

В образцах, полученных осаждением из реагентов в качестве основной фазы, преобладают аморфные не закристаллизовавшиеся продукты. В виде кристаллической фазы идентифицируется  $\alpha$ -модификация оксигидроксида железа(III). Образцы, полученные из травильного раствора, рентгеноаморфны с признаками формирования кристаллической решетки всех четырех модификаций оксигидроксида железа(III).

Как видно из таблицы, присутствие в исходном растворе катионов меди и никеля значительно увеличивает механическую прочность и одновременно удельную поверхность получаемых образцов.

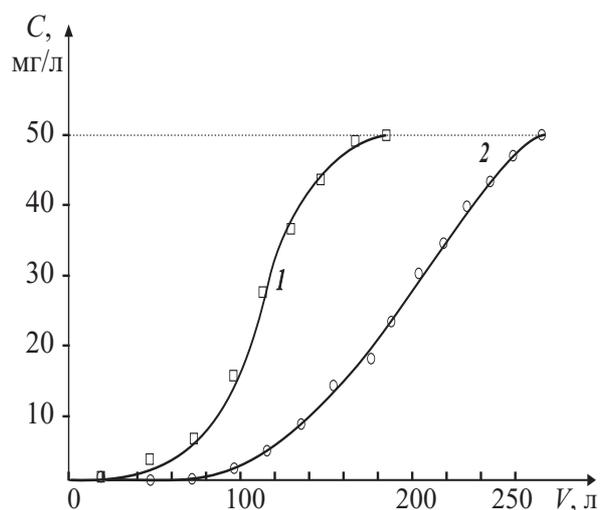
Физико-химические характеристики образцов на основе гидроксида железа(III)

№ образца	Соль железа (III)	Модифицирующие добавки, мас. %		Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Механическая прочность на раздавливание, кг/см <sup>2</sup>	Полная обменная емкость, мг/г	
		Ni <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>			Cr (VI)	As (III)
1	Хлорид	–	–	86	2.05	20	80
2	Сульфат	–	–	125	10.04	50	90
3	Сульфат	10	20	165	9.17	60	105
4	Отработанный травильный раствор	10	20	152	10.23	55	110
5	Гальваношлам	–	–	110	8.12	30	50

По результатам адсорбции Cr(VI) и As (III) из слабокислых растворов в статических условиях построены кинетические кривые и изотермы сорбции. Установлено, что адсорбционное равновесие достигается через 60 мин контакта раствора с адсорбентом. Изотермы сорбции относятся к типу изотерм Ленгмюра, линеаризация которых в координатах  $1/C - 1/A$  позволила определить величины полной обменной емкости (см. таблицу).

Сорбент, соответствующий по составу образцу № 3, испытывался в лабораторных и опытно-промышленных условиях для извлечения хрома (VI) из промывных вод гальванического производства и As(III) из раствора, образующегося в технологии уничтожения люизита. Выходные кривые сорбции приведены на рисунке.

В опытно-промышленных условиях сорбент зернением 5–10 мм загружался в секцию из 4 стеклянных адсорберов диаметром 170мм, высотой 2000мм. За время испытаний – прокачка насо-



Выходные кривые сорбции анионов: 1 – бихромат, 2 – арсенат. Навеска сорбента – 200 г

сом очищаемого раствора с объемной скоростью 200 л/ч – сорбент не претерпел заметного механического разрушения.



В качестве способа регенерации нами испытана технология переосаждения насыщенного сорбента, которая заключается в следующем: сорбент, насыщенный шестивалентным хромом, растворяется в разбавленном растворе серной кислоты, затем добавляется раствор сульфата железа (II) для восстановления хрома (VI) и образовавшийся раствор используют для получения нового сорбента путем осаждения щелочью с последующей сушкой. Маточный раствор, оставшийся после осаждения гидроксидов, отправляется на первую стадию очистки гальваностокков. Таким образом, технология использования и регенерации сорбентов становится безотходной. Потеря обменной емкости за счет увеличения в новом сорбенте соединений хрома (III) не наблюдалось (по крайней мере, при проведении трех циклов очистки – переосаждение). К сожалению, сорбент, полученный из гальваношлама, не удается растворить в серной кислоте в течение нескольких суток, что объясняется наличием в его составе ферритов металлов, поэтому данная методика пригодна только для работы с синтезированными оксигидроксидами железа (III).

#### Благодарности

Автор выражает благодарность сотрудникам Государственного научно-исследовательского

института промышленной экологии Нижнего Поволжья за помощь в проведении исследований с соединениями мышьяка и сотрудникам НПФ «Гальтек» за промышленные испытания полученных сорбентов.

#### Список литературы

1. Зеленин В. И., Сагалова М. С., Сухарев С. Б., Денисова Э. И. К вопросу о химизме сорбционного взаимодействия ионов с гидроксидами металлов // Сорбционные и хроматографические процессы. 2008. Т. 8, вып. 1. С. 113–116.
2. Toyohisa F., Gjergj D., Jun S., Atsushi S. Removal of Anionic Metal Ions from Wastewater by Hydroxide-type Adsorbents // The Chinese J. of Process Engineering. 2006. Vol. 6, № 3. June. P. 357–362.
3. Елисеев Д. А. Физико-химические основы процесса разделения «арсенита натрия гидролизного» на базовые компоненты : автореф. дис. ... канд. хим. наук. Саратов, 2008. 21 с.
4. Никифоров А. Ю., Кадникова Н. В., Ильина Л. А., Никифоров И. А. Применение гидроксида железа (III) в качестве адсорбента для извлечения хрома (VI) из производственных стоков // Коллоидный журн. 2000. Т. 62, № 4. С. 511–514.
5. Виноградов С. С. Экологически безопасное гальваническое производство / под ред. проф. В. Н. Кудрявцева. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2002. С. 181–185.

УДК 539.193/194:535/33.34

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МОЛЕКУЛ И КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СПЕКТРОВ КОНФОРМЕРОВ И ДИМЕРОВ АЦЕТИЛСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

М. Д. Элькин<sup>1</sup>, А. Н. Панкратов<sup>1</sup>, О. М. Алыкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет

E-mail: elkinmd@mail.ru

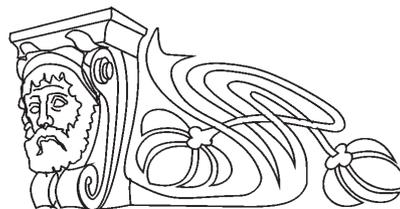
E-mail: PankratovAN@info.sgu.ru

<sup>2</sup>Астраханский государственный университет

E-mail: olga-alykova@mail.ru

На основании квантовохимических расчетов геометрической и электронной структуры молекул, колебательных спектров конформеров и водородносвязанных циклических димеров ацетилсалициловой кислоты предложены структурно-динамические модели названных молекулярных систем.

**Ключевые слова:** ацетилсалициловая кислота, колебательные спектры, адиабатический потенциал, ангармоническое смещение, водородная связь.



## Molecular Structure and Vibrational Spectra Modeling for the Conformers and Dimers of Acetylsalicylic Acid

M. D. Elkin, A. N. Pankratov, O. M. Alykova

On the base of quantum chemical computations of the molecules spatial and electronic structure, as well as of vibrational spectra of the conformers and hydrogen-bonded cyclic dimers of acetyl-