

**М.М. Соколова, Т.К. Томчук, Л.Г. Черанева**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

**О.В. Нагорный**

ООО «Уралхим», Пермь, Россия

## **ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИОНОВ БОРА ИЗ РАСТВОРОВ С ПОМОЩЬЮ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ДВОЙНЫХ ГИДРОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ**

*Техногенное загрязнение окружающей среды соединениями бора обусловлено их широким использованием при производстве коррозионно-стойких и жаропрочных сплавов, боросиликатного стекла и композиционных материалов (в том числе боропластиков), сложных строительных материалов, некоторых моющих средств, а также при изготовлении сплавов для регулирующих устройств ядерных реакторов (отражателей нейтронов).*

*Извлечение бора из природных и сточных вод обусловлено требованиями окружающей среды, так как бор отрицательно влияет на организм человека и животных, на биохимические процессы в водоемах, подавляет рост некоторых растений.*

*В связи с этим актуальными являются исследования по разработке и внедрению процессов извлечения ионов бора из водной среды. Наибольший интерес представляет такой метод извлечения ионов бора из растворов, как сорбция неорганическими сорбентами. Этот метод имеет ряд преимуществ перед остальными: доступность и дешевизна сырья, малые энергозатраты, высокая эффективность.*

*В данной работе исследованы свойства неорганических сорбентов для ионов бора на основе двойных гидроксидов металлов, имеющих слоистую структуру. Получены двойные гидроксиды в системах Mg–Al и Mg–Fe(III) со структурой типа гидроталькита. Структурные исследования исходных образцов и продуктов сорбции выполнены с помощью рентгенофазового и ИК-спектроскопического методов анализа. Исследованы сорбционные свойства двойных гидроксидов по отношению к анионам  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$ . Анионообменные емкости обоих образцов двойных гидроксидов оказались близкими по*

величине и составили 73,4–75,3 мг  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$ /г сорбента. Определено, что в процессе сорбции происходит замещение анионами  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$  анионов  $NO_3^-$  и  $OH^-$ , компенсирующих положительный заряд гидроксидных слоев  $HO-M-OH$ , где  $M$ :  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ . В результате сорбции анионов  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$  двойными гидроксидами тип их кристаллической решетки не изменяется. По данным ИК-спектроскопии установлено, что ионы  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$  удерживаются в составе сорбентов преимущественно за счет водородных связей. Сорбенты регенерированы 1,0 М раствором NaOH и протестированы в работе в циклах сорбция-десорбция.

**Ключевые слова:** извлечение бора, неорганические сорбенты, двойные гидроксиды, структура гидроталькита, анионообменная емкость, сорбция-десорбция.

**M.M. Sokolova, T.K. Tomchuk, L.G. Cheraneva**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**O.V. Nagorny**

LLC "Uralkhim", Perm, Russian Federation

## **THE BORON IONS REMOVAL FROM SOLUTIONS USING THE SORBENTS BASED ON DOUBLE METAL HYDROXIDES**

*The anthropogenic pollution with the boron compounds is caused by their wide use in the production of corrosion-resistant and heat-resistant alloys, borosilicate glass, composite materials (including boroplastics), complex construction materials, some detergents, and also in the manufacture of the alloys for the nuclear control devices of reactors (neutron reflectors).*

*The extraction of boron from the water and the sewage is in accordance with the requirements of the preservation of the environment, as boron affects the human body and animals, the biochemical processes in the reservoirs, inhibits the growth of some plants.*

*In this connection the study of the development and the implementation of the boron ions extraction processes from the aqueous medium is really urgent and necessary. The sorption method with inorganic sorbents is one of the most interesting methods of extracting the boron ions from solutions. It has several advantages over the others: the availability and low cost of the raw materials, low energy consumption, high efficiency.*

*The properties of the double metal hydroxides with a layered structure as inorganic sorbents for the boron ions were investigated in this paper. Double hydroxides systems Mg–Al and Mg–Fe (III) with a structure of hydrotalcite are obtained. Structural studies of the original samples and the sorption products are made with X-ray diffraction and infrared spectroscopic analysis methods. The sorption properties of the double hydroxides with respect to the anions  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$  are investigated. The anion-exchange capacities of the two samples were closed and were 73,4–75,3 mg  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$  / g of sorbent. It was determined that during the sorption the substitution of the anions  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$  with anions  $NO_3^-$  and  $OH^-$ , compensating positive charge of the hydroxide layers  $HO-M-OH$ , where M is:  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ , occurred. The type of lattice is not changed after sorption of anions  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$  with double hydroxides. IR spectroscopy registered that the ions  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$  are retained in the sorbents mainly by hydrogen bonds. Sorbents are regenerated with 1,0 M NaOH solution and tested in the sorption-desorption cycles work.*

**Keywords:** *removal of boron, inorganic sorbents, double hydroxides, hydrotalcite structure, anion-exchange capacity, sorption-desorption.*

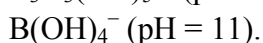
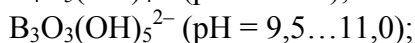
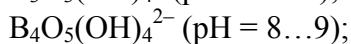
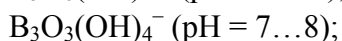
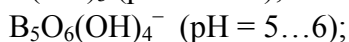
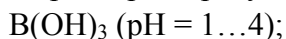
Бор является биологически активным элементом. Находясь в поверхностных водах в повышенных концентрациях, бор оказывает токсичное действие на рост растений и живых организмов и вследствие этого приводит к необратимым последствиям, поэтому в настоящее время проблема удаления бора из природных вод актуальна.

В поверхностные воды бор поступает со стоками керамического, стекольного, кожевенного, текстильного, металлургического, химического производств, а также с коммунальными стоками. Данные виды производств развиты по всей России, а в Пермском крае они представлены следующими предприятиями: ОАО «Мотовилихинские заводы», ОАО «Хенкель-Пемос», ОАО «Камтэкс-Химпром», ЗАО «Сибур-Химпром» и др. Но наибольшее загрязнение природной воды ионами бора характерно для регионов, которые ведут разработку борсодержащих руд.

Проведенные Государственным агентством охраны окружающей среды Германии расчеты показали, что примерно 50 % бора попадает в сточные воды в результате использования детергентов. Отмечается также, что существенным источником загрязнения водной среды соединениями бора являются синтетические моющие и чистящие средства, содержащие перборат натрия, потребление которых увеличивается с каждым годом.

В России содержание бора в сточных водах в среднем составляет 15 мг/л. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), концентрация бора в подземных и поверхностных водах в Российской Федерации находится в интервале 0,01–7,0 мг/л [1] и в основном определяется географическим расположением водоисточника. Предельно допустимая концентрация бора в питьевой воде составляет 0,5 мг/л.

В водных растворах бор находится в виде простых и полимерных форм анионов борных кислот [2]. Состояние бора в растворах зависит от его концентрации, величины рН и состава растворов. Зависимость от рН характеризуется следующими данными [3]:



Извлечение анионов бора из растворов можно осуществить с помощью неорганических сорбентов. В последние годы повышенный интерес исследователей вызывают двойные гидроксиды металлов со структурой типа гидроталькита  $\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{16}\text{CO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , которые могут быть использованы в качестве эффективных анионообменников. Двойные гидроксиды металлов со слоистой структурой типа гидроталькита представляют собой соединения состава  $[\text{M}^{2+}_{1-x} \text{M}^{3+}_x(\text{OH})_2]^{x+} [\text{A}^{m-}_{x/m} \cdot n\text{H}_2\text{O}]^{x-}$ , где  $\text{M}^{2+} = \text{Mg}^{2+}, \text{Zn}^{2+}, \text{Mn}^{2+} \dots$ ;  $\text{M}^{3+} = \text{Al}^{3+}, \text{Cr}^{3+}, \text{Fe}^{3+} \dots$ ;  $\text{A}^{m-} = \text{CO}_3^{2-}, \text{NO}_3^-, \text{Cl}^-, \text{OH}^-, \text{SO}_4^{2-} \dots$  (значения  $x$  и  $n$  могут изменяться в широких пределах) [4]. Структура двойных гидроксидов состоит из положительно заряженных гидроксидных слоев  $[\text{M}^{2+}_{1-x} \text{M}^{3+}_x(\text{OH})_2]^{x+}$  и лабильных анионов и молекул воды, находящихся в межслоевых пространствах.

Уникальные свойства двойных гидроксидов обусловлены их слоистой структурой, а также возможностью изменения состава в широких пределах. Высокая эффективность при поглощении анионов обусловлена не только большой площадью поверхности и высоким анионообменным потенциалом, но и легкоприспособляемым межслоевым пространством, в которое могут проникать различные виды анионов.

В данной работе была поставлена задача изучить сорбцию анионов бора двойными гидроксидными соединениями различного состава, предложить метод регенерации сорбентов, а также опробовать их при работе в циклах сорбция-десорбция.

## 1. Экспериментальная часть

С учетом известных из литературы свойств слоистых двойных гидроксидов [4–6] и результатов наших собственных работ [7, 8] в качестве объектов для исследований были выбраны системы Mg–Al и Mg–Fe(III). Очевидно, что с экологической точки зрения наиболее перспективными являются двойные гидроксиды, имеющие в своем составе нетоксичные ионы  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  и  $Fe^{3+}$ , именно поэтому исследованиям свойств этих материалов посвящена данная работа. Двойные гидроксиды магния – алюминия (МАГ) и магния – железа (III) (МЖГ) получали методом соосаждения из смеси водных растворов солей:  $Mg(NO_3)_2$  и  $Al(NO_3)_3$  (МАГ);  $Mg(NO_3)_2$  и  $Fe(NO_3)_3$  (МЖГ). Методики получения МАГ и МЖГ были однотипными. Так, при получении МАГ растворы 1,0 М  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  и 1,0 М  $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  смешивали в заданном соотношении и осаждали 1,0 М раствором NaOH. Значение pH в процессе соосаждения поддерживали на уровне 9,0. Соотношения  $Mg:M^{3+}$  ( $M^{3+} = Al^{3+}, Fe^{3+}$ ) в обоих образцах приняли равным 1:5,5. Осадки выдерживали в маточных растворах в течение 24 ч, промывали дистиллированной водой и подвергали высушиванию при температуре  $(295 \pm 2)K$ . Перед сорбционным экспериментом образцы были подвергнуты обработке 1,0 М NaOH и промыты дистиллированной водой, что позволило снизить содержание в их составе ионов  $NO_3^-$ .

В ряде работ рассмотрено использование гидроксида магния, имеющего слоистую структуру, в качестве анионообменника, в том числе и для анионов бора, поэтому представляло интерес сравнить сорбционные свойства МАГ, МЖГ и  $Mg(OH)_2$ , образец которого был получен по аналогичной методике.

Образцы исходных гидроксидов и продуктов сорбции идентифицировали рентгенофазовым и ИК-спектроскопическим методами анализа. Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре ДРОН-2.0 с монохроматором на первичном пучке, излучение  $Cu_{K\alpha}$ . ИК-спектры записывали на ИК-Фурье-спектрометре Nicolet 380. Образцы готовили в форме таблеток с KBr. Для определения химического состава растворов и твердофазных образцов (после растворения) использовали атомно-абсорбционный метод, спектрофотометр ААС-30. Концентрацию анионов бора определяли алкалометрическим титрованием [9].

## 2. Результаты и их обсуждение

Составы синтезированных образцов двойных гидроксидов могут быть выражены следующими формулами:  $Mg_{0,85}Al_{0,15}(OH)_2(NO_3)_{0,15-m}$

$X_m \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (МАГ) и  $\text{Mg}_{0,85}\text{Fe}_{0,15}(\text{OH})_2(\text{NO}_3)_{0,15-m}X_m \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (МЖГ), где  $X = \text{OH}^-$ ,  $\frac{1}{2}\text{CO}_3^{2-}$ . С помощью рентгенофазового анализа было определено, что оба образца являются соединениями со структурой типа гидроталькита, так как на дифрактограммах присутствуют типичные для данных систем рефлексы  $d_{003}$  и  $d_{110}$ , первый из них характеризует слоистую структуру. Межплоскостные расстояния между базисными гранями с индексами (003) в структуре МАГ (рисунок) и МЖГ составляют 0,78 и 0,76 нм соответственно. Увеличение межслоевого расстояния по сравнению со структурой их аналога – брусита  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  (0,48 нм) – происходит за счет анионов, интеркалированных в межслоевое пространство структуры гидроталькита. На ИК-спектрах исходных образцов МАГ и МЖГ проявляется широкая полоса поглощения с центром  $3446 \text{ см}^{-1}$ , которая может быть отнесена к валентным колебаниям  $\nu(\text{OH})$  гидроксогрупп и молекул  $\text{H}_2\text{O}$ , участвующих в образовании водородных связей. При  $1636 \text{ см}^{-1}$  проявляются деформационные колебания  $\delta(\text{H}_2\text{O})$ . Имеющиеся на ИК-спектре полосы поглощения с частотой  $1384 \text{ см}^{-1}$  соответствуют колебаниям  $\nu_3$  анионов  $\text{NO}_3^-$  ( $D_{3h}$ ), а слабые полосы поглощения, имеющиеся в диапазоне  $985\text{--}1000 \text{ см}^{-1}$ , отражают колебания связей N–O ( $C_{2v}$ ). Все это свидетельствует о наличии молекул  $\text{H}_2\text{O}$  и анионов  $\text{OH}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  в межслоевых пространствах структуры, что предопределяет возможность поглощения анионов бора.

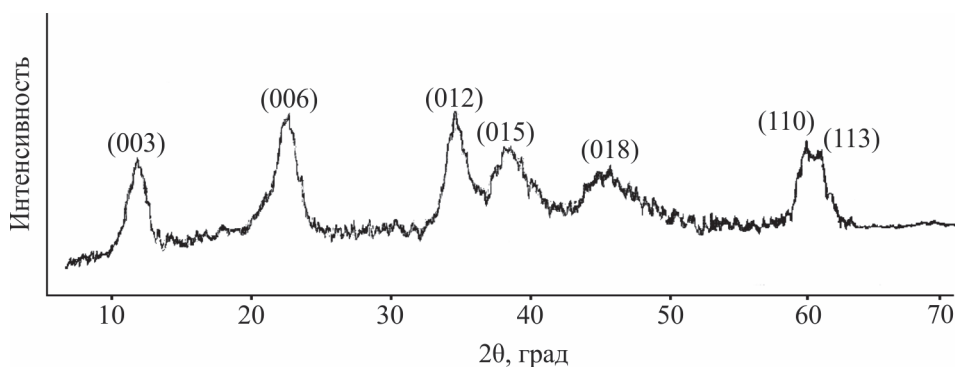


Рис. Дифрактограмма двойного гидроксида магния – алюминия

Сорбционные свойства полученных образцов в отношении анионов бора изучали в статических и динамических условиях. Образцы гидроксидов помещали в ионообменные колонки, через которые пропускали раствор  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ . Величина pH раствора составляла 8,6, следовательно, в растворе анионы бора существуют в виде  $[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4]^{2-}$ . На каждом из гидроксидов проведено по два цикла сорбции-десорбции. Десорбция ио-

нов  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$  была проведена водным 1,0 М раствором NaOH. Определены величины анионообменных емкостей (табл. 1).

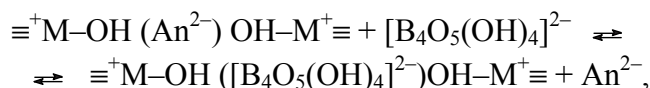
Т а б л и ц а 1

Значения динамической обменной емкости

Сорбент	Значения емкости сорбента $E$ , $\frac{\text{мг} [B_4O_5(OH)_4]^{2-}}{\text{г сорбента}}$			
	Первый цикл		Второй цикл	
	Сорбция	Десорбция	Сорбция	Десорбция
Mg(OH) <sub>2</sub>	27,5	25,8	23,1	21,6
МАГ	73,4	72,7	71,3	70,5
МЖГ	75,3	74,3	67,7	66,3

Результаты сорбционного эксперимента показывают, что двойные гидроксиды в сравнении с гидроксидом магния являются более эффективными сорбентами для ионов  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$ . Значительное повышение сорбционной емкости можно объяснить большей величиной межплоскостного расстояния в структуре двойных гидроксидов по сравнению с гидроксидом магния. Следует отметить также, что двойные гидроксиды способны очищать раствор от ионов  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$  до уровня ниже ПДК. Степень десорбции достаточно велика, она составляет 98–99 %, падения сорбционной емкости во втором цикле практически не происходит.

С помощью рентгенофазового и ИК-спектроскопического анализов установлено, что при поглощении ионов  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$  двойные гидроксиды МАГ и МЖГ сохраняют структуру типа гидроталькита. В процессе сорбции происходит обмен ионов  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$  с анионами  $OH^-$ ,  $NO_3^-$ , находящимися в межслоевых пространствах, что выражает уравнение



где  $An^{2-}$  стехиометрически соответствует анионам  $2OH^-$ ,  $2NO_3^-$ .

ИК-спектры продуктов сорбции тетраборат-анионов подтверждают, что сорбируемые анионы находятся в межслоевых пространствах в виде  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$ . При этом среди сил, удерживающих анионы  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$  в межслоевых пространствах, значительное место занимают водородные связи.

На МЖГ была исследована зависимость сорбции ионов бора от рН раствора  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ . Величину рН регулировали путем добавления 0,1 М раствора  $\text{HCl}$  и 0,1 М раствора  $\text{NaOH}$ . Результаты исследований приведены в табл. 2

Таблица 2

Зависимость сорбционной емкости МЖГ от рН раствора

№ п/п	рН	Емкость $E$ , $\frac{\text{мг} [\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4]^{2-}}{\text{г сорбента}}$
1	6,5	54,3
2	7,4	68,1
3	8,2	75,0
4	10	40,6

Максимальное значение емкости приходится на интервал рН = 7,5...8,5. Аналогичная зависимость получена и при сорбции ионов бора органическими ионитами. Полагают, что максимальная сорбция бора соответствует области повышенной устойчивости в растворе тетраборат-ионов  $[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4]^{2-}$ , в форме которых бор и поглощается сорбентом.

В статических условиях были получены изотермы сорбции  $(295 \pm 2)\text{K}$ . Одинаковые навески сорбента (0,2 г) и переменные количества раствора  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  помещали в герметичные сосуды. Объем раствора в каждом из них довели дистиллированной водой до 50 мл. Сосуды перемешивали до установления равновесия. После этого твердую и жидкую фазы в каждой пробе разделяли фильтрованием и анализировали.

Обработку экспериментальных данных проводили по уравнению изотермы Ленгмюра [10]

$$E = E_{\text{макс}} \frac{K \cdot C}{1 + K \cdot C},$$

где  $E_{\text{макс}}$  – емкость сорбента при насыщении;  $K$  – константа, характеризующая сродство сорбента к сорбтиву;  $C$  – концентрация ионов  $[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4]^{2-}$  в равновесном растворе, мг/л.

Константы в уравнении Ленгмюра имеют следующие значения:

$$E_{\text{макс}} = 80,7 \text{ и } 79,1 \frac{\text{мг} [\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4]^{2-}}{\text{г сорбента}} \text{ для МАГ и МЖГ соответственно}$$



но;  $K = 2,40$  и  $2,45$  л/моль для МАГ и МЖГ соответственно. Эти показатели свидетельствуют о хорошо выраженной способности двойных гидроксидов магния – алюминия поглощать ионы  $[B_4O_5(OH)_4]^{2-}$ .

Таким образом, двойные гидроксиды магния – алюминия и магния – железа (III), имеющие структуру гидроталькита, являются эффективными сорбентами для ионов бора. Они способны устойчиво работать в повторяющихся циклах сорбции-десорбции, очищая растворы от ионов бора до уровня, не превышающего предельно допустимую концентрацию.

### Список литературы

1. Environmental Health Criteria 204. Boron / World Health Organization. – Geneva, 1998. – P. 135.
2. Валяшко М.Г., Власова Е.В. К вопросу о состоянии бора в водных растворах // Геохимия. – 1966. – № 7. – С. 818–831.
3. Валяшко М.Г., Годе Г.К. О связи форм выделения боратов из растворов с величиной их рН // Журнал неорганической химии. – 1960. – № 6. – С. 1316–1328.
4. Lazaridis N.K., Pandi T.A., Matis K.A. Chromium(VI) removal from aqueous solutions by Mg–Al–CO<sub>3</sub> hydrotalcite: sorption-desorption kinetic and equilibrium studies // Ind. Eng. Chem. Res. – 2004. – № 43 (9). – P. 2209–2215.
5. Kok-Hui Goha, Teik-Thye Lima, Zhili Dong. Application of layered double hydroxides for removal of oxyanions: A review // Water research. – 2008. – № 42. – P. 1343–1368.
6. Evans D.G., Duan X. Preparation of layered double hydroxides and their applications as additives in polymers, as precursors to magnetic materials and in biology and medicine // Chem. Commun. – 2006. – № 5. – P. 485–496.
7. Соколова М.М., Нагорный О.В., Вольхин В.В., Томчук Т.К., Ефимова А.Д. Детоксикация почв, загрязненных шестивалентным хромом, с помощью мелиоранта на основе двойного гидроксида магния – алюминия // Вестник Перм. гос. техн. ун-та. Химическая технология и биотехнология. – 2010. – № 11. – С. 192–199.
8. Нагорный О.В., Соколова М.М., Томчук Т.К., Вольхин В.В., Бахирева О.И., Ефимова А.Д. Двойной магний-алюминиевый гидроксид в качестве регенерируемого сорбента для некоторых анионов // Вестник Перм. гос. техн. ун-та. Химическая технология и биотехнология. – 2011. – № 12. – С. 29–34.
9. Немодрук А.А., Каралова З.К. Аналитическая химия бора. – М.: Наука, 1964. – 282 с.
10. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1975. – 511 с.

## References

1. Environmental Health Criteria 204. Boron. Geneva: World Health Organization, 1998, pp. 135.
2. Valyashko M.G., Vlasova E.V. K voprosu o sostoyanii bora v vodnykh rastvorakh [To the question about the state of boron in water solutions]. *Geokhimiya*, 1966, no. 7, pp. 818–831.
3. Valyashko M.G., Gode G.K. O svyazi form vydeleniya boratov iz rastvorov s velichinoy ikh pH [About the connection of the borate forms allocated from the solutions with their pH]. *Zhurnal neorganicheskoy khimii*, 1960, no. 6, pp. 1316–1328.
4. Lazaridis N.K., Pandi T.A., Matis K.A. Chromium(VI) removal from aqueous solutions by Mg–Al–CO<sub>3</sub> hydrotalcite: sorption-desorption kinetic and equilibrium studies. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2004, no. 43 (9), pp. 2209–2215.
5. Kok-Hui Goha, Teik-Thye Lima, Zhili Dong. Application of layered double hydroxides for removal of oxyanions: A review. *Water research*, 2008, no. 2, pp. 1343–1368.
6. Evans D.G., Duan X. Preparation of layered double hydroxides and their applications as additives in polymers, as precursors to magnetic materials and in biology and medicine. *Chem. Commun*, 2006, no. 5, pp. 485–496.
7. Sokolova M.M., Nagorny O.V., Volkhin V.V., Tomchuk T.K., Efimova A.D. Detoksikatsiya pochv, zagryaznennykh shestivalentnym khromom, s pomoshchyu melioranta na osnove dvoynogo gidroksida magniya – alyuminiya [Detoxication of soils, contaminated with hexavalent chromium, using meliorant, based on double magnesium-aluminum hydroxide]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya*, 2010, no. 11, pp. 192–199.
8. Nagorny O.V., Sokolova M.M., Tomchuk T.K., Volkhin V.V., Bakhireva O.I., Efimova A.D. Dvoynoy magniy-alyuminievy gidroksid v kachestve regeneriruemogo sorbenta dlya nekotorykh anionov [Double magnesium-aluminum hydroxide as the regenerated sorbent for some anions]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya*, 2011, no. 12, pp. 29–34.
9. Nemodruk A.A., Karalova Z.K. Analiticheskaya khimiya bora [Analytical chemistry of boron]. Moscow: Nauka, 1964, 282 p.
10. Voyutskiy S.S. Kurs kolloidnoy khimii [Course of colloid chemistry]. Moscow: Khimiya, 1975, 511 p.

Получено 15.06.2013

## Об авторах

**Соколова Мария Михайловна** (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и биотехнологии Пермского национально-го исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: mmsokolova@mail.ru).

**Томчук Татьяна Кузьминична** (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и биотехнологии Пермского национально-го исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: vvv@purec.pstu.ac.ru).

**Черанева Людмила Григорьевна** (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и биотехнологии Пермского национально-го исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: max@do.pstu.ru).

**Нагорный Олег Владимирович** (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент, директор ООО «Уралхим» (614000, г. Пермь, ул. Пушкина, 9; e-mail: novbox78@icloud.com)

## About the authors

**Sokolova Mariya Mikhaylovna** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: mmsokolova@mail.ru).

**Tomchuk Tatyana Kuzminichna** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: vvv@purec.pstu.ac.ru).

**Cheraneva Lyudmila Grigorevna** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: max@do.pstu.ru).

**Nagorny Oleg Vladimirovich** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. of Chemical Sciences, Associate Professor, Manager of LLC “Uralkhim” (Pushkin st., 9, Perm, 614000, Russian Federation; e-mail: novbox78@icloud.com).