

**Для цитирования:**

Тимофеев К.Л., Мальцев Г.И., Свиридов А.В. Извлечение индия из растворов высокодисперсными модифицированными алюмосиликатами. *Иzv. вузов. Химия и хим. техно-логия*. 2016. Т. 59. Вып. 7. С. 35–41.

**For citation:**

Timofeev K.L., Maltsev G.I., Sviridov A.V. Indium extraction from solutions with modified aluminosilicates. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 7. P. 35–41.

УДК 66.08:669.872:661.183

**К.Л. Тимофеев, Г.И. Мальцев, А.В. Свиридов**

Константин Леонидович Тимофеев

АО «Уралэлектромедь», пр. Успенский, 1, Верхняя Пышма, Свердловская обл., Российская Федерация, 624091

E-mail: K.Timofeev@elem.ru

Геннадий Иванович Мальцев (✉)

Кафедра химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов, Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, д. 37, Екатеринбург, Российская Федерация, 620100

ОАО «Уралэлектромедь», пр. Успенский, 1, Верхняя Пышма, Свердловская обл., Российская Федерация, 624091

E-mail: mgi@elem.ru (✉)

Алексей Владиславович Свиридов

Кафедра химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов Уральского государственного лесотехнического университета, Сибирский тракт, д. 37, Екатеринбург, Российская Федерация, 620100

E-mail: asv1972@mail.ru

**ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИНДИЯ ИЗ РАСТВОРОВ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМИ  
МОДИФИЦИРОВАННЫМИ АЛЮМОСИЛИКАТАМИ**

*Получены изотермы адсорбции индия, железа и цинка из поликомпонентных растворов на модифицированном ди(2-этил-гексил)фосфорной кислотой монтмориллоните. Показано, что процессы адсорбции могут быть достоверно описаны с помощью моделей Ленгмюра и Фрейндлиха. Форма изотерм определяется как свойствами поверхности сорбента, так и формами нахождения ионов металлов в водных растворах. Установлен ряд сродства реагента «Метозоль» к извлекаемым ионам металлов из раствора с предварительно восстановленным железом(III):  $In^{3+} > Fe^{2+} > Zn^{2+}$ , что обуславливает целесообразность его использования для селективной сорбции индия из сложных по составу технологических растворов цинкового производства.*

**Ключевые слова:** монтмориллонит, алюмосиликаты, индий, железо, цинк, сорбция, интеркаляция

**K.L. Timofeev, G.I. Maltsev, A.V. Sviridov**

Konstantin L. Timofeev

Technical Department, Joint-stock company "Uralelektromed", Uspenskiy Ave., 1, Verkhnyaya Pyshma, 624091, Russia

E-mail: K.Timofeev@elem.ru

Gennadiy I. Maltsev (✉)

Department of Chemical Wood Technology, Biotechnology and Nanomaterials, Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russia

E-mail: mgi@elem.ru (✉)

Alexey V. Sviridov

Department of Chemical Wood Technology, Biotechnology and Nanomaterials, Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russia

E-mail: asv1972@mail.ru

## INDIUM EXTRACTION FROM SOLUTIONS WITH MODIFIED ALUMINOSILICATES

*The aim of this work was to study the adsorption of indium from aqueous solutions on modified highly dispersed aluminosilicates for the recovery of indium from technological solutions. The adsorption isotherms of indium, iron and zinc from multi component solutions on modified by di(2-ethylhexyl) phosphoric acid montmorillonite were obtained. It was shown that adsorption processes can be reliably described by models of Langmuir and Freundlich ( $R_2 = 0.96-0.99$ ). The shape of the isotherms is determined both by the surface properties of the sorbent and forms of presence of metal ions in aqueous solutions. The highest value of Langmuir constant  $K_{ads} = 422.65$  for reagent "Metosol" was obtained for ions of indium, which indicates the preferential affinity of the sorbing mineral to this element, since the corresponding figures for the ions  $Fe^{2+}$  (1.09) and  $Zn^{2+}$  (0.78) are close to unity. At sorption of metal ions from model solution in the range of acidity of 1-20 g/dm<sup>3</sup> of  $H_2SO_4$  the extraction of indium remains unchanged at ~70 %, and iron – is reduced from 39 to 15% of the initial content. With the further increase of acidity to 100 g/dm<sup>3</sup> of  $H_2SO_4$ , the recovery of indium is reduced to 40 %; iron down to 14 %. In the examined range of concentration of sulfuric acid the extraction of zinc is from 6.0 to 7.5 percent. The value of the static exchange capacity for the studied metals are mmol/g: 0.39–0.23 of indium; 0.11–0.04 of iron(III); 0.05–0.04 of zinc. A rank of affinity of reagent "Metosol" to extract the metal ions from solution with pre-reduced iron(III) was  $In^{3+} > Fe^{2+} > Zn^{2+}$  which determines the feasibility of its use for the selective adsorption of indium from the complex composition of technological solutions of zinc production.*

**Key words:** montmorillonite, aluminosilicates, indium, iron, zinc, sorption, intercalation

### ВВЕДЕНИЕ

Актуальность выполненных исследований обусловлена высокой эффективностью использования редких металлов, в частности индия, в современных наукоемких отраслях и технологиях (электронике, лазерной технике, подшипниковых и легкоплавких сплавах, высококачественных сталях, электромагнитных и оптических материалах, новой керамике и композитах и др.), что приводит

к динамичному расширению его потребления в экономически развитых странах мира [1-3]. Основными сырьевыми источниками металла являются отходы и промежуточные продукты производства цинка, в меньшей степени – свинца и олова, содержащие 0,001-0,1% индия [4-6].

Перспективным для извлечения и концентрирования индия из сложных по составу технологических растворов представляется селективная сорбция на природных модифицированных

алюмосиликатах, широко используемых в последнее время в различных гидрометаллургических процессах [7-10].

Ранее было показано [11, 12], что эффективность сорбции на высокодисперсных алюмосиликатных сорбентах может быть резко увеличена путем интеркаляционной модификации их поверхности [13]. Синтезированные реагенты представляют собой тонкопористые сорбенты с саморасширяющейся структурой. Закономерности адсорбции ионов металлов на поверхности таких сорбентов изучены недостаточно, хотя представляют большой научный и практический интерес.

Целью работы являлось изучение адсорбции индия из водных растворов на модифицированных высокодисперсных алюмосиликатах и оценка возможности их использования в качестве альтернативы или в совокупности с экстракцией для извлечения индия из технологических растворов.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

В качестве природных высокодисперсных алюмосиликатов использовали монтмориллониты Курганского и Зырянского месторождений, модификацию поверхности которых осуществляли посредством интеркаляционного синтеза с помощью анионных и амфотерных прекурсоров неорганической и органической природы [11]. Интеркаляция осуществлялась за счет внедрения и закрепления прекурсоров в структуру и межслоевое пространство монтмориллонитов [11, 12]. В ходе интеркаляции алюмосиликатов различными по природе прекурсорами наблюдалось резкое изменение их физико-химических свойств (сорбционная способность, адгезия, поверхностный заряд, реология, межчастичное и гетерокоагуляционное взаимодействие).

Для монтмориллонита, где два тетраэдрических кремнекислородных слоя сжимают октаэдрический алюмокислородный слой, закрепление анионов может происходить на поверхности положительно заряженных ребер, а интеркаляция катионов – по отрицательным граням минерала (рис. 1).

При разбавлении гидрозолей монтмориллонита самопроизвольно диспергируется до элементарных пакетов толщиной около 10 нм с удельной поверхностью до 400–600 м<sup>2</sup>/г. Отсюда, большая часть поверхности минерала становится фактически внешней поверхностью, легко доступной для адсорбирующихся из водных растворов компонентов различной природы.

Направленный подбор прекурсоров позволяет решать широкий круг практических задач, связанных с использованием высокодисперсных природных сорбентов, в частности, для селективного извлечения индия из технологических растворов цинкового производства.

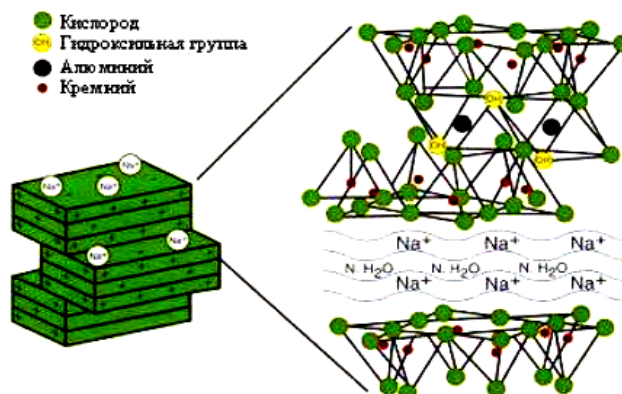
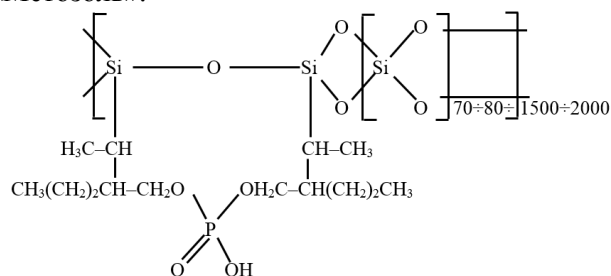


Рис. 1. Интеркаляционная модификация монтмориллонита  
Fig. 1. Ion intercalation of montmorillonite

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектами проведенных исследований служили модельные водные растворы сульфата индия состава, г/дм<sup>3</sup>: 0,13 In<sup>3+</sup>; 0,082 Zn<sup>2+</sup>; 0,031 Fe<sup>3+</sup>; 1–100 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, а также технологические растворы после восстановления железа (III), содержащие, г/дм<sup>3</sup>: 0,095 In<sup>3+</sup>; 73,1 Zn<sup>2+</sup>; 10,1 Fe<sup>2+</sup>; 20,5 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Исследования проводили при температуре 20–22 °С.

В работе использованы природные монтмориллониты Черкасского и Зырянского месторождений. Первый этап модификации состоял в обработке растворов кальцинированной содой с целью замещения ионов кальция на ионы натрия. Натриевая форма монтмориллонита отличалась от кальциевой более высокими значениями удельной поверхности и ζ-потенциала частиц и, как следствие, лучшими адсорбционными характеристиками [5]. На втором этапе модификации производили интеркаляцию монтмориллонитов в Na-форме с помощью прекурсоров, в частности, ди(2-этил-гексил)фосфорной кислоты (Д2ЭГФК) в количестве 20% мас. В результате получили реагент «Метозоль»:



Эксперименты по сорбции ионов металлов на минеральном реагенте проводили по следующей методике. В испытуемый раствор объемом  $100 \text{ см}^3$  при интенсивном перемешивании вносили  $4 \text{ см}^3$  5 %-ного «Метозоль». После установления адсорбционного равновесия в системе при медленном перемешивании в течение 30 мин твердую фазу отделяли центрифугированием, а в фугате определяли остаточное содержание ионов металлов  $\text{Me}^{z+}$  атомно-адсорбционным методом на спектрофотометре с пламенной атомизацией ААС-6650 (Shimadzu). Последующий анализ обработанных растворов показал отсутствие прекурсоров, что свидетельствует об их прочном закреплении в тонкопористой структуре монтмориллонита.

Изотермы сорбции для модифицированного алюмосиликата описывали по моделям Ленгмюра (1) и Фрейндлиха (2):

$$C_p/Q_p = C_p/Q_s + 1/(K_{\text{ads}} Q_s), \quad (1)$$

$$Q_p = K_s C_p^n, \quad (2)$$

где  $C_p$  – равновесная концентрация иона в растворе, моль/дм<sup>3</sup>;  $Q_p$  (СОЕ) – емкость ионита в состоянии равновесия, моль/дм<sup>3</sup>;  $Q_s$  – константа Ленгмюра (максимальная емкость), моль/дм<sup>3</sup>;  $K_{\text{ads}}$  – постоянная, характеризующая «сродство» к извлекаемому элементу;  $K_s$  и  $n$  – постоянные Фрейндлиха.

Константы  $K_{\text{ads}}$  и  $Q_s$  были определены методом графического решения уравнения Ленгмюра, а  $K_s$  и  $n$  – уравнения Фрейндлиха.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При сорбции ионов металлов из модельного раствора в интервале кислотности 1-20 г/дм<sup>3</sup>  $\text{H}_2\text{SO}_4$  извлечение индия остается неизменным ~70%, а железа – снижается с 39 до 15% от исходного содержания. При дальнейшем увеличении кислотности до 100 г/дм<sup>3</sup>  $\text{H}_2\text{SO}_4$  извлечение индия уменьшается до 40%; железа – до 14%. В исследованном интервале концентрации серной кислоты извлечение цинка составляет 6,0-7,5% (рис. 2а). Значения СОЕ по исследованным металлам соответственно составили, ммоль/г: 0,39-0,23 индий; 0,11-0,04 железо(III); 0,05-0,04 цинк (рис. 2б).

Таким образом, по мере увеличения концентрации кислоты подавляется ионизация полярных групп реагента «Метозоль», и снижается обменная емкость минерального сорбента в гораздо большей степени, чем, например, для органической смолы Lewatit TP260 с фосфоновыми группами, у которой извлечение индия и железа(III) остается неизменно высоким (> 95%) вплоть до концентрации 500 г/дм<sup>3</sup>  $\text{H}_2\text{SO}_4$  [14].

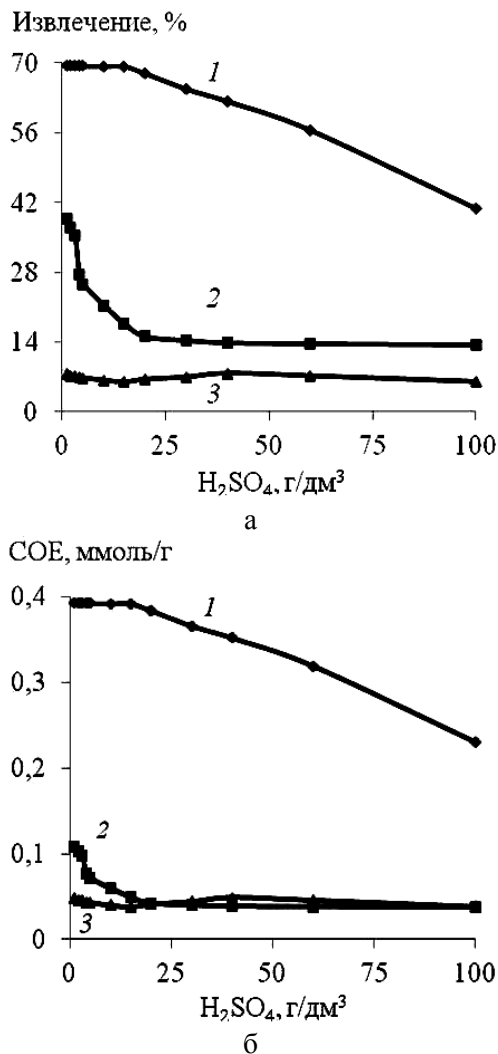


Рис. 2. Зависимости степени извлечения металлов (а) и СОЕ (б) сорбента «Метозоль» от кислотности раствора для  $\text{In}^{3+}$  (1),  $\text{Fe}^{3+}$  (2),  $\text{Zn}^{2+}$  (3)

Fig. 2. The dependences of the degree of extraction of metals (а) and static exchange capacity (б) for the sorbent "Metasol" on the acidity of the solution for  $\text{In}^{3+}$  (1),  $\text{Fe}^{3+}$  (2),  $\text{Zn}^{2+}$  (3)

На модельном растворе (близком по составу к технологическому раствору) после восстановления железа (III) состава, г/дм<sup>3</sup>: 10,1  $\text{Fe}^{2+}$ ; 73,1  $\text{Zn}^{2+}$ ; 0,095  $\text{In}^{3+}$ ; 20  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , показано, что  $\text{COE}_{\text{Me}}$  (моль/дм<sup>3</sup>) модифицированного алюмосиликата «Метозоль» возрастает с увеличением равновесной концентрации металлов в растворе (рис. 3а), а отношение приращений обменной емкости сорбента к равновесной концентрации металла ( $\Delta \text{COE}_{\text{Me}} / \Delta C_p$ ) уменьшается от индия к цинку: 4,63  $\text{In} > 0,18 \text{ Fe} > 0,096 \text{ Zn}$ , что свидетельствует о высокой селективности ионита к индию в присутствии железа и тяжелых цветных металлов (на примере цинка).

Изотермы сорбции для модифицированного алюмосиликата удовлетворительно описываются моделями Ленгмюра и Фрейндлиха (рис. 3 б, в).

Графический способ решения уравнений Ленгмюра и Фрейндлиха позволил определить некоторые характеристики процесса сорбции элементов (таблица).

При сорбции, когда соотношение объемов фаз равняется  $V_{ж}/V_T = 5,0$  получены следующие степени извлечения металлов из технологического раствора на «Метозоле» ( $\alpha$ , %):  $\sim 87,5$   $In^{3+}$ ;  $\sim 1,5$   $Fe^{2+}$ ;  $\sim 0,8$   $Zn^{2+}$  (рис. 3 з).

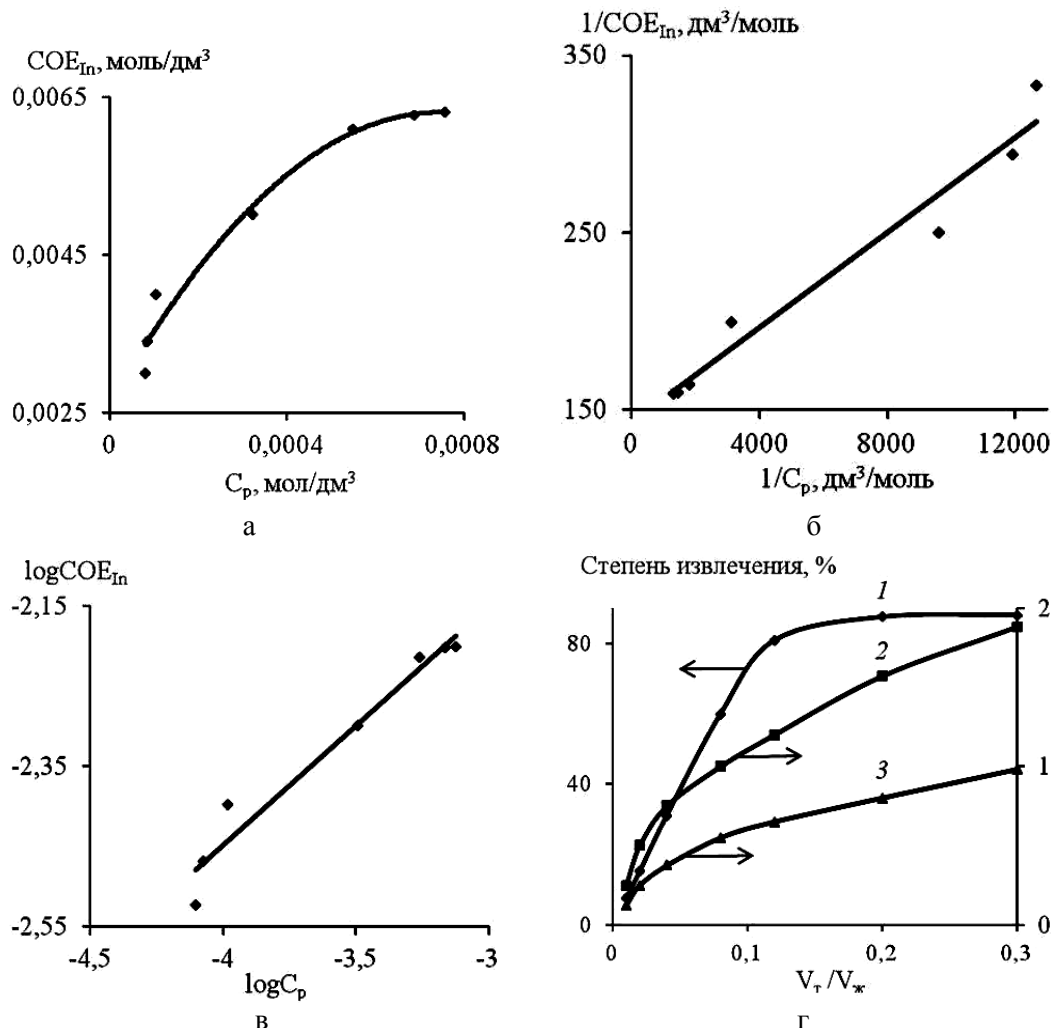


Рис. 3. Изотерма сорбции индия на реагенте «Метозоль» (а), графическое решение по уравнениям Ленгмюра (б) и Фрейндлиха (в), зависимость степени извлечения металлов от соотношения объемов минерального сорбента и технологического раствора (г) для  $In^{3+}$  (1),  $Fe^{3+}$  (2),  $Zn^{2+}$  (3)

Fig. 3. Sorption isotherm of indium on the reagent "Metosol" (a) graphic solution for equations of Langmuir, (б) Freundlich and (в), the dependence of the degree of recovery of metals on the ratio of the volume of mineral sorbent and technological solution (г) for  $In^{3+}$  (1),  $Fe^{3+}$  (2),  $Zn^{2+}$  (3)

Таблица

Параметры процесса сорбции ионов металлов реагентом «Метозоль»

Table. Parameters of the process of sorption of metal ions with reagent "Metosol"

| Me        | Модель                          |           |       |            |      |       |
|-----------|---------------------------------|-----------|-------|------------|------|-------|
|           | Ленгмюра                        |           |       | Фрейндлиха |      |       |
|           | $Q_s$ ,<br>моль/дм <sup>3</sup> | $K_{ads}$ | $R^2$ | $K_s$      | n    | $R^2$ |
| $In^{3+}$ | 0,095                           | 422,6     | 0,96  | 0,061      | 0,30 | 0,96  |
| $Fe^{2+}$ |                                 | 1,09      | 0,99  | 1,035      | 2,36 | 0,99  |
| $Zn^{2+}$ |                                 | 0,78      | 0,99  | 0,043      | 3,0  | 0,99  |

Высокие значения коэффициентов корреляции ( $R^2 = 0,96-0,99$ ) подтверждают удовлетворительное соответствие полученных экспериментальных данных моделям Ленгмюра и Фрейндлиха. Для реагента «Метозоль» наибольшее значение ленгмюровской постоянной  $K_{ads} = 422,65$  получено для ионов индия, что свидетельствует о преимущественном сродстве минерального сорбента к данному элементу, поскольку соответствующие показатели для ионов  $Fe^{2+}$  (1,09) и  $Zn^{2+}$  (0,78) близки к единице (таблица).

Известно [15], что на скорость диффузии ионов металлов в фазе сорбента оказывают влияние радиус гидратированного иона, его заряд и подвижность: сродство ионов к сорбенту снижается при уменьшении кристаллографического размера, увеличении заряда и, как следствие, радиуса гидратированного иона, что приводит к снижению скорости внутренней диффузии в ряду [16]:  $\text{Fe}^{3+} > \text{In}^{3+} > \text{Zn}^{2+}$ . Для высокодисперсного реагента «Метозоль» преобладает внешнедиффузионный характер сорбции по ионообменному механизму, при котором ионы индия имеют дополнительное преимущество по сравнению с ионами железа(II) и тяжелых цветных металлов вследствие специфического (химического) взаимодействия с фосфорными группами интеркалированной Д2ЭГФК [17].

Для модифицированного алюмосиликатного сорбента установлен следующий ряд сродства к извлекаемым компонентам из раствора с предварительно восстановленным железом(III):  $\text{In}^{3+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$ , что обуславливает целесообразность его использования для селективной сорбции индия из сложных по составу технологических растворов цинкового производства.

#### ВЫВОДЫ

При сорбции ионов металлов из поликомпонентного модельного раствора в интервале кислотности 1-20 г/дм<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> на минеральном реагенте «Метозоль» извлечение индия остается

неизменным ~70%, а железа(III) – снижается с 39 до 15% от исходного содержания. При увеличении кислотности до 100 г/дм<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> извлечение индия уменьшается до 40%, а железа(III) – до 14%. При концентрации 1-100 г/дм<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> извлечение цинка не превышает ~7%.

Получены изотермы адсорбции ионов индия, железа и цинка на монтмориллоните, модифицированном посредством интеркаляции ди(2-этил-гексил)фосфорной кислоты. Показано, что процессы адсорбции достоверно описываются уравнениями Ленгмюра и Фрейндлиха. Форма изотерм определяется как свойствами поверхности сорбента, так и формами нахождения ионов металлов в водных растворах.

Наибольшее значение ленгмюровской постоянной  $K_{\text{ads}} = 422,65$  получено для ионов индия, что свидетельствует о преимущественном сродстве минерального сорбента к данному элементу, поскольку соответствующие показатели для ионов  $\text{Fe}^{2+}$  (1,09) и  $\text{Zn}^{2+}$  (0,78) близки к единице.

Для модифицированного алюмосиликатного сорбента установлен следующий ряд сродства к извлекаемым компонентам из раствора с предварительно восстановленным железом(III):  $\text{In}^{3+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$ , что обуславливает целесообразность его использования для селективной сорбции индия из сложных по составу технологических растворов цинкового производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковкова Н.Ю., Котов В.Л., Кривцов А.К. Электроосаждение мягких припоев из кислых электролитов на основе пентагидрата хлорида олова (IV). Сообщение 1. Сплав олово-индий. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология*. 2015. Т. 58. Вып. 12. С.35–38.
2. Кочубей Д.И., Смирнова Н.С., Тренихин М.В., Цырульников П.Г., Шляпин Д.А. Модифицированные галлием и индием Рb/сибунит катализаторы жидкофазного гидрирования ацетилена. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология*. 2015. Т. 58. Вып. 7. С. 31–35.
3. Еремеева Г.О., Суевой Э.П. Термостимулированные превращения в наноразмерных пленках индия. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология*. 2012. Т. 55. Вып. 12. С. 63–67.
4. Забудьков С.Л., Финаенова Э.В., Яковлев А.В., Яковлева Е.В. Сорбенты из терморасширенного графита для очистки воды от катионов металлов и нефтепродуктов. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология*. 2015. Т. 58. Вып. 7. С. 19–23.
5. Ганебных Е.В., Свиридов А.В., Мальцев Г.И. Извлечение никеля из растворов высокодисперсными модифицированными алюмосиликатами. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология*. 2015. Т. 58. Вып. 1. С. 45–50.

#### REFERENCES

1. Kovkova N.Yu., Kotov V.L., Krivtsov A.K. Electrodeposition of soft solder alloys from acidic electrolytes based on pentahydrate of chloride tin (IV). Message 1. An alloy of tin-indium. *Izv. Vysh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tehnol.* 2015. V. 58. N 12. P. 35–38 (in Russian).
2. Kochubey D.I., Smirnova N.S., Trenikhin M.V., Tsyruльников P.G., Shlyapin D.A. Modified with gallium and indium Pb/sibunit catalysts of liquid-phase hydrogenation of acetylene. *Izv. Vysh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tehnol.* 2015. V. 58. N 7. P. 31–35 (in Russian).
3. Eremeeva G.O., Surovoiy E.P. Thermostimulated transformations in nano-size films of indium. *Izv. Vysh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tehnol.* 2012. V. 55. N 12. P. 63–67 (in Russian).
4. Zabud'kov S.L., Finaenova E.V., Yakovlev A.V., Yakovleva E.V. Sorbents from thermo-expanded graphite for water purification from metal ions and oil products. *Izv. Vysh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tehnol.* 2015. V. 58. N 7. P. 19–23 (in Russian).
5. Ganebnykh E.V., Sviridov A.V., Mal'tsev G.I. Extraction of nickel from solutions with highly dispersed modified aluminosilicates. *Izv. Vysh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tehnol.* 2015. V. 58. N 1. P. 45–50 (in Russian).

6. **Козлов В.А., Кочетков А.Е., Натареев С.В., Никифорова Т.Е.** Ионообменная сорбция катионов тяжелых металлов катионитом Lewatit S-100. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология.* 2010. Т. 53. Вып. 8. С. 30–33.
7. **Васильева С.Ю., До Тхи Лонг, Котова Д.Л., Крысанова Т.А.** Взаимовлияние фенилаланина и гистидина на равновесные характеристики сорбции аминокислот на клиноптилолите. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология.* 2016. Т. 59. Вып. 1. С. 26–29.
8. **Гречин О.В., Нагорнов Р.С., Разговоров П.Б., Разговорова М.П.** Регулирование кислотно-основных свойств алюмосиликатных материалов с целью влияния на степень очистки оливкового масла. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология.* 2015. Т. 58. Вып. 10. С. 58–63.
9. **Кунин А.В., Лапшин Д.Н.** Гидрофобизация аморфного диоксида кремния различных марок в процессе механохимического модифицирования. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология.* 2015. Т. 58. Вып. 9. С. 38–42.
10. **Нагорнов Р.С., Разговоров П.Б., Разговорова М.П., Смирнова Е.А.** Сравнительный анализ действия природных алюмосиликатов в отношении сопутствующих ингредиентов льняного масла. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология.* 2015. Т. 58. Вып. 8. С. 63–66.
11. **Свиридов В.В., Свиридов А.В.** Патент 2118296 РФ. Способ очистки природных и сточных вод, содержащих ионы железа тяжелых и цветных металлов. Заявл. 14.04.95; опубл. 27.08.98. Бюл. № 26. 4 с.
12. **Ермаков Д.В., Свиридов А.В., Ибатулина Ю.Р.** Извлечение катионов меди (II) с помощью коллоидных сорбентов. *Иzv. Челябинского научного центра.* 2004. № 1 (22). С. 164–168.
13. **Лен Ж.-М.** Супрамолекулярная химия: Концепции и перспективы. Новосибирск: Наука. 1998. 334 с.
14. **Тимофеев К.Л., Усольцев А.В., Мальцев Г.И., Тутубалина И.Л.** Сорбция индия, железа и цинка из многокомпонентных систем на аминоросфорных смолах. *Химия в интересах устойчивого развития.* 2015. Т. 23. № 3. С. 273–278.
15. **Цундель Г.** Гидратация и межмолекулярное взаимодействие. М.: Мир. 1972. 404 с.
16. **Тимофеев К.Л., Усольцев А.В., Краюхин С.А., Мальцев Г.И.** Исследование кинетики сорбции ионов индия, железа и цинка на аминоросфорных смолах. *Сорбционные и хроматографические процессы.* 2015. Т. 15. Вып. 5. С. 280–289.
17. **Радионон В., Мальцев Г.** Индий в водных растворах. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 2014. 352 с.
6. **Kozlov V.A., Kochetkov A.E., Natareev S.V., Nikiforova T.E.** Ion-exchange sorption of cations of heavy metals by cation exchange resin Lewatit S-100. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tehnol.* 2010. V. 53. N 8. P. 30–33 (in Russian).
7. **Vasil'eva S.Yu., Do Thi Long, Kotova D.L., Krysanova T.A.** The inter-influence of phenylalanine and histidine on the equilibrium characteristics of adsorption of amino acids on clinoptilolite. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tehnol.* 2016. V. 59. N 1. P. 26–29 (in Russian).
8. **Grechin O.V., Nagornov R.S., Razgovorov P.B., Razgovorova M.P.** Regulation of acid-base properties of aluminosilicate materials with the purpose of influencing the degree of purification of olive oil. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tehnol.* 2015. V. 58. N 10. P. 58–63 (in Russian).
9. **Kunin A.V., Lapshin D.N.** Hydrophobicity of amorphous silica of various grades in the process of mechanochemical modification. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tehnol.* 2015. V. 58. N 9. P. 38–42 (in Russian).
10. **Nagornov R.S., Razgovorov P.B., Razgovorova M.P., Smirnova E.A.** Comparative analysis of the action of natural aluminosilicates in respect to the related ingredients of linseed oil. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tehnol.* 2015. V. 58. N 8. P. 63–66 (in Russian).
11. **Sviridov V.V., Sviridov A.V.** Method of purification of natural and waste waters containing iron ions, heavy and non-ferrous metals. Patent RF N 2118296. 1995 (in Russian).
12. **Ermakov D.V., Sviridov A.V., Ibatulina Yu.R.** Extraction of copper cations (II) using colloidal sorbents. *Izv. Chelyabinskogo nauchnogo tsentra.* 2004. N1 (22). P. 164–168 (in Russian).
13. **Len Zh.-M.** Supramolecular chemistry: Concepts and perspectives. Novosibirsk: Nauka. 1998. 334 p. (in Russian).
14. **Timofeev K.L., Usol'tsev A.V., Mal'tsev G.I., Tutubalina I.L.** Sorption of indium, iron and zinc from multicomponent systems on aminophosphonic resins. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya.* 2015. V. 23. N 3. P. 273–278 (in Russian).
15. **Tsundel' G.** Hydration and intermolecular interaction. M.: Mir. 1972. 404 p. (in Russian).
16. **Timofeev K.L., Usol'tsev A.V., Krayukhin S.A., Mal'tsev G.I.** The study of the kinetics of sorption of ions of indium, iron and zinc on aminophosphonic resins. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy.* 2015. V. 15. N 5. P. 280–289 (in Russian).
17. **Radionov V., Mal'tsev G.** Indium in aqueous solutions. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 2014. 352 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 05.05.2016  
Принята к опубликованию 21.06.2016

Received 05.05.2016  
Accepted 21.06.2016