

DOI: 10.15593/2224-9400/2019.3.03

УДК: 541.183

Л.С. Пан, О.И. Бахирева, Е.А. ЦыпкинаПермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия**ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ СОРБЕНТАМИ
НА ОСНОВЕ ЙОДА**

Синтезированы йодсодержащие сорбенты на основе алюмогеля, полиэтилена, полиакриламида и поливинилового спирта. Полученные сферические сорбенты на основе алюмогеля имели высокую емкость по йоду, но их ресурс работы оказался недостаточным. Сорбенты на основе полиэтилена имели низкую сорбционную емкость по йоду, а сорбенты на основе полиакриламида частично растворялись в процессе эксплуатации. Сорбенты на основе поливинилового спирта получали различными способами и имели разные характеристики. Наибольший ресурс работы показал сорбент, осажденный в щелочной среде, а максимальную емкость по йоду – сорбент, осажденный в ацетоне. Испытания, проведенные в бактериологической лаборатории в Центре санитарно-эпидемиологического надзора Кировского района г. Перми, показали, что полученные сорбенты на основе поливинилового спирта могут быть использованы для обеззараживания питьевой воды в динамическом режиме на стадии доочистки.

Ключевые слова: йодсодержащие сорбенты, обеззараживание воды, алюмогель, полиакриламид, поливиниловый спирт.

L.S. Pan, O.I. Bakhireva, E.A. Tsyapkina

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**DISINFECTION OF WATER BY SORBENTS
ON THE BASIS OF IODINE**

Iodo-cream sorbents synthesized on the basis of alumogel, polyethylene, polyacrylamide and polyvinyl alcohol. The obtained spherical sorbents based on alumogel had a high iodine capacity, but their resource of work was not enough. Sorbents on the basis of polyethylene had a low sorption capacity for iodine, and sorbents on the basis polyacrylamide dissolved during operation partially. Sorbents on the basis of polyvinyl alcohol received in various ways and had different specifications. Besieged in alkaline environment sorbent showed the greatest resource of work, and sorbent precipitated in acetone showed the maximum iodine capacity. Tests conducted in a bacteriological laboratory at the Center for Sanitary and Epidemiological Supervision of the Kirov District in Perm showed that sorbents obtained on the basis of polyvinyl alcohol can be used to disinfect drinking water in a dynamic mode at the post-treatment stage.

Keywords: Iodine-containing sorbents, water disinfection, alumogel, polyacrylamide, polyvinyl alcohol.

Оценка качества воды питьевого назначения и совершенствование методов ее очистки являются актуальными задачами прикладной экологии, решаемыми на государственном уровне [1]. В настоящее время в качестве сорбентов для очистки воды традиционно используют активированные угли (КАУ, БАУ и др.), а также цеолиты, силикагели, алюмосиликаты, шунгит, гидроантрациты, смектиты, среди которых значительное место уделяется монтмориллониту и др. [2–5]. Однако они не позволяют осуществлять одновременное обеззараживание. В этой связи поиск новых сорбционных материалов и соединений нового поколения [6, 7], обладающих дезинфицирующими свойствами, и разработка на их основе комбинированных фильтрующих загрузок, обеспечивающих не только удаление химических веществ, но и обеззараживание, является актуальным и востребованным [8, 9].

Для дезинфекции наиболее часто применяют серебро, как отдельно, так и в составе различных соединений или комплексов [10–12]. Галогенсодержащие препараты подразделяются на две большие подгруппы – хлорсодержащие [13] и йодсодержащие [14]. Все хлорсодержащие препараты хорошо растворимы в воде, действуют на большинство микроорганизмов, но вызывают коррозию металлов, раздражают дыхательные пути и слизистые глаз, имеют стойкий запах, быстро теряют свою активность в процессе хранения, при длительном их использовании возможно появление резистентности микроорганизмов – мишеней, но самое главное – они способны образовывать высокотоксичные соединения [15, 16]. Из числа известных дезинфицирующих агентов, которые могут использоваться для обеззараживания питьевой воды, йод является наиболее приемлемым. Он имеет ряд преимуществ перед другими веществами, являющихся существенными в вопросе дезинфекции воды для питьевых целей. Прежде всего то, что он является биогенным компонентом и его недостаток приводит к нарушению функции щитовидной железы и образованию эндемического зоба. Известно, что более 10 % населения живет при эндемическом недостатке йода, и это в основном те регионы, которые расположены внутри континента. К таким регионам относится и Пермский край.

В данной работе экспериментально установлена на культурах штамма *E.Coli* минимальная концентрация йода, необходимая для полной дезинфекции питьевой воды. Для этого была выращена суточная культура музейного штамма *E.Coli* Атсс 25922 на среде агар-агар в течение 18–20 ч при температуре 27 °С. На чашку с питательной средой

равномерно наносили 0,1 мл смеси (концентрация клеток на единице поверхности составляла $1,6 \cdot 10^4$ кл/мм²). Кусочек поролона размером $1 \times 1 \times 0,5$ см пропитывали 1 мл раствора йода в спирте разных концентраций. По зоне лизиса определяли необходимую для дезинфекции концентрацию йода. Полная дезинфекция наблюдалась при концентрации йода 4 мг/л.

Вещества, используемые в качестве основы для сорбентов, должны обладать следующими свойствами: они не должны быть токсичными или выделять токсичные вещества, устойчивыми в слабокислой или слабощелочной среде, инертны к действию йода. Нами были синтезированы йодсодержащие сорбенты на основе алюмогеля с органическими добавками и модифицированные ионами меди, сорбенты на основе полиакриламида, поливинилового спирта и полиэтилена.

Для получения алюмогеля в раствор нитрата алюминия, нагретый до 80–90 °С, при интенсивном перемешивании добавили аммиак до образования осадка. Одну часть осадка высушили при $t = 20$ °С, другую заморозили при $t = -5$ °С в течение суток. Полученный обоими способами псевдобемит размалывался с добавлением соляной кислоты до образования гелеобразной массы белого цвета. Каждый из таких золей был разделен еще на две части, к первой из которых был добавлен крахмал в соотношении 1:10, ко второй – в соотношении 1:2. К образцам алюмогеля, высушенным при комнатной температуре, добавлялся полиакриламид в количестве 1 г. Полученные смеси гелировались, при добавлении золя в концентрированный аммиак. Выделившийся при этом хлорид аммония и аммиак образуют буферный раствор, рН которого 5–6. Готовые гранулы прокаливались при температуре 300 и 150 °С в течение 3 ч. Полученные гранулы насыщались йодом в газовой фазе. В эксперименте использовались гранулы с диаметром ячеек 0,5–1,0 мм. Емкость по йоду и объем обеззараженной воды определяли по десорбции йода в динамических условиях (табл. 1).

Сорбенты на основе алюмогеля обладают высокой сорбционной емкостью по йоду, но ресурс работы этих сорбентов недостаточно высок для того, чтобы использовать их в бытовых условиях в стационарных установках по обеззараживанию питьевой воды.

Необходимо, чтобы материал, используемый в качестве основы для сорбента, имел бы более подвижную матрицу. С учетом этого условия нами были выбраны в качестве основы для такого сорбента органические полимеры. Полиакриламид является веществом хорошо

растворимым в воде. Чтобы перевести его в нерастворимое состояние, нами был использован реактив Фэнтонна. Осажденные образцы высушивались при различных температурах и насыщались йодом как из газовой фазы, так и из насыщенного раствора йода в спирте. Полученные таким образом образцы сорбентов имели низкую емкость и, кроме того, частично растворялись в воде.

Таблица 1

Основные параметры получения и результаты изучения сорбционных свойств образцов сорбентов на основе алюмогеля

Номер образца	Температура гранулирования, °С	Добавленное вещество	Температура прокалки, °С	Емкость по йоду, мг/г	Объем пропущенной воды, мл
1	20	Крахмал (1:2)	150	55,24	800
2	20	Крахмал (1:10)	150	34,29	600
3	20	Крахмал (1:2)	300	69,20	800
4	20	Крахмал (1:10)	300	55,24	900
5	20	Полиакриламид	150	20,00	700
6	20	Полиакриламид	300	26,99	700
7	-5	Крахмал (1:2)	150	97,16	300
8	-5	Крахмал (1:10)	150	115,89	700
9	-5	Крахмал (1:2)	300	52,71	1300
10	-5	Крахмал (1:10)	300	27,52	500

Сорбенты на основе полиэтилена были получены из гранул и пленки полимера, насыщенными йодом из газовой фазы. Время работы сорбентов для пленки составляет 405 мин, для гранул – 880 мин. Объем пропущенной воды – 1300 мл для пленки и 1900 мл для гранулярного полиэтилена. Суммарная емкость по йоду – 26,04 мг/г сорбента для гранулярного, 74,93 мг/г – для пленки. Эффективная поверхность образцов в виде гранул больше, чем для аналогичных образцов в виде пленки. Этим можно объяснить время работы сорбентов и их ресурс работы. Из образцов на основе полиэтилена йод вымывался относительно равномерно и концентрация его во времени оставалась практически постоянной, но эти образцы имели низкую сорбционную емкость по йоду и весь поглощенный в процессе насыщения йод не вымывался из состава сорбента, так как при насыщении йодом при нагревании полиэтиленовая основа набухала, а при охлаждении каркас

вернулся в исходное состояние и оставшийся внутри гранул йод не вымывался впоследствии даже при нагревании.

Полимер, на основе которого была получена следующая серия йодсодержащих образцов, был поливиниловый спирт (ПВС), который является нетоксичным веществом, широко применяемым в различных отраслях промышленности. С 1960-х гг. в медицинской и фармакологической практике используется препарат йодиол, который представляет собой раствор поливинилового спирта с йодом и йодидом калия. Этот препарат обладает сильными обеззараживающими свойствами по отношению к основной патогенной флоре. Молекула йода при включении в этот полимер поляризуется, это и становится причиной синего окрашивания вещества и его сильнейшего антибактериального эффекта. Механизм включения йода в комплекс с поливиниловым спиртом до конца остается невыясненным. Из литературных данных известно [17], что кристаллическая решетка поливинилового спирта при сорбции йода изменяется. Молекулы йода вторгаются в кристаллическую структуру и при этом цепь водородно-связанной пары поливинилового спирта замещается цепью полийодидов. Исследования показывают, что линейные цепи полийодидов состоят из I_3^- и I_5^- ионов. Для твердого поливинилового спирта комплекс содержит преимущественно трийодид-ионы. ПВС – полимер, растворимый в воде, поэтому в процессе синтеза он осаждался нами различными осадителями и при разных условиях. Образцы были получены следующими способами:

- порошкообразный поливиниловый спирт нагревали до температуры 70 °С в насыщенном растворе йода в этиловом спирте;
- порошкообразный поливиниловый спирт помещали в насыщенный раствор йода в этиловом спирте при рН 9;
- растворенный в воде поливиниловый спирт осаждали сульфатом аммония, ацетоном или этиловым спиртом, затем высушенные образцы насыщали йодом из газовой фазы и из насыщенного раствора йода в ацетоне. Условия получения, относительный удельный объем полученных образцов (определяли по адсорбции метиленовой сини) и сорбционные характеристики полученных сорбентов приведены в табл. 2.

Способ осаждения влияет на характеристики сорбентов. Максимальную емкость по йоду имеют образцы, осажденные ацетоном, наибольшее время работы и максимальный объем воды был пропущен через сорбент, полученный при рН 9. При осаждении в щелочной среде

сорбент имеет большое количество переходных пор и маленький удельный объем, чем объясняется его невысокая емкость по йоду и большой объем обеззараженной воды. В случае осаждения в ацетоне сорбенты имеют крупные поры и высокий удельный объем, что приводит к большой емкости по йоду, но к низкому ресурсу работы.

Таблица 2

Основные характеристики сорбентов на основе поливинилового спирта

Способ осаждения	Удельный объем, см ³ /г	Объем очищенной воды, пропущенной через 1 г сорбента, л	Емкость по йоду, мг/г сорбента
рН 9	1,2	4,2	68,07
Сульфат аммония	3,3	3,5	72,04
Ацетон	3,2	2,8	151,76
Этиловый спирт	3,0	1,7	83,19

Для изучения механизма десорбции йода на примере сорбента, полученного на основе поливинилового спирта, осажденного из раствора сульфатом аммония и насыщенного из газовой фазы, были получены зависимости степени десорбции (α) от температуры (T), размера гранул и от скорости перемешивания (рис. 1–3).

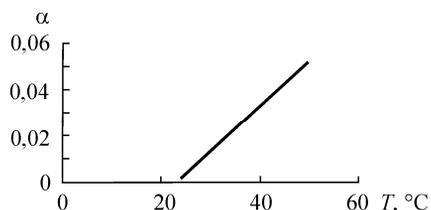


Рис. 1. Зависимость степени десорбции йода от температуры

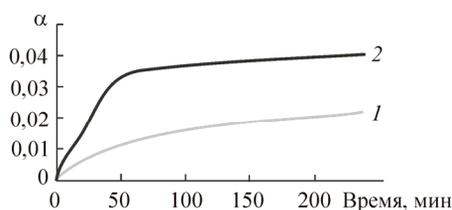


Рис. 2. Зависимость степени десорбции йода от времени. Размер гранул: 1 – 1×1 мм, 2 – 5×5 мм

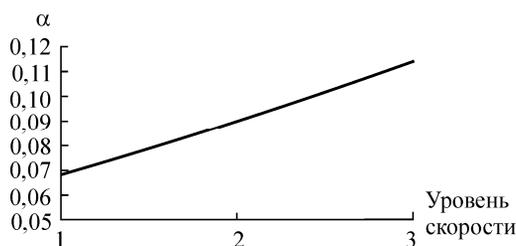


Рис. 3. Зависимость степени десорбции йода из сорбента от скорости перемешивания раствора

На основании полученных данных была рассчитана энергия активации процесса десорбции йода из состава данного сорбента. Она составила 108,1 кДж/моль.

Полученные зависимости свидетельствуют о внешне диффузионном механизме десорбции йода.

Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о том, что сорбенты на основе ПВС могут быть использованы для обеззараживания воды. Благодаря подвижной матрице сорбента и расширению ее каркаса при нагревании йод при сорбции легко проникает и в переходные микропоры полученного сорбента. В результате такого объемного поглощения йод достаточно долго десорбируется из состава сорбента, обеспечивая необходимую для дезинфекции воды концентрацию йода (4–8 мг/л).

Предварительные испытания сорбентов на основе поливинилового спирта на их биологическую активность, которые были проведены в бактериологической лаборатории в Центре санитарно-эпидемиологического надзора Кировского района г. Перми, показали эффективность их использования для обеззараживания воды в динамическом режиме. Рекомендуется использовать их в качестве наполнителей для бытовых фильтров в сочетании с активированным углем, для удаления избытка остаточного йода.

Список литературы

1. Онищенко Г.Г. Проблемы качества питьевой воды в Российской Федерации и пути их решения // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 12. – С. 5–8.
2. Зорина Е.И. Применение активированного угля в водоподготовке // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2013. – № 61(109). – С. 52–55.
3. Кутергин А.С., Кутергина И.Н. Природные алюмосиликаты для очистки воды от радионуклидов техногенного происхождения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2014. – № 3(75). – С. 12–14.
4. Щербакова Е.В. Гидролизированные природные алюмосиликаты – эффективные сорбенты для очистки загрязненных вод // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7: Геология. География. – 2007. – № 1. – С. 93–97.
5. Везенцев А.И., Трубицын М.А., Кормош Е.В. Монтмориллонитовые глины как потенциальный сорбент патогенных веществ и микроорганизмов // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2012. – Т. 12, вып. 6. – С. 998–1004.

6. Обеззараживание воды нанокompозитами на основе пористого оксида алюминия и соединений серебра / Е.В. Золотухина, Б.А. Спиридонов, В.И. Федянин, Е.В. Гриднева // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2010. – Т. 10, вып. 1. – С. 78–85.

7. Water disinfection with ozone, copper and silver ions, and temperature increase to control "Legionella": seven years of experience in a university teaching hospital / D.S. Blanc, P. Carrara, G. Zanetti, P. Francioli // J. Hospital Infection. – 2005. – Vol. 60, no. 1. – P. 69–72.

8. Благоднравова А.С. Проблемные вопросы дезинфекции на современном этапе // Инфекция и иммунитет: материалы X съезда ВНПОЭМП. – М., 2012. – С. 215.

9. Static Electricity Powered Copper Oxide Nanowire Microbicidal Electroporation for Water Disinfection / L. Chong [et al.] // Nano Letters. – 2014. – № 14(10). – P. 5603–5608.

10. Optimizing the design and synthesis of supported silver nanoparticles for low cost water disinfection / Di He [et al.] // Environ. Sci. Technol. – 2014. – № 48(20). – P. 12320–12326.

11. Silver nanoparticle–alginate composite beads for point–of–use drinking water disinfection / S. Lin [et al.] // Water Research. – 2013. – Vol. 47, no. 12. – P. 3959–3965.

12. Синтез и бактерицидные свойства ультрадисперсного порошка меди / С.Ю. Доронин, Р.К. Чернова, В.В. Алипов, Г.М. Белолищева, М.С. Лебедев, О.Г. Шаповал // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер. Химия. Биология. Экология. – 2011. – Т. 11, вып. 1. – С. 18–22.

13. Dychdala G.R. Chlorine and Chlorine Compounds // Disinfection, sterilization and preservation. – New York: Lippincott Williams&Wilkins, 2001. – P. 135–159.

14. Gottardi W. Iodine and Iodine Compounds // Disinfection, sterilization and Preservation. – Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2001. – Chapter 8. – P. 159–185.

15. Кирсанов В.В. Санитарно-гигиеническая характеристика возможного влияния на здоровье населения побочных продуктов хлорирования сточной и питьевой воды // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 4. – С. 93–96.

16. Макотрина Л.В., Зверькова А.С. Влияние обеззараживания питьевой воды хлором на здоровье человека // Изв. вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2011. – № 1(1). – С. 87–95.

17. Ушаков С.Н., Мохнач В.О. О соединениях йода с поливиниловым спиртом и его сополимерами и бактерицидных и лечебных свойствах этих соединений // Докл. АН СССР. – 1959. – Е128. – № 6. – С. 1317–1320.

References

1. Onishchenko G.G. Problemy kachestva pit'yevoy vody v Rossiyskoy Federatsii i puti ikh resheniya [Problems of drinking water quality in the Russian Federation and ways to solve them]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2010, no. 12, pp. 5–8.
2. Zorina E.I. Primenenie aktivirovannogo uglya v vodopodgotovke [The use of activated carbon in water treatment]. *Vodoochiska. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*, 2013, 109, vol. 1, no. 61. pp. 52–55.
3. Kutergin A.S., Kutergina I.N. Prirodnye alyumosilikaty dlya ochistki vody ot radionuklidov tekhnogenogo proiskhozhdeniya [Natural aluminosilicates for water purification from technogenic radionuclides]. *Vodoochiska. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*, 2014, no. 3(75), pp. 12–14.
4. Shcherbakova E.V. Gidrolizovannyye prirodnye alyumosilikaty - effektivnyye sorbenty dlya ochistki zagryaznennykh vod [Hydrolyzed natural aluminosilicates are effective sorbents for the treatment of contaminated waters]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta, Series 7: Geologiya. Geografiya*, 2007, no. 1, pp. 93–97.
5. Vezentsev A.I., Trubitsyn M.A., Kormosh E.V. Montmorillonitovyye gliny kak potentsial'nyy sorbent patogennykh veshchestv i mikroorganizmov [Montmorillonite clay as a potential sorbent of pathogenic substances and microorganisms]. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskie protsessy*, 2012, vol. 12, iss. 6, pp. 998–1004.
6. Zolotkikhina E.V., Spiridonov B.A., Fedyanin V.I., Gridneva E.V. Obezrazhivanie vody nanokompozitami na osnove poristogo oksida alyuminiya i soedineniy serebra [Disinfection of water with nanocomposites based on porous alumina and silver compounds]. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskie protsessy*, 2010, vol. 10, iss. 1, pp. 78–85.
7. Blanc D.S., Carrara P., Zanetti G., Francioli P. Water disinfection with ozone, copper and silver ions, and temperature increase to control "Legionella": seven years of experience in a university teaching hospital. *J. Hospital Infection*, 2005, vol. 60, no. 1, pp. 69–72.
8. Blagonravova A.S. Problemnyye voprosy dezinfektsii na sovremennom etape [Problematic issues of disinfection at the present stage]. *Infektsiya i immunitet: materialy X s'ezda. VNOPOEMP. Moskva*, 2012, p. 215.
9. Chong L., Xing X., Wenting Z., Jie Y., Desheng K., Alexandria B. B., Yi C. Static Electricity Powered Copper Oxide Nanowire Microbicidal Electroporation for Water Disinfection. *Nano Letters*, 2014, no. 14(10), pp. 5603–5608.
10. Di He, Kacopieros M., Ikeda-Ohno A., Waite D. Optimizing the design and synthesis of supported silver nanoparticles for low cost water disinfection. *Environ. Sci. Technol.* 2014, no. 48(20), pp. 12320–12326.
11. Lin S., Huang R., Cheng Y., Liu J., Lau B.L.T., Wiesner M.R. Silver nanoparticle-alginate composite beads for point-of-use drinking water disinfection. *Water Research*, 2013, vol. 47, no. 12, pp. 3959–3965.
12. Doronin S.Yu., Chernova R.K., Alipov V.V., Beloliptseva G.M., Lebedev M.S., Shapoval O.G. Sintez i bakteritsidnyye svoystva ul'tradispersnogo poroshka medi [Synthesis and bactericidal properties of ultrafine copper powder]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Ser. Khimiya. Biologiya. Ekologiya*, 2011, vol. 11, iss. 1, pp. 18–22.
13. Dychdala G.R. Chlorine and Chlorine Compounds. *Disinfection, sterilization and preservation*. New-York: Lippincott Williams&Wilkins. 2001, pp. 135–159.

14. Gottardi, W. Iodine and Iodine Compounds. *Disinfection, sterilization and preservation*. Block S.S. (Ed.). Lippincott Williams&Wilkins. 2001, Chapter 8, pp. 135–159.

15. Kirsanov V.V. Sanitarno-gigienicheskaya kharakteristika vozmozhnogo vliyaniya na zdorov'ye naseleniya pobochnykh produktov khlorirovaniya sutochnoy i pit'yevoy vody [Sanitary and hygienic characteristics of the possible impact on the health of the population of by-products of chlorination of wastewater and drinking water]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2012, vol. 15, no. 4, pp. 93–96.

16. Makotrina L.V., Zver'kova A.S. Vliyanie obezzarazhivaniya pit'yevoy vody khlorom na zdorov'ye cheloveka [The effect of chlorine disinfecting drinking water on human health]. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*, 2011, no. 1(1), pp. 87–95.

17. Ushakov S.N., Mokhnach V.O. O soedineniya ioda s polivinilovym spirtom i ego sopolimerami i bakteritsidnye i lechebnykh svoystvakh etikh soedineniy [About compounds of iodine with polyvinyl alcohol and its copolymers and bactericidal and therapeutic properties of these compounds]. *Doklady Ak. Nauk SSSR*, 1959, E128, no. 6, pp. 1317–1320.

Получено 09.09.2019

Об авторах

Пан Лариса Сергеевна (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и биотехнологии Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: vvv@pstu.ru).

Бахирева Ольга Ивановна (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и биотехнологии Пермского национально-исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: vvv@pstu.ru).

Цыпкина Екатерина Алексеевна (Пермь, Россия) – студентка группы БТ-17-16 Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: Cypkinakatya@mail.ru).

About the authors

Larisa S. Pan (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry and biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: vvv@pstu.ru).

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

Ekaterina A. Tsyapkina (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: Cypkinakatya@mail.ru).