

DOI: 10.15593/2224-9400/2020.3.04

УДК 628.316.12

**Е.А. Фарберова, Д.С. Шадрин,
Н.Б. Ходяшев, Е.А. Тиньяева**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

МИКРОМИЦЕТЫ *TRICHODERMA HARZIANUM* В СОСТАВЕ УГЛЕРОДНОГО БИОСОРБЕНТА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РТУТИ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД

Представлена разработка биохимического метода концентрирования ртути, выделенной из технологических потоков и промышленных сточных вод для возврата ее в производственный цикл.

Тяжелые металлы чрезвычайно токсичны в водных средах, так как вызывают угнетение живых организмов на молекулярном и клеточном уровне. Одним из самых опасных тяжелых металлов является ртуть, обладающая высоким коэффициентом растворения в воде.

*Выделена культура *Trichoderma harzianum*, способная к сорбции ионов ртути (II). Проведено ее физико-морфологическое описание и исследованы сорбционные свойства по извлечению ионов ртути из модельных растворов. Показано, что при содержании ртути в растворе $1,146 \text{ мг/дм}^3$ степень ее извлечения составила 78 %.*

Изучены сорбционные свойства слоя активных углей марок БАУ-МФ и КАУ в динамических условиях сорбции и десорбции. В ходе исследований было показано, что выбранные марки обеспечивают степень извлечения ртути из очищаемого раствора более 99 %.

Изучены сорбционные свойства биосорбентов, полученных путем иммобилизации клеток микромицет на поверхности активных углей марок БАУ-МФ и КАУ в динамических условиях. Установлено, что биосорбент на основе активного угля БАУ-МФ проявляет емкость поглощения ртути более 90 %, чем активный БАУ, а биосорбент на основе активного угля марки КАУ по емкости превосходит основу выше 60 %.

Исследована возможность концентрирования ртути в растворе путем десорбции ее с поверхности биосорбента. Показана высокая степень десорбции сорбированной ртути (более 99 %) в небольшом объеме экстрагента. Концентрация ртути в растворе может быть повышена более чем в 10 раз, что позволит возвращать ртуть в технологический процесс и снизить ее выбросы в водоемы.

Ключевые слова: биосорбент, ионы Hg^{2+} , иммобилизация, активный уголь, *Trichoderma harzianum*.

**E.A. Farberova, D.S. Shadrin,
N.B. Khodyashev. E.A. Tingaeva**

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

TRICHODERMA HARZIANUM MICROMYCETES AS A CARBON BIOSORBENT FOR EXTRACTING MERCURY FROM AQUEOUS MEDIA

This work is devoted to the development of a biochemical method for concentrating mercury, isolated from technological streams and industrial wastewater to return it to the production cycle.

Heavy metals are extremely toxic in aqueous media, as they cause inhibition of living organisms at the molecular and cellular levels. One of the most dangerous heavy metals is mercury, which has a high dissolution rate in water.

*The culture of *Trichoderma harzianum* is isolated, capable of sorption of mercury (II) ions. Its physical and morphological description was carried out, and sorption properties for the extraction of mercury ions from model solutions were investigated. It was shown that with a mercury content in the solution of 1.146 mg/dm³, its recovery rate was 78 %.*

Sorption properties of active carbon layer of BAU-MF and KAU grades in dynamic conditions of sorption and desorption are studied. In the course of research, it was shown that the selected grades provide a degree of extraction of mercury from the purified solution of more than 99 %.

Sorption properties of biosorbents obtained by immobilizing micromycete cells on the surface of active carbons of BAU-MF and KAU brands under dynamic conditions were studied. It has been found that a biosorbent based on active BAU-MF coal exhibits a mercury absorption capacity of more than 90% than active BAU, and a biosorbent based on active KAU carbon exceeds the base by more than 60% in capacity.

The possibility of concentrating mercury in a solution by desorbing it from the surface of a biosorbent was investigated. A high degree of desorption of sorbed mercury (more than 99%) in a small volume of extractant is shown. The concentration of mercury in the solution can be increased by more than 10 times, which will allow returning mercury to the technological process and reducing its emissions to reservoirs.

Keywords: biosorbent, Hg²⁺ ions, immobilization, active carbon, *Trichoderma harzianum*.

Биологические методы извлечения тяжелых металлов (ТМ) основаны на поглощении ТМ микроорганизмами различных таксономических групп: бактериями, грибами, водорослями.

Грибы относятся к одной из самых многочисленных и универсальных групп микроорганизмов. Грибная биомасса представляет собой биополимер, проявляющий биосорбционную способность. Многие разновидности грибов способны накапливать тяжелые металлы. Из-

вестна достаточно высокая биосорбционная способность *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Rhizopus sp* [1]. В работе [2] приведены результаты использования *Aspergillus niger* для сорбции ионов свинца, меди, кадмия. Авторами работы [3] установлено, что отработанная грибковая биомасса, содержащая клетки *Aspergillus niger*, обладает хорошей сорбционной способностью по отношению к ионам кадмия, хрома, никеля и железа. В работе [4] сообщается об извлечении спорами *Aspergillus niger* ртути из водных растворов. Известно, что грибы рода *Penicillium* также являются хорошими сорбентами и могут эффективно удалять из растворов ионы меди, цинка, кадмия, марганца [5, 6].

В работе [7] отмечена способность поглощать ионы тяжелых металлов грибами рода *Trichoderma*. Ф.К. Алимовой [8] исследована возможность аккумулировать ионы цинка, кадмия и ртути голодающим и неголодающим мицелием *T. harzianum*. Установлено, что *Rhizopus arrhizus* и *Trichoderma viride* способны адсорбировать из растворов двухвалентные катионы металлов Cu^{2+} , Cd^{2+} и Zn^{2+} .

По данным исследователей [9], биосорбционная возможность микроорганизмов может быть улучшена правильным выбором способа их модификации. Модифицирование можно осуществить нагреванием, замораживанием, химической обработкой и сушкой.

Иммобилизация микроорганизмов на твердый носитель также может воздействовать на клеточную стенку и привести к улучшению эксплуатационных характеристик материала, позволяющих применять биосорбент в гидродинамическом режиме.

Известны исследования по поглощению меди, кадмия, свинца, кобальта и других тяжелых металлов микроорганизмами *R. arrhizus*, иммобилизованными на альгинате кальция и полиамидном геле [9, 10].

Одним из самых опасных тяжелых металлов является ртуть, и проблема загрязнения окружающей среды соединениями ртути не утратила свою актуальность.

Целью данной работы является разработка углеродного биосорбента, модифицированного клетками *Trichoderma harzianum*, для концентрирования ртути из сточных вод и возврата ее в технологический процесс.

Экспериментальная часть. В качестве объектов исследования в данной работе выбраны: культура рода *Trichoderma harzianum* и углеродные сорбенты (активные угли промышленного производства марок КАУ, БАУ-МФ) [11].

Для определения содержания ртути в растворе использовали метод атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно связанной плазмой (прибор Thermo iCAP 6500 Duo) с пределом обнаружения ртути $0,1 \text{ мкг/дм}^3$. Оптимальной для данных условий анализа была выбрана спектральная линия $184,950 \text{ нм}$.

Культура рода *Trichoderma harzianum* извлекалась из таблетированного препарата Глиокладин.

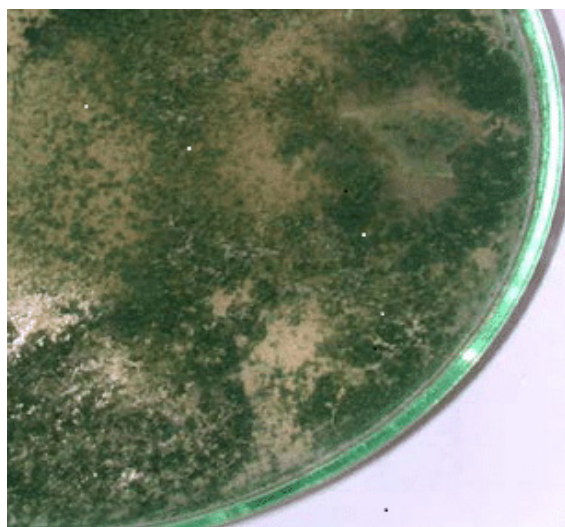


Рис. 1. Культура рода *Trichoderma harzianum*

Исследования условий жизнеспособности культуры *Trichoderma harzianum* проводили путем построения кривых ее роста весовым методом. В питательную среду М9 состава, г/дм^3 [12]: $\text{NH}_4\text{Cl} - 1,0$; $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 - 1,0$; $\text{NaCl} - 0,5$; $\text{K}_2\text{HPO}_4 - 3,0$, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 - 6,0$ помещали навески (200 мкг) препарата Глиокладин с концентрацией клеток 10^5 КОЕ. Условия культивирования: $30 \text{ }^\circ\text{C}$, 150 об/мин. Через заданные промежутки времени биомассу отделяли от жидкости центрифугированием, высушивали при температуре $40 \text{ }^\circ\text{C}$ до постоянного веса и определяли массу сухих веществ в единице объема.

Весовой метод измерения биомассы позволил получить графическую зависимость роста биофунгицида *Trichoderma harzianum* от времени (рис. 2).

Полученный график позволяет выделить основные жизненные фазы культуры *Trichoderma harzianum*. Первичная лаг-фаза протекает 24 ч, скорость роста биомассы составляет $0,009 \text{ мг/ч}$. Фаза ускоренного роста составляет 24 ч. Скорость нарастания биомассы в данной фазе

0,16 мг/ч. Экспоненциальная фаза длится 3 сут. Скорость роста биомассы в данной фазе 0,053 мг/ч. Четвертая фаза – фаза замедленного роста протекает 1 сут. Далее следовала стационарная фаза, которая наблюдалась в течение 6 сут.

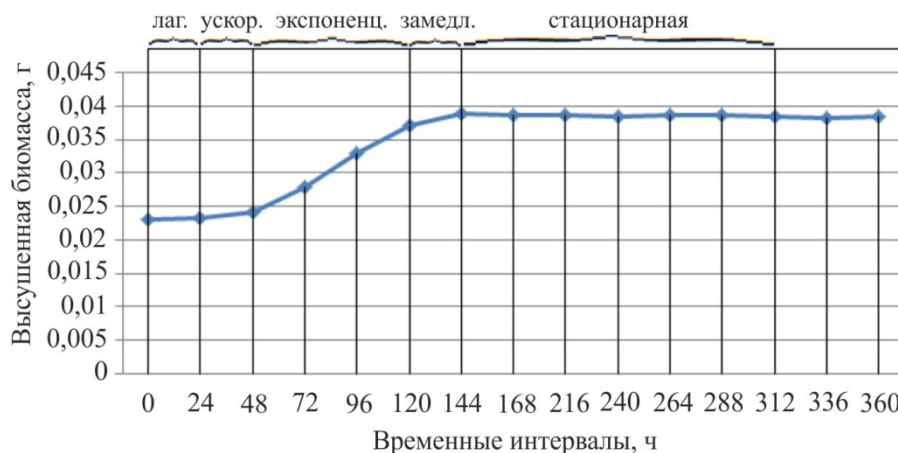


Рис. 2. Кривая роста культуры *Trichoderma harzianum*

С целью предварительной оценки сорбционной способности *Trichoderma harzianum* были проведены испытания в статических условиях на модельном растворе $Hg(NO_3)_2$ с концентрацией 1,146 мг $Hg/дм^3$, приготовленном на 1%-ном растворе хлорида натрия. В емкость с модельным раствором Hg^{2+} вводили 100 мкл культуральной среды М9, содержащей микромицеты в количестве 10^9 КОЕ. Процесс проводили при перемешивании в течение заданного времени при температуре 30 °С, после чего биомассу отделяли центрифугированием полученной суспензии. В верхнем слое жидкости определяли остаточное содержание ионов ртути (II). Биомассу растворяли в концентрированной азотной кислоте при нагревании и определяли содержание ртути в полученном растворе (табл. 1).

Таблица 1

Результаты исследования сорбционной способности биомассы *Trichoderma harzianum*

Время контакта, ч	Остаточное содержание ионов ртути в растворе, мг	Содержание ртути (II) в биомассе, мг	Степень извлечения ртути из раствора, %
24	0,2057	0,8612	75,10
120	0,2062	0,8581	74,88

Полученные данные подтверждают сорбционную активность *Trichoderma harzianum* по отношению к соединениям ртути. Биомасса *T. harzianum* способна очищать модельный раствор от ионов ртути (II) на 74–75 %.

На основании литературных данных о высокой адгезии гифов *Trichoderma* сделано предположение, что способность *Trichoderma harzianum* извлекать ионы ртути можно увеличить путем закрепления биомассы на поверхности твердого носителя.

Наиболее доступными и перспективными носителями для иммобилизации являются пористые углеродные материалы, в частности, активные угли [13, 14]. Активные угли обладают развитой системой макропор, большой удельной поверхностью, хорошими механическими характеристиками, высокой химической и биологической стойкостью, достаточной проницаемостью для субстратов и низкой себестоимостью.

Эти свойства активных углей позволяют использовать их как носитель клеток микроорганизмов при получении эффективного биосорбента для извлечения ионов ртути из водных сред.

В качестве носителя для иммобилизации *Trichoderma harzianum* для исследований были выбраны образцы промышленных АУ марок КАУ и БАУ-МФ, сорбционные характеристики которых по отношению к ионам Hg^{2+} были исследованы нами ранее [15, 16].

Иммобилизация осуществлялась следующим образом. Триходерму в лиофилизированном состоянии добавляли в питательную среду М9 (титр составлял 10^9 КОЕ/г). После достижения стационарной фазы (5 суток) в культуральную среду с микроорганизмами вносили активный уголь КАУ или БАУ-МФ. Процесс иммобилизации проводили при постоянном перемешивании в течение 4 ч при температуре 30 °С. Полученный биосорбент отделяли от жидкости фильтрованием и хранили в питательной среде.

С целью определения динамической емкости полученного биосорбента с иммобилизованными клетками *Trichoderma harzianum* испытания проводили на установке, представляющей собой колонку диаметром 3,5 см (площадь сечения 3 см²) с неподвижным слоем сорбента высотой 7,5 см. Сорбцию вели из модельного 1%-ного раствора NaCl с концентрацией ртути 7,723 мг/дм³. Скорость потока раствора составляла 6–8 см³/мин. За слоем сорбента отбирали пробы для анализа остаточного содержания ртути. Для сравнения аналогичные исследования проводились с образцами исходных АУ. Выходные кривые сорбции ионов Hg^{2+} представлены на рис. 3 и 4.

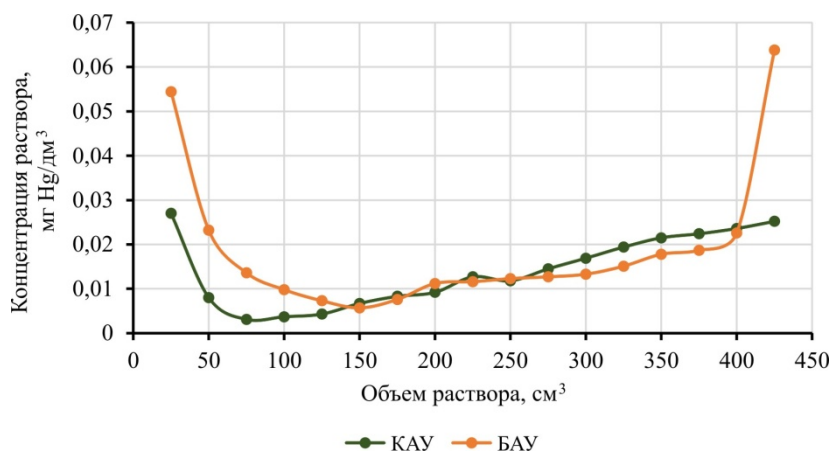


Рис. 3. Выходные кривые сорбции ртути на активных углях КАУ и БАУ

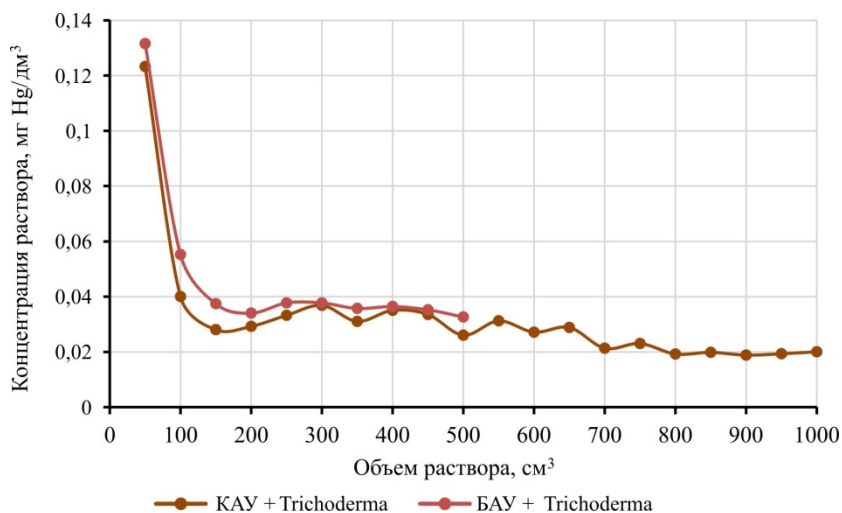


Рис. 4. Выходные кривые сорбции ртути на углях, иммобилизованных *Trichoderma harzianum*

Выходные кривые сорбции свидетельствуют о том, что максимальная емкость поглощения не достигнута. Результаты динамических испытаний приведены в табл. 2.

Динамические испытания показали, что сорбционная способность биосорбентов, полученных иммобилизацией *Trichoderma harzianum* на поверхности активных углей, значительно превышает сорбционную способность индивидуальных АУ. После нанесения *Trichoderma harzianum* на КАУ емкость биосорбента по ртути в расчете на 1 кг возросла в 1,64 раза, после нанесения на БАУ – в 1,93 раза.

Таблица 2

Результаты динамических испытаний

Показатель	Сорбент			
	БАУ	БАУ + <i>Trichoderma</i>	КАУ	КАУ + <i>Trichoderma</i>
Масса поглощенной Hg^{2+} слоем сорбента, мг	1,994	3,386	2,106	3,444
Масса поглощенной Hg^{2+} , мг/кг	132,94	257,06	84,23	137,76
Масса поглощенной Hg^{2+} , мг/дм ³	39,88	77,12	42,12	68,88
Степень извлечения ртути, %	98,8	99,5	99,5	99,7

В результате экспериментов биосорбентом на основе БАУ было очищено более 1 дм³ раствора с концентрацией ртути 7,723 мг/дм³ до уровня содержания ртути за слоем 0,02 мг/дм³. При этом емкость биосорбента достигала 283 мг Hg/кг сорбента. Степень извлечения ртути из раствора составила не менее 99 %.

Десорбцию поглощенной ртути проводили путем обработки насыщенного биосорбента раствором концентрированной азотной кислоты объемом 100 см³. В результате был получен раствор концентрации 67 мг Hg/дм³. Таким образом, использование биосорбента для извлечения ртути из малоконцентрированных сточных вод позволяет при регенерации отработанного биосорбента сконцентрировать ртуть более чем в 10 раз, что дает возможность возврата ртути в технологический процесс.

Биосорбент, полученный иммобилизацией *Trichoderma harzianum* на поверхности активных углей, можно использовать многократно, что позволяет перейти от периодических систем очистки к непрерывным, которые являются более производительными.

Заключение. В результате проведенных исследований изучена поглотительная способность биомассы *Trichoderma harzianum* по отношению к ионам ртути (II). Установлено, что биомасса *T. harzianum* способна очищать модельный раствор от ионов Hg^{2+} на 74–75 %.

Проведена иммобилизация культуры *Trichoderma harzianum* на поверхность активных углей марок КАУ и БАУ. Это позволило добиться значительного увеличения сорбционной способности сорбентов.

Исследованы характеристики полученных биосорбентов в процессе извлечения ионов ртути из модельного 1%-ного раствора NaCl с концентрацией ртути 7,723 мг/дм³ в динамическом режиме.

Установлено, что использование биосорбента на основе биофунгицида позволило в 10 раз сконцентрировать раствор, содержащий ионы Hg^{2+} , а степень извлечения ртути углеродным биосорбентом с иммобилизованными клетками *Trichoderma harzianum* возросла с 74 до 99 %.

Работа выполнена в рамках проекта по лоту шифр № 202005-595-001 по теме «Поддержка и развитие ЦКП „Центр наукоемких химических технологий и физико-химических исследований“ научным оборудованием для обеспечения реализации исследовательских программ и проектов по перспективным научным направлениям Пермского научно-образовательного центра „Рациональное недропользование“» (шифр заявки 2020-05595-0001-009). Уникальный идентификатор проекта RFMEFI62120X0038.

Список литературы

1. Аронбаев С.Д. Биосорбционное концентрирование тяжелых металлов и радионуклидов микроорганизмами и сорбентами на их основе // Молодой ученый. – 2015. – № 24. – С. 31–50.
2. Жизнь растений: энцикл.: в 6 т. – Т. 2. Грибы. – М.: Просвещение, 1976. – 480 с.
3. Kapoor A., Viraraghavan T., Cilliimore D.R. Removal of heavy metals using the fungus *Aspergillus niger* // Bioresour Technol. – 1999. – Vol. 70. – P. 95–104.
4. Filipovic-Kovacevic Z., Sipos Lbriski F. Biosorption of chromium, copper, nickel and zinc ions onto fungal pellets of *Aspergillus niger* 405 from aqueous solutions // Food Technol. Biotechnol. – 2000. – Vol. 38. – P. 211–216.
5. Natarajan K.A., Subramanian S., Modak J.M. Biosorption of heavy metal ions from aqueous and cyanide solutions using fungal biomass. Biohydro-metallurgy and the environment toward the mining of the 21st century // Process Metallurgy Amsterdam: Elsevier Science Publ. – 1999. – Vol. 5. – P. 351–361.
6. Volesky B. Biosorption by fungal biomass // Biosorption of heavy metals. – Florida: CRC press, 1990. – P. 139–71.
7. Aksu Z., Isoglu I.A. Removal of copper (II) ions from aqueous solution by biosorption onto agricultural waste sugar beet pulp // Process Biochem. – 2005. – Vol. 40. – P. 3031–3044.
8. Алимова Ф.К. Промышленное применение грибов рода *Trichoderma*: моногр. / Казан. гос. ун-т им. В.И. Ульянова-Ленина. – Казань, 2006. – 209 с.
9. Donzelli B.G.G., Siebert K.J., Harman G.E. Response surface modeling of factors influencing the production of chitinolytic and β -1,3-glucanolytic enzymes in *Trichoderma atroviride* strain P1 // Enzyme and Microbial Technology. – 2005. – № 37. – P. 82–92.

10. *Hypocrea flaviconidia*, a new species from Costa Rica with yellow conidia / Druzhinina I., Chaverri P., Fallah P., Kubicek C.P., Samuels G.J. // *Studies in Mycology*. – 2004. – Vol. 50. – P. 401–407.

11. Олонцев В.Ф., Безруков Р.А. Российские активные угли. – М.: Изд-во ГУ ВШЭ, 1999. – 90 с.

12. Нетрусов А.И., Егорова М.А., Захарчук Л.М. Практикум по микробиологии. – М.: Академия, 2005. – 608 с.

13. Фарберова Е.А., Тиньгаева Е.А., Кобелева А.Р. Технология получения активных углей и их применение. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. – 147 с.

14. Никовская Г.Н. Адгезионная иммобилизация микроорганизмов в очистке воды // *Химия и технология воды*. – 1989. – Т. 11, № 2. – С. 158–169.

15. Очистка сточных вод от ртути углеродными сорбентами / Е.А. Фарберова, А.В. Трапезникова, Д.С. Шадрин, Е.А. Тиньгаева, А.М. Морева, А.С. Храмухина // *Вестник Пермского исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология*. – 2019. – № 4. – С. 46–61.

16. Фарберова Е.А., Ходяшев Н.Б., Шадрин Д.С. Исследование сорбционных свойств активированных углей БАУ МФ и КАУ при очистке воды от ионов ртути // *Химия. Экология. Урбанистика: материалы Всерос. науч.-практ. конф.* – Пермь, 2020. – С. 206–210.

References

1. Aronbaev S.D. Biosorbiclonnoe koncentrirovanie tyazhelyh metallov i radionuklidov mikroorganizmami i sorbentami na ih osnove. [Biosorption concentration of heavy metals and radionuclides by microorganisms and sorbents based on them]. *Molodoj uchenyj*, 2015, no. 24, pp. 31-50.

2. *ZHizn' rastenij. Enciklopediya: v 6 t. T.2. Griby* [Plant life. Encyclopedia: in 6 vols. T.2 Mushrooms]. Moscow, Prosveshchenie, 1976, 480 p.

3. Kapoor A., Viraraghavan T., Cilliimore D.R. Removal of heavy metals using rhe fungus. *Aspergillus niger. Bioresour Technol*, 1999, vol. 70, pp. 95–104.

4. Filipovic-Kovacevic Z., Sipos Lbriski F. Biosorption of chromium, copper, nickel and zinc ions onto fungal pellets of *Aspergillus niger* 405 from aqueous solutions. *Food Technol. Biotechnol*, 2000, vol.38, pp. 211–216.

5. Natarajan K.A., Subramanian S., Modak J.M. Biosorption of heavy metal ions from aqueous and cyanide solutions using fungal biomass. *Biohydrometallurgy and the environment toward the mining of the 21st century. Process Metallurgy Amsterdam: Elsevier Science Publ.*, 1999, vol.5, pp. 351–361.

6. Volesky B. Biosorption by fungal biomass. *Biosorption of heavy metals*. Florida: CRC press., 1990, pp. 139–71.

7. Aksu Z., Isoglu I.A. Removal of copper (II) ions from aqueous solution by biosorption onto agricultural waste sugar beet pulp. *Process Biochem.*, 2005, vol.40, pp.3031–3044.

8. Alimova F.K. Promyshlennoe primeneniye gribov roda *Trichoderma*: monogr.[Industrial use of fungi of the genus *Trichoderma*]. Kazan': Kazanskij gosudarstvennyj universitet im. V.I.Ul'yanova-Lenina, 2006, 209 p.

9. Donzelli B.G.G., Siebert K.J., Harman G.E. Response surface modeling of factors influencing the production of chitinolytic and β -1,3-glucanolytic enzymes in *Trichoderma atroviride* strain P1. *Enzyme and Microbial Technology*, 2005, no. 37, pp. 82–92.

10. Druzhinina I., Chaverri P., Fallah P., Kubicek C.P., Samuels G.J. *Hypocrea flaviconidia*, a new species from Costa Rica with yellow conidia. *Studies in Mycology*, 2004, vol. 50, pp. 401-407.

11. Oloncev V.F., Bezrukov R.A. Rossijskie aktivnye ugli. [Russian active carbons] Moscow, GU VSHE, 1999, 90 p.

12. Netrusov A.I., Egorova M.A., Zaharchuk L.M. Praktikum po mikrobiologii [Workshop on biotechnology]. Moscow, Akademiya, 2005, 608 p.

13. Farberova E.A., Tin'gaeva E.A. Kobeleva A.R. Tekhnologiya polucheniya aktivnyh uglej i ih primeneniye. [Technology of receiving active carbons and their application] Perm', PNIPU, 2018, 147 p.

14. Nikovskaya G.N. Adgezionnaya immobilizaciya mikroorganizmov v ochistke vody [Adhesion immobilization of microorganisms in water treatment]. *KHimiya i tekhnologiya vody*, 1989, vol. 11, no. 2, pp.158-169.

15. Farberova E.A., Trapeznikova A.V., SHadrin D.S., Tin'gaeva E.A., Moreva A.M., KHramuhina A.S. Ochistka stochnyh vod ot rtuti uglerodnymi sorbentami. *Vestnik PNIPU. Himicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya*, 2019, no. 4, pp.46-61.

16. Farberova E.A., KHodyashev N.B., SHadrin D.S. Issledovanie sorbcionnyh svojstv aktivirovannyh uglej BAU MF i KAU pri ochistke vody ot ionov rtuti [Investigation of sorption properties of activated carbons BAU-MF and KAU during purification of water from mercury ions]. *KHimiya. Ekologiya. Urbanistika: materialy Vseross. nauchno-prakt. konfl.* Perm', 2020, pp. 206-210.

Получено 01.08.2020

Об авторах

Фарберова Елена Абрамовна (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и биотехнологии Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: elenafarb@gmail.com).

Шадрин Дмитрий Сергеевич (Пермь, Россия) – магистрант кафедры химии и биотехнологии Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: sir.shadrindmitri@yandex.ru).

Ходяшев Николай Борисович – доктор технических наук, заведующий кафедрой химии и биотехнологии Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: vvv@pstu.ru).

Тиньгаева Елена Александровна (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и биотехнологии Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: teengaeva@mail.ru).

About the authors

Elena A. Farberova (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor of Department Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: elenafarb@gmail.com).

Dmitry S. Shadrin (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student of Department Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: sir.shadrindmitri@yandex.ru).

Nikolai B. Khodyashev (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: vvv@pstu.ru).

Elena A. Tingaeva (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor of Department Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: teengaeva@mail).