

DOI: 10.15593/2224-9400/2017.3.02

УДК 579.26

А.А. Ананко, О.И. БахиреваПермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия**БИОСОРБЕНТ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ СТРОНЦИЯ
И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В МНОГОСТАДИЙНОЙ
ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ**

Качество воды многих рек характеризуется повышенной концентрацией фенолов, хлорорганических пестицидов, а также ионов металлов. Это вызвано нарастающим в последние годы загрязнением водоемов веществами антропогенного происхождения. В связи с этим достаточно остро стоит проблема, связанная с запасами чистой воды.

Основными местами загрязнения ионами стронция являются разрабатываемые месторождения минералов, таких как целестин, стронцианит и др. Эти минералы могут растворяться в воде, насыщенной аммиачными солями, а так как ионы стронция не могут быть полностью сорбированы илами, то они загрязняют почву и различные водоемы. Как известно, стронций – один из токсичных металлов и поэтому российским СанПиНом он отнесен ко 2-му классу опасности – «высокоопасные вещества», предельно допустимая концентрация (ПДК) централизованных систем водоснабжения составляет 7 мг/дм³.

В связи с этим актуальными являются исследования по разработке и внедрению процессов извлечения ионов стронция из водной среды. Наибольший интерес представляет совмещение методов биологической и сорбционной очистки: такая технология извлечения ионов металла из растворов позволяет сократить недостатки, возникающие при их отдельной реализации.

*В данной работе исследована двухстадийная технология очистки модельного раствора, превышающего значения ПДК по ионам кальция и стронция, с применением атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно связанной плазмой Thermo iCAP 6500 Duo для анализа концентраций ионов металлов исходных образцов и продуктов сорбции. Исследована возможность многократного использования сорбционных материалов, представленных селективным сорбентом марки ИСМ – S и биосорбента на основе клеток бактерий рода *Acinetobacter*. Подобран недорогой и эффективный десорбирующий агент – 0,1 М раствор HNO₃.*

Биосорбент протестирован в работе в циклах сорбция – десорбция – регенерация.

Ключевые слова: извлечение ионов стронция, селективный сорбент марки ИСМ – S, биосорбент, двухстадийная технология очистки, цикл сорбция – десорбция – регенерация.

A.A. Ananko, O.I. Bakhireva

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

BIOSORBENT FOR REMOVAL OF STRONTIUM IONS AND ITS APPLICATION IN MULTISTAGE WATER TREATMENT TECHNOLOGY

The water quality of many rivers is characterized by high concentrations of phenols, organochlorine pesticides, and metal ions. This is caused by the rise in recent years, pollution of water bodies by substances of anthropogenic origin. In this regard, there is a problem with supplies of clean water.

The main places of contamination of the ions of strontium are mined deposits of minerals, such as Celestine, strontianite and more. These minerals can be dissolved in water, saturated ammonium salts, as well as ions of strontium cannot be fully sorbed by clays, that they contaminate the soil and various water bodies. As you know, strontium is one of the toxic metals and therefore, the Russian Sanmina he referred to the 2nd class of hazard – "hazardous substances", the maximum permissible concentration (MPC) of the centralized water supply systems is 7mg/L.

In this regard, relevant are studies on the development and implementation of processes for extracting strontium ions from aqueous environment. Of greatest interest is the combination of biological and sorption methods of purification: this technology of extracting metal ions from solutions allows to reduce the disadvantages encountered with their separate implementation.

In this paper we investigate the two-stage purification technology model solution exceeding the MPC values for ions of calcium and strontium, with the use of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma iCAP 6500 Duo Thermo for the analysis of metal ion concentration the initial samples and products sorption. We investigated the reusability of the sorption material presented selective sorbent brand ИСМ – S and biosorbent based on cells of bacteria of the genus Acinetobacter. Picked up a cheap and effective desorbitado agent – 0.1 M HNO_3 . Biosorbent tested in cycles of sorption-desorption-regeneration.

Keywords: extraction of ions of strontium, selective sorbent brand ИСМ – S, biosorbent, multistage treatment technology, the cycle sorption-desorption-regeneration.

Аномальное содержание ионов Sr^{2+} в природных водах зафиксировано в Пермском крае, Московской, Смоленской и других областях [1, 2]. В современных централизованных сооружениях по водоподготовке не предусмотрена стадия очистки от ионов стронция в присутствии солей жесткости [3]. Создание стадии извлечения из природной воды ионов Sr^{2+} в присутствии конкурирующих ионов Ca^{2+} в растворе позволило бы снизить содержание стронция на последующих этапах водоподготовки, необходимых для питьевой воды. Снижение концентрации ионов кальция, сопровождающее этот процесс, дополнительно смягчает природную воду, улучшая ее качество.

Лучших результатов по очистке воды удается достичь при использовании сорбционных методов очистки. Так, например, использование химически синтезированных сорбционных материалов позволяет производить селективное извлечение ионов того или иного металла [4–7].

Для очистки незасоленных природных вод от радионуклидов стронция в статических и динамических условиях исследованы наиболее перспективные оксигидратные сорбенты на основе диоксида марганца: ИСМ – S и ИСМ – СП. Структурная формула ИСМ – S имеет следующий вид: $(\text{Na}, \text{K})_x \text{MnO}_y$, где $x = 0,25 \dots 0,3$ и $y = 1,9 \dots 2,1$; ИСМ – СП – тот же сорбент, распределенный в матрице инертного носителя (перхлорвинила).

Отличительной особенностью данных сорбентов в отличие от широко известных природных и синтетических образцов на основе оксигидрата марганца (III, IV) является их способность к обратимой сорбции (регенерации).

Установлено, что для сорбции ^{90}Sr сорбентом ИСМ – S оптимальной является область pH 6–10. В кислой среде до pH 1,2 сорбции ионов ^{90}Sr не наблюдается, что указывает на возможность десорбции радионуклида. В щелочной среде снижение степени обмена связано с усилением гидролизных процессов. Максимальный коэффициент распределения [8] ^{90}Sr ($K_d \sim 7 \cdot 10^3$) зафиксирован при pH 6,9 (табл. 1).

Изучены изменения величины статической обменной емкости (СОЕ, мг/г) сорбента ИСМ – СП в различных модификациях (исходной, кальциевой и калиевых формах) и зависимости СОЕ от начальной концентрации ^{90}Sr в растворе (табл. 2).

Таблица 1

Зависимость степени сорбции ^{90}Sr от водородного показателя среды

Водородный показатель среды (pH)	Степень сорбции ^{90}Sr (S, %)	Водородный показатель среды (pH)	Степень сорбции ^{90}Sr (S, %)
1,2	0	6,9	98,6
2,1	73,0	7,9	98,0
3,1	77,7	9,0	98,5
4,1	76,6	10,2	97,2
5,2	89,9	11,5	83,9
6,1	97,6		

Таблица 2

Зависимость величины COE разных форм сорбента ИСМ – СП от концентрации стронция в растворе

C_{Sr} , мг/л	C_{Na} , г/л	COE, мг/г		
		Исходная форма	Ca-форма	K-форма
10	1,17	6,98	0,716	0,872
50	1,14	4,90	2,85	4,41
100	1,10	9,83	5,21	8,13
150	1,06	14,9	6,29	11,6
200	1,02	19,2	8,54	13,7
300	0,945	28,3	11,0	15,9
500	0,788	40,2	12,8	27,8
1000	0,394	55,4	–	29,8
1500	0	55,5	–	–

Полная обменная емкость (ПОЕ) сорбента ИСМ – СП в исходной форме составляет ≈ 55 , в калиевой форме ≈ 28 и кальциевой форме около 15 мг стронция на 1 г сорбента. Таким образом, наиболее легко в фазе сорбента происходит обмен натрия, а химический аналог кальция и близкий по размеру иона калия обмениваются на стронций значительно труднее [9].

Данный сорбционный материал был синтезирован специально для очистки природной воды от радионуклидов стронция, но возможно его применение и для извлечения стабильного стронция. Материал характеризуется относительно высокой обменной емкостью, однако к его недостаткам можно отнести экономические затраты на синтез.

В литературе известны примеры, иллюстрирующие последовательное использование различных методов очистки: осаждение и сорбция, осаждение и биологическая очистка. Возможно совмещение сорбционных методов с биологическими. Клетки микроорганизмов мо-

гут быть использованы как в стадии предварительной очистки, так и для глубокой очистки [10–15].

Установлено, что клетки бактерий рода *Acinetobacter* являются биомассой, селективно поглощающей ионы стронция. Использование клеток бактерий в качестве десорбирующего агента, как показало исследование [16, 17], нецелесообразно ввиду низких значений процесса десорбции ионов стронция, это можно объяснить прочной связью ионов металла с компонентами сорбционного материала.

Возможно использование бактерий в производстве биосорбента, синтез которого осуществляется путем простой адгезии клеток бактерий рода *Acinetobacter* в макропоры и на поверхность отсевов угля марки БАУ [18, 19]. Биосорбент имеет среднестатистический коэффициент разделения при его сравнении с характеристиками синтетических сорбентов.

Современные технологии позволяют применять совокупность методов очистки воды от различного вида загрязнений, которые могут селективно извлекать или обезвреживать конкретные виды загрязнений. Это не требует строительства новых очистных сооружений, достаточно модифицировать существующие. Так, например, недостаток описанного неорганического сорбента можно устранить при использовании технологии, включающей в себя стадию предварительной очистки (биосорбция) и глубокой очистки (сорбция селективным сорбентом). Для исследования предложенной технологии разработана лабораторная установка, состоящая из двух последовательно соединенных колонок. Первая сорбционная колонка заполнена биосорбентом, вторая – сорбентом ИСМ – S, чередующимся с отсевами активных углей во избежание попадания жизнеспособных клеток микроорганизмов в очищенную воду. Для удобства колонку, заполненную биосорбентом, обозначили как «биосорбент», а колонку, заполненную диоксидом марганца и углем, – «смесь».

Через слой сорбционных материалов (10 мл, что составляет по массе 4 г), находящихся в колонке, пропустили 800 мл модельного раствора. Используемый модельный раствор содержал ионы стронция и кальция в соотношении 1:30.

Согласно результатам исследования (табл. 3) совместное использование биологического и сорбционного методов позволило добиться высокой степени очистки растворов, загрязненных аномальными концентрациями ионов стронция в присутствии солей жесткости. За один цикл модельный раствор был очищен суммарно на 43 % по ионам стронция,

Таблица 3

Изучение сорбции многостадийной технологии

Объем пропущенного через колонку раствора, мл	Биосорбент						Смесь						Общая степень очистки		
	Сорбция ионов Sr^{2+}			Сорбция ионов Ca^{2+}			Сорбция ионов Sr^{2+}			Сорбция ионов Ca^{2+}			Sr^{2+}	Ca^{2+}	
	Нач. конц. ионов, мг-экв/л	Кон. конц. ионов, мг-экв/л	Нач. конц. ионов, мг-экв/л	Кон. конц. ионов, мг-экв/л	Нач. конц. ионов, мг-экв/л	Кон. конц. ионов, мг-экв/л	Нач. конц. ионов, мг-экв/л	Кон. конц. ионов, мг-экв/л	Нач. конц. ионов, мг-экв/л	Кон. конц. ионов, мг-экв/л	Нач. конц. ионов, мг-экв/л	Кон. конц. ионов, мг-экв/л			
50	0,242	0,182	7,819	6,412	0,182	0,091	6,412	0,091	0,182	0,185	0,098	6,412	6,256	0,625	0,200
100	0,242	0,185	7,819	6,540	0,185	0,098	6,540	0,098	0,185	0,189	0,101	6,540	5,309	0,461	0,172
150	0,242	0,189	7,819	6,671	0,189	0,104	6,671	0,104	0,189	0,193	0,107	6,671	5,448	0,456	0,167
200	0,242	0,193	7,819	6,804	0,193	0,110	6,804	0,110	0,193	0,197	0,117	6,804	5,590	0,451	0,162
250	0,242	0,197	7,819	6,940	0,197	0,113	6,940	0,113	0,197	0,201	0,120	6,940	5,736	0,446	0,157
300	0,242	0,201	7,819	7,079	0,201	0,123	7,079	0,123	0,201	0,205	0,127	7,079	5,886	0,441	0,152
350	0,242	0,205	7,819	7,221	0,205	0,131	7,221	0,131	0,205	0,209	0,134	7,221	6,039	0,436	0,147
400	0,242	0,209	7,819	7,365	0,209	0,138	7,365	0,138	0,209	0,213	0,142	7,365	6,196	0,431	0,142
450	0,242	0,213	7,819	7,513	0,213	0,146	7,513	0,146	0,213	0,217	0,152	7,513	6,356	0,426	0,137
500	0,242	0,217	7,819	7,663	0,217	0,152	7,663	0,152	0,217	0,222	0,160	7,663	6,521	0,421	0,132
550	0,242	0,222	7,819	7,816	0,222	0,160	7,816	0,160	0,222	0,226	0,167	7,816	6,690	0,416	0,127
600	0,242	0,226	7,819	7,972	0,226	0,170	7,972	0,170	0,226	0,231	0,175	7,972	6,863	0,410	0,122
650	0,242	0,231	7,819	7,972	0,231	0,180	7,972	0,180	0,231	0,235	0,185	7,972	7,040	0,405	0,117
700	0,242	0,235	7,819	7,972	0,235	0,190	7,972	0,190	0,235	0,240	0,195	7,972	7,080	0,400	0,112
750	0,242	0,240	7,819	7,990	0,240	0,200	7,990	0,200	0,240	0,245	0,205	7,990	7,119	0,395	0,107
800	0,242	0,245	7,819	8,149	0,245	0,210	8,149	0,210	0,245	0,249	0,215	8,149	7,175	0,390	0,102

а по ионам кальция – на 14 %. При анализе представленных результатов была установлена максимальная сорбционная емкость сорбента по стронцию, которая составляет $0,277 \frac{\text{мг-эквSr}^{2+}}{\text{г биосорбента}}$.

Важным параметром сорбционной установки в технологических целях является возможность ее повторного использования. Проведение второго цикла сорбции возможно после проведения десорбции ионов металлов. Согласно исследованиям, представленным в статье [9], для оксигидратного сорбента лучше применять 0,1 М раствор азотной кислоты в качестве десорбирующего агента. Ввиду отсутствия результатов десорбции при использовании биологических систем выбран ряд растворов: дистиллированная вода и растворы азотной кислоты, экстрагирующие способности которых были в последующем исследованы.

Сразу же после сорбции проводили десорбцию путем пропускания раствора десорбента через колонку, заполненную отработанным биосорбентом. Результаты приведены на рис. 1, 2.

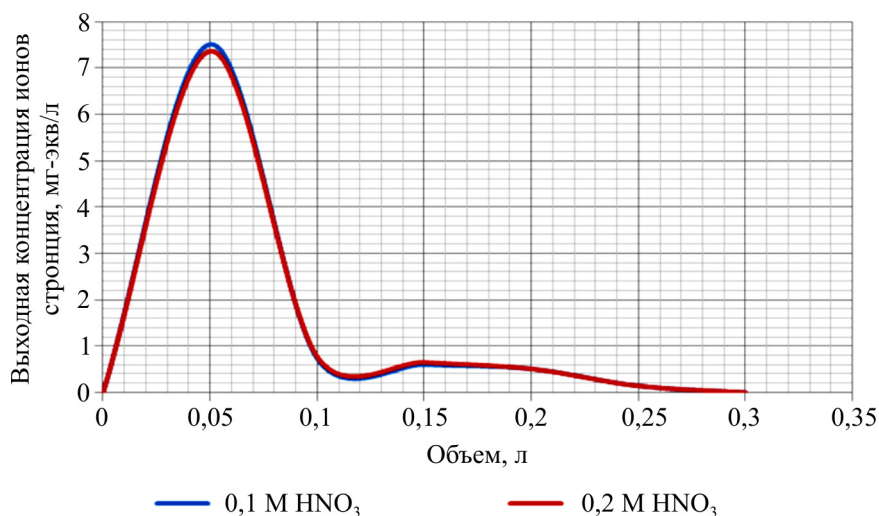


Рис. 1. Выходная кривая десорбции ионов стронция азотной кислотой разных концентраций

На рис. 1 видно, что увеличение концентрации азотной кислоты, выбранной в качестве десорбирующего агента, не способствует значительным изменениям степени десорбции ионов стронция с поверхности отработанного биосорбента.

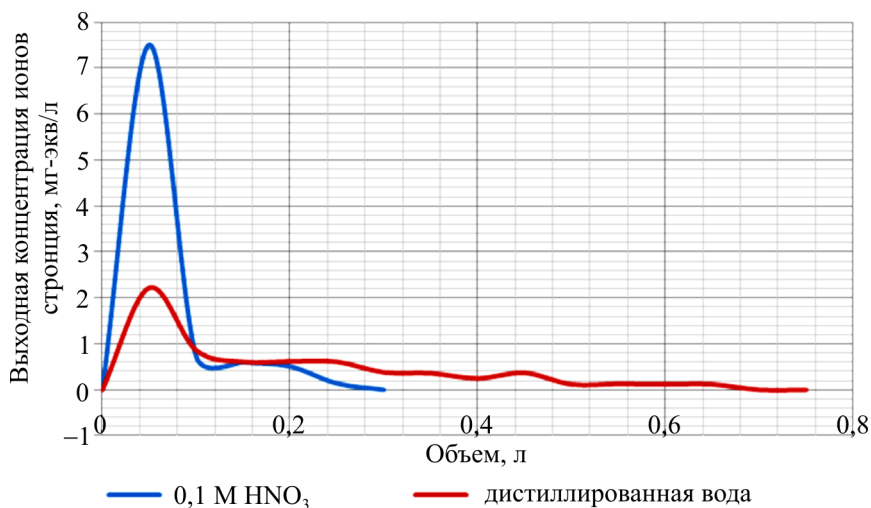


Рис. 2. Выходная кривая десорбции ионов стронция 0,1 М раствором азотной кислоты и дистиллированной водой

Как видно на рис. 2, использование дистиллированной воды нецелесообразно ввиду образования больших объемов жидких отходов. По полученным зависимостям видно, что стронций может быть десорбирован как растворами азотной кислоты, так и дистиллированной водой. Однако лучшим элюентом является 0,1 М раствор азотной кислоты.

После проведения циклов десорбции необходимо восстановление бактериального слоя на носителе, поэтому после десорбции ионов металлов биосорбент отмывали дистиллированной водой до нейтральных значений pH, а затем проводили иммобилизацию клеток бактерий рода *Acinetobacter* на поверхность твердого носителя.

По окончании процесса регенерации провели второй цикл сорбции и на основании полученных результатов судили о степени регенерации. Ввиду возможности уноса частиц биосорбционного материала совместно с жидкими фазами при всех стадиях очистки материала был введен фактор пересчета, учитывающий, что потери составляют 10 %.

Проведенные эксперименты по десорбции показали, что биосорбент можно использовать в циклах сорбции – десорбции – регенерации в динамических условиях, поскольку стронций десорбируется практически полностью ($\approx 85\%$).

Предложенная многостадийная технология была изучена в лабораторных условиях, где в качестве первой ступени очистки происходит биосорбция, а на второй ступени – сорбция селективным неорганиче-

ским сорбентом. На основании результатов исследования установлено, что модельный раствор при соотношении ионов Sr^{2+} и Ca^{2+} 1:30 может быть очищен суммарно на 43 % по ионам стронция, а по ионам кальция – на 14 % при минимальных затратах сорбционного материала: $m_{\text{биосорбент}} = 4$ г, $m_{\text{ИСМ-S}} = 2$ г, $m_{\text{БАУ-мф}} = 2$ г, $V_{\text{мод.раствор}} = 0,8$ л или возможна очистка 80 колоночных объемов.

Таблица 4

Сравнение сорбционных характеристик биосорбентов
после регенерации

Биосорбционный материал	Сорб. емкость по Sr^{2+} , мг-экв/г	Степень регенерации n , %	Сорб. емкость по Sr^{2+} с учетом потерь, мг-экв/г	Степень регенерации n' с учетом потерь, %
Биосорбент	0,277	–	–	–
Регенерированный биосорбент после десорбции дистил. H_2O	0,164	59,2	0,182	65,7
Регенерированный биосорбент после десорбции 0.1 М HNO_3	0,232	83,8	0,258	93,1
Регенерированный биосорбент после десорбции 0.2 М HNO_3	0,231	83,4	0,256	83,4

Изучены сорбционные характеристики биосорбционного материала в циклах сорбция – десорбция – регенерация, проводимых в динамических условиях. По результатам исследования при использовании 0,1 М раствора азотной кислоты в динамических условиях степень регенерации составляет порядка 93 %.

Согласно представленным результатам многостадийная технология может быть применена в промышленных масштабах после стадий механической и биологической очистки природной воды.

Список литературы

1. Беспмятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. – Л.: Химия, 1985. – 528 с.
2. Аномалии природного стронция в питьевых водах Калужской области / А.В. Ершов, И.И. Силин, Ю.С. Кривова, Т.И. Губарева // Вестник новых медицинских технологий. – 2006. – Т. XIII, № 4. – С. 161–164.

3. Колесников В.П., Вильсон Е.В. Современное развитие технологических процессов очистки сточных вод в комбинированных сооружениях / под ред. В.К. Гордеева-Гаврикова. – Ростов н/Д: Юг, 2005. – 212 с.
4. Алыков Н.М., Павлова А.В. Сорбционное удаление из воды тяжелых металлов // Безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 4. – С. 17–20.
5. Kalibantonga P.D. Heavy metals removal from solution by palygorskite clay // Minerals Engineering. – 2015. – № 5(19). – P. 463–470.
6. Демина Е.В., Мирошниченко О.В., Басаргин Н.Н. Концентрирование стронция полимерным комплексообразующим сорбентом полистирол-2-окси-азо-2'-окси-3,5-дисульфобензол в анализе минеральных вод // Ученые записки: электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2013. – Т. 2, № 3 (27). – С. 32–35.
7. Бердоносков С.С., Бердоносова Д.Г., Знаменская И.В. Сорбция ^{90}Sr и ^{90}Y карбонатом кальция в модификации ватерит // Радиохимия. – 2003. – Т. 45, № 6. – С. 553–556.
8. Мархол М. Ионообменники в аналитической химии. – Ч. 1. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
9. Изучение сорбента ИСМ – S и испытания основанной на нем сорбционной технологии очистки воды водоема – накопителя ПО «Маяк» от ^{90}Sr / Ю.А. Ворошилов, М.В. Логунов, Н.Н. Прокофьев, Н.Н. Землина // Радиохимия. – 2003. – Т. 45, № 1. – С. 62–65.
10. Попов Д.А., Бахирева О.И. Удаление ионов тяжелых металлов из водных растворов с помощью биосорбции // Химия. Экология. Биотехнология: тез. докл. конф. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – С. 123–126.
11. Lau T.C., Wu X.A. Effect of exopolysaccharides on the adsorption of metal ions by *Pseudomonas sp.* CU-1 // Water Science and Technology. – 2005. – № 7(52). – P. 63–68.
12. Gülay Bayramoğlu, M. Yakup Arıca. Construction a hybrid biosorbent using *Scenedesmus quadricauda* and Ca-alginate for biosorption of Cu(II), Zn(II) and Ni(II): Kinetics and equilibrium studies // Bioresource technology. – 2009. – № 1 (100). – P. 186–193.
13. Аронбаев С.Д., Насимов А.М., Аронбаев Д.М. Биосорбция тяжелых металлов клеточными оболочками дрожжей *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* // Всероссийский журнал научных публикаций. – 2011. – № 1(2). – С. 13–15.
14. Chipo Masona, Loveness Mapfare, Stenly Mapurazi. Assesment of heavy metal accumulation in wastewater irrigted soil and uptake by Maize

plants at Firle farm in Harare // Journal of Sustainable development. – Zimbabwe, Bindura, 2011. – P. 132–137.

15. Kearney E. Mercury (II) uptake at the vermiculite surface with relevance to the East Fork Popular Creek Floodplain // Thesis: Submitted as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Earth and Environmental Sciences in the Graduate College of the University of Illinois. – Chicago, 2013. – P. 29–38.

16. The use of bacteria of the genus *Acinetobacter* for purification of natural water / А.А. Ананко, Ю.О. Виноградов, О.И. Бахирева // Chemistry. Ecology. Biotechnology: abstr. for the Regional Conf. of students and young scientists (Perm, April 19-20, 2016). – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2016. – P. 35–37.

17. Ананко А.А., Бахирева О.И., Пан Л.С. О возможности регулирования процесса аккумуляции ионов Sr^{2+} бактериями рода *Acinetobacter* // Химия. Экология. Урбанистика: материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, асп., студ. и школьников (с международным участием). – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. – С. 182–188.

18. Ананко А.А. О возможности получения биосорбционных материалов, селективных к ионам стронция // Экология России и сопредельных территорий: материалы XX Междунар. экол. студ. конф. / Новосибир. гос. ун-т. – Новосибирск, 2016. – С. 246.

19. Ананко А.А., Воронцова Е.А., Бахирева О.И. Синтез и исследование свойств биосорбционного материала для извлечения ионов Sr^{2+} // Экотоксикология–2016: материалы Всерос. конф. с элементами научной школы для молодежи / Тул. гос. ун-т. – Тула, 2016. – С. 128–130.

References

1. Bepamiatnov G.P. Krotov Iu.A. Predel'no dopustimye kontsentratsii khimicheskikh veshchestv v okruzhaiushchei srede [The maximum permissible concentration of chemical substances in the environment]. Leningrad, Khimiia, 1985, 528 p.

2. Ershov A.V., Silin I.I., Krivova Iu.S., Gubareva T.I. Anomalii prirodnogo strontsiia v pit'evykh vodakh Kaluzhskoi oblasti [Anomalies of natural strontium in drinking waters of the Kaluga region]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii*, 2006, vol. XIII, no. 4, pp. 161-164.

3. Kolesnikov V.P., Vil'son E.V. Sovremennoe razvitie tekhnologicheskikh protsessov ochistki stochnykh vod v kombinirovannykh

sooruzheniakh [The modern development of technological processes of sewage treatment in combined works]. Ed. V.K. Gordeev-Gavrikov. Rostov-on-Don, Iug, 2005, 212 p.

4. Alykov N.M., Pavlova A.V. Sorbtсионное удаление из воды тяжелых металлов [Sorption removal of water from heavy metals]. *Bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti*, 2010, no. 4, pp. 17-20.

5. Kalibantonga P.D. Adsorption of heavy metals from solution by a South African industrial clay. *Minerals Engineering*, 2005, no. 5, pp. 463-470.

6. Demina E.V., Miroshnichenko O.V., Basargin N.N. Kонтцентрирование стронция полимерным комплексообразующим сорбентом полистирол-2-оксиазо-2'-окси-3,5-дисульфобензол в анализе минеральных вод [The strontium concentration polymeric complex-forming sorbent polystyrene-2-hydroxy-azo-2'-hydroxy-3,5-disulfonate in the analysis of mineral waters]. *Uchenye zapiski: elektronnyi nauchnyi zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, vol. 2, no. 3 (27), pp. 32-35.

7. Berdonosov S.S., Berdonosova D.G., Znamenskaia I.V. Sorbtсион ^{90}Sr и ^{90}Y карбонатом кальция в модификации ватерита [Sorption of ^{90}Sr and ^{90}Y calcium carbonate in the modification of vaterite]. *Radiokhimiia*, 2003, vol. 45, no. 6, pp. 553-556.

8. Markhol M. Ionoобменники в аналитической химии [The ion exchangers in analytical chemistry]. Part 1, Moscow, Mir, 1985, 264 p.

9. Voroshilov Iu.A., Logunov M.V., Prokof'ev N.N., Zemlina N.N. Изучение сорбента ISM – S и испытания основанной на нем сорбционной технологии очистки воды водоема – накопителя ПО «Маяк» от ^{90}Sr [The study of the sorbent ISM – S and tests based on the sorption technology of purification of water storage AT the "Mayak" from ^{90}Sr]. *Radiokhimiia*, 2003, vol. 45, no. 1, pp. 62-65.

10. Popov D.A., Bakhireva O.I. Удаление ионов тяжелых металлов из водных растворов с помощью биосорбции. *Tezisy докладов конференции «Химия. Экология. Биотехнология»*, Perm, Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2013, pp. 123-126.

11. Lau T.C., Wu X.A. Effect of exopolysaccharides on the adsorption of metal ions by *Pseudomonas* sp. CU-1. *Water Science and Technology*, China, Hong Kong, 2005, no. 7, pp. 63-68.

12. Gülay Bayramoğlu, M. Yakup Arıca Construction a hybrid biosorbent using *Scenedesmus quadricauda* and Ca-alginate for biosorption of Cu(II), Zn(II) and Ni(II): Kinetics and equilibrium studies. *Bioresourcetechnology*, 2009, no. 1 (100), pp. 186-193.

13. Aronbaev S.D., Nasimov A.M., Aronbaev D.M. Biosorbtsiia tiazhelykh metallov kletochnymi obolochkami drozhzhei *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* [Nov of heavy metals with cellular membranes of the yeast *SACCHAROMYCES CEREVISIAE*]. *Vserossiiskii zhurnal nauchnykh publikatsii*, 2011, no. 1(2), pp. 13-15.

14. Chipso Masona, Loveness Mapfare, Stenly Mapurazi. Assesment of heavy metal accumulation in wastewater irrigated soil and uptake by Maize plants at Firle farm in Harare. *Journal of Sustaineable development*, Zimbabwe, Bindura, 2011, pp. 132-137.

15. Kearney E. Mercury (II) uptake at the vermiculite surface with relevance to the East Fork Popular Creek Floodplain. *Thesis: Submitted as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Earth and Environmental Sciences in the Graduate College of the University of Illinois*, Chicago, 2009, pp. 29-38.

16. Ananko A.A., Vinogradov Yu.O., Bakhireva O.I. The use of bacteria of the genus *Acinetobacter* for purification of natural water. *Chemistry. Ecology. Biotechnology*. Perm, Perm National Research Polytechnic University, 2016, pp. 35-37.

17. Ananko A.A., Bakhireva O.I., Pan L.S. O vozmozhnosti regulirovaniia protsessa akkumuliatsii ionov Sr^{2+} bakteriiami roda *Acinetobacter* [On the possibility of regulating the process of accumulation of ions of Sr^{2+} by bacteria of the genus *Acinetobacter*]. *Khimiia. Ekologiiia. Urbanistika*. Perm, Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2017, pp. 182-188.

18. Ananko A.A. O vozmozhnosti polucheniia biosorbtsionnykh materialov, selektivnykh k ionam strontsiia [The possibility of obtaining biosorption materials selective to ions of strontium]. *Ekologiiia Rossii i sopredel'nykh territorii. Materialy XX Mezhdunarodnoi ekologicheskoi studencheskoi konferentsii*. Novosibirsk, Novosibirskii gosudarstvennyi universitet, 2016, pp. 246.

19. Ananko A.A., Vorontsova E.A., Bakhireva O.I. Sintez i issledovanie svoistv biosorbtsionnoo materiala dlia izvlecheniia ionov Sr^{2+} [Synthesis and study of properties of biosorption material for extraction of ions Sr^{2+}]. *Ekotoksikologiiia-2016. Materialy Vserossiiskoi konferentsii s elementami nauchnoi shkoly dlia molodezhi*. Tula, Tul'skii gosudarstvennyi universitet, 2016, pp. 128-130.

Получено 01.08.2017

Об авторах

Ананко Алена Андреевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, ул. Комсомольский пр., 29, e-mail: alena.ananko@mail.ru).

Бахирева Ольга Ивановна (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, ул. Комсомольский пр., 29, e-mail: bahirevy@mail.ru).

About the authors

Alena A. Ananko (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, e-mail: alena.ananko@mail.ru).

Olga I. Bakhireva (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor of "Chemistry and biotechnology", Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, e-mail: bahirevy@mail.ru).