

УДК 628.112.24+631.427

М. В. Рымовская, В. И. Романовский

Белорусский государственный технологический университет

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ОТРАБОТАННЫХ РАСТВОРОВ ДЕЗИНФЕКЦИИ
СООРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ПОЧВУ**

Использование активного хлора в составе хлорной извести, гипохлоритов кальция и натрия при дезинфекции сооружений водоснабжения связано с необходимостью утилизации отработанных растворов, любой вариант которой приводит к попаданию их в окружающую среду.

Изучено воздействие растворов для дезинфекции сооружений водоснабжения с использованием активного хлора и озона на почву по показателям актуальной и потенциальной дегидрогеназной и каталазной активностей, а также по биомассе растений. Показано изменение компонентного состава почвы и снижение дыхательной активности ее микробиоты при использовании хлорной извести и гипохлорита натрия для дезинфекции сооружений водоснабжения, тогда как остаточный озон приводит к активизации процессов окисления органических веществ при менее значительной трансформации органических веществ в почве.

Почва, систематически загрязнявшаяся отработанными растворами с активным хлором, подлежит ремедиации, предпочтительно использование активных почвенных бактерий либо специализированных штаммов, способных к деградации хлорорганических веществ.

Использование озона для дезинфекции сооружений питьевого водоснабжения позволит снизить экологическую нагрузку на почву прилегающих территорий.

Ключевые слова: дезинфекция, сооружение водоснабжения, активный хлор, озон, почва, дегидрогеназная активность, каталазная активность, биоремедиация.

M. V. Rymovskaia, V. I. Ramanouski

Belarusian State Technological University

**EFFECT OF USED SOLUTIONS FOR DRINKING WATER
SUPPLY FACILITIES DISINFECTION TO SOIL**

Use of a composition of active chlorine bleach, calcium and sodium hypochlorite for disinfection of water supply facilities connected with disposal of waste solutions, any variant causes their transfer into the environment.

The effect of solution for disinfection of drinking water supply facilities using active chlorine and ozone to the ground has been studied in terms of actual and potential dehydrogenase and catalase activity, and biomass plants. The change of the component composition of the soil and the reduction of the respiratory activity of its microbiota using bleach and sodium hypochlorite for disinfection of water supply facilities is studied, while the residual ozone leads to the activation of organic compounds oxidation processes and to less significant transformation of organic matter in the soil.

Systematically polluted by waste solution with active chlorine soils must be subjected to remediation, preferably by active soil bacteria or specialized bacterial strains, which are capable to degradation of organochlorine substances.

The use of ozone for the disinfection of drinking water supply facilities will reduce the environmental burden to surrounding area soils.

Key words: disinfection, water treatment facility, active chlorine, ozone, soil, dehydrogenase activity, catalase activity, bioremediation

Введение. Подземные воды являются основным источником водоснабжения в Республике Беларусь. В республике имеется около 32 тыс. скважин, большинство которых находятся в неудовлетворительном состоянии и более трети не работает [1]. По данным, представленным в [2], из 44 816 источников нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения (как правило, шахтные колодцы), на начало 2012 г. находящихся на учете госнадзора, 8,1% не отвечают санитарным требованиям

по обустройству, а 26,0% проб воды из них не соответствуют санитарным нормам по санитарно-химическому составу; 10,3% проб – по микробиологическим показателям.

Главной, а часто и единственной причиной ухудшения качества подземных вод является санитарно-техническое состояние самих водозаборов и прилегающих к ним территорий, обусловленное внесением органических и минеральных удобрений в возделываемые пашни, отсутствием необходимого благоустройства

прилегающей территории, близким расположением выгребов и сараев для скота, свалок всякого рода отходов и мусора.

Действующим СНиП «Санитарно-эпидемиологические требования к системам централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» [3] предусматривается дезинфекция внутренней поверхности сооружений водоснабжения путем обработки растворами хлорсодержащих реагентов с концентрацией активного хлора 50–100 мг/л в течение 6–24 ч. При этом возникает необходимость утилизации отработанных растворов реагентов активного хлора. Однако СНиП [3] четких указаний по этому вопросу не дает, рекомендуя сброс хлорной и промывной воды в соответствии с проектом водоснабжения объекта. Такой сброс может осуществляться в ливневую и бытовую канализационные сети, что приведет к попаданию таких вод в водоемы либо к нарушению работы биологических очистных сооружений населенного пункта соответственно. Откачивание таких вод на прилегающую территорию приводит к взаимодействию активного хлора с органическими компонентами почвы, в результате образуются хлорированные органические вещества различного строения, определяемого компонентным составом почвы, которые загрязняют поверхностные и грунтовые воды.

Наряду с хлорсодержащими дезинфицирующими средствами широкое распространение в процессах водоподготовки в последние годы за рубежом получил озон [4]. При дезинфекции сооружений озоновооздушной смесью остаточная концентрация озона в воде быстро уменьшается и при выдерживании в течение часа после обработки составляет менее 0,005 мг/л, что позволяет предположить значительно меньшее воздействие таких вод на окружающую среду. При оценке жизненного цикла процесса дезинфекции сооружений водоснабжения хлорсодержащими реагентами и озоном на основании данных инвентаризационного анализа проводилась оценка значимости потенциальных воздействий исследуемой системы на окружающую среду [5]. Результаты воздействия на окружающую среду и человека (канцерогенные эффекты, респираторные эффекты, истощение озонового слоя, экотоксичность для водных и земельных ресурсов и др.) с учетом оценки значимости каждой категории воздействия для объединения значений категорий в единый экоиндикатор показали, что наименьшее значение экоиндикатора соответствует варианту применения раствора озона в воде. Кроме того, из вариантов применения хлорсодержащих веществ наилучшей характеристикой обладает гипохлорит натрия [6].

По результатам расчета технико-экономических показателей без учета фактора времени технология дезинфекции с использованием озона является более экономически эффективной, чем при использовании хлорсодержащих дезинфицирующих растворов; с учетом фактора времени – является сопоставимой по совокупности затрат. При этом наибольшую долю текущих затрат при использовании хлорсодержащих реагентов составляют затраты на сырье и материалы, а при использовании озона – амортизационные отчисления [6].

Целью работы являлось изучение воздействия растворов для дезинфекции сооружений водоснабжения с использованием активного хлора и озона на почву.

Задачи исследования: изучение воздействия растворов для дезинфекции сооружений водоснабжения на почву; моделирование разных способов биоремедиации; изучение восстановления характеристик почвы; предложение технологии ремедиации почвы.

Объектом исследования являлась типичная для Республики Беларусь дерново-подзолистая слабоозоленая супесчаная почва на рыхлой супеси, обработанная растворами для дезинфекции сооружений водоснабжения.

Материалы, реактивы, оборудование. Процесс загрязнения почвы моделировался путем обработки ее растворами хлорной извести и гипохлорита натрия с исходной дозой активного хлора 100 мг/л, а также озонированной водой с начальной концентрацией озона 2 мг/л в количестве 10 мл на 40 г абсолютно сухой почвы. Выбор концентраций обусловлен рекомендуемыми для обработки сооружений водоснабжения дозами реагентов. Контролем служила почва, обработанная тем же объемом отстоянной водопроводной воды. Влияние такой обработки на биохимические процессы в почве оценивалось по показателям актуальной и потенциальной дегидрогеназной, а также каталазной активности по [7].

Количество хлорорганических веществ в почве оценивали путем хроматографического анализа гексанового экстракта почвы по [8] с детектором по ионизации в пламени.

Влияние обработки почвы на рост растений оценивался с использованием семян редьки масличной *Raphanussativus var. oleiferus* (фермерское хозяйство «Новоберезовское», д. Березовка, Минская обл., Беларусь), определялись усредненные сухая и влажная массы растений на 20-е сутки.

Для моделирования процесса биоремедиации обработанной почвы использовали три способа: внесение органоминерального удобрения для активизации собственной микрофлоры

почвы, внесение почвенных микроорганизмов в составе коммерческого препарата для увеличения концентрации бактерий, способных к активной минерализации органических компонентов почвы, а также выращивание растений, улучшающих структуру почвы и содержание органических и минеральных веществ после заделывания их в почву. В качестве органоминерального удобрения использовался оксидат торфа «Газон» (ЗАО «Юнатэкс», г. Минск, Беларусь) в рекомендуемой производителем дозе внесения – 1 мл/кг. В качестве источника микроорганизмов использовался коммерческий препарат «Биониксэкокомпост» («BIONETIX», г. Квебек, Канада) в дозировке производителя – 0,5 г/кг. В качестве растения, положительно влияющего на структуру и состав почвы, использовалась редька масличная *Raphanussativus var. oleiferus*, количество семян на 40 г почвы составило 20 штук. Контролем являлась обработанная почва без внесения факторов ремедиации. Длительность эксперимента составила 20 суток, в течение этого периода производился полив почвы отстоянной водопроводной водой до полной влагоемкости каждые двое суток.

Для проведения исследований использовался экспериментальный озонатор фирмы ООО «РовалантСпецСервис» [9] с выходной концентрацией озона в газовой смеси 2,6 г/м³.

Результаты работы и их обсуждение. Результаты исследования воздействия растворов, содержащих активные окислители, для дезинфекции сооружений водоснабжения представлены в табл. 1.

Таблица 1
Абсолютные значения ферментативных активностей почвы после двукратной обработки растворами для дезинфекции сооружений водоснабжения

Действующее вещество при обработке пробы	Каталазная активность, мл О ₂ /мин	Дегидрогеназная активность, мкл Н/г	
		актуальная	потенциальная
CaOCl	3,7	24,5	92,2
NaOCl	2,5	23,2	101,1
O ₃	3,2	30,3	87,4
Без обработки	3,7	29,0	78,9

Поскольку значения ферментативных активностей имеют различную размерность и смысл, для удобства сравнения рассчитывали изменение опытной величины ферментативной активности по сравнению с контролем (почвой без обработки), выраженной в долях единицы. Однократная обработка почвы растворами для

дезинфекции сооружений водоснабжения демонстрирует повышение потенциальной дегидрогеназной активности для раствора хлорной извести на 6–10%, а для гипохлорита натрия и озона – на 20–40%, что может быть связано с изменением структуры органических веществ почвы, делающей их более доступными для бактерий в качестве субстрата.

Двукратная обработка не приводит к заметному увеличению потенциальной дегидрогеназной активности по сравнению с однократной кроме обработки хлорной известью (17%), что, видимо, связано с ограниченным количеством органических легкоокисляющихся веществ в почве. В то же время потенциальная активность все еще больше на 10–30% по сравнению с контролем, тогда как актуальная дегидрогеназная активность снижается по сравнению с контролем для хлорсодержащих реагентов и немного повышается для озона (на 15, 20 и 5% соответственно). Это может свидетельствовать о подавлении дыхательной деятельности в случае хлорсодержащих реагентов в результате образования хлорорганических соединений и небольшом положительном воздействии активного кислорода. Снижение каталазной активности по сравнению с контролем незначительно, что может свидетельствовать как о снижении количества активных окислителей в системе, так и о подавлении деятельности самой системы дыхания в клетке.

Хроматографирование подготовленных гексановых экстрактов почвы, обработанной хлорной известью, и необработанного образца почвы (рисунок) на газожидкостном хроматографе с детектором по ионизации в пламени, который неселективно показывает все органические соединения почвенной вытяжки, показало различие в отмеченных местах, что прямо говорит о наличии новых органических соединений, вероятно, содержащих хлор.

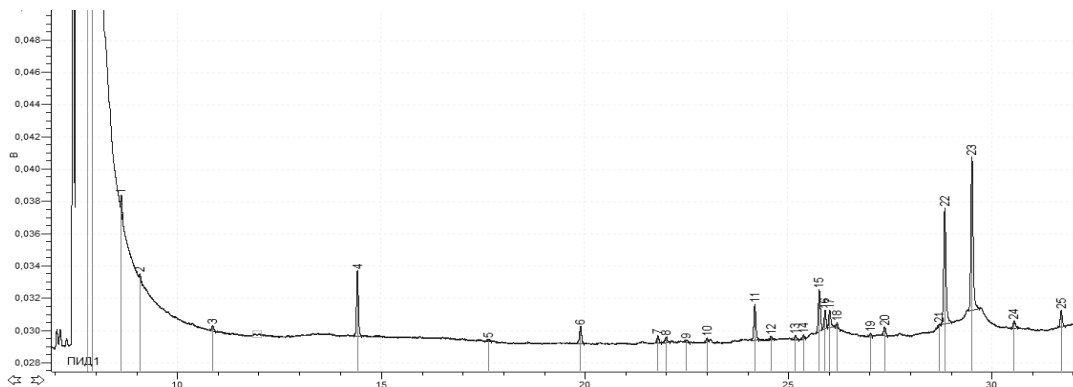
Результаты эксперимента по изучению влияния растворов дезинфицирующих агентов на рост растений приведены в табл. 2.

Анализ полученных данных показал, что различия в подавляющем большинстве случаев статистически недостоверны. Однако заметна тенденция к ускоренному росту растений в присутствии соединений хлора и озона по сухой массе, а дополнительная обработка почвы факторами ремедиации в большинстве случаев снижает сухую массу растений.

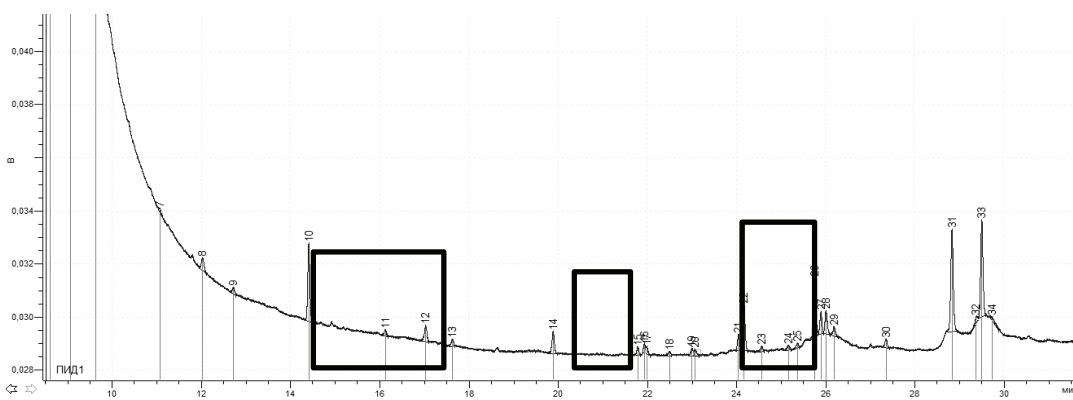
Анализ процентного содержания сухого вещества в массе растения показал, что обработка почвы активным хлором и озоном приводит к повышению содержания сухого вещества в биомассе растений (3,9–4,8% в сопоставлении с 2,7% для необработанной почвы),

что указывает на более интенсивные метаболические процессы. Это может быть связано с окислением активными окислителями части

органических соединений почвы, что делает более доступными для растений биогенные элементы.



а



б

Хроматограммы подготовленных гексановых экстрактов необработанной (а) и обработанной (б) почвы

Таблица 2

Результаты изучения влияния активных дезинфицирующих агентов на растения

Наименование пробы	Усредненная масса одного растения, г	Усредненная масса одного растения по абсолютно сухому веществу, г	Содержание сухого вещества в массе растения, %
Без обработки факторами ремедиации			
CaOCl	0,254 ± 0,035	0,012 ± 0,002	4,8
NaOCl	0,255 ± 0,037	0,011 ± 0,002	4,2
O ₃	0,310 ± 0,032	0,012 ± 0,002	3,9
Внесение органоминерального удобрения			
CaOCl	0,288 ± 0,057	0,011 ± 0,001	3,6
NaOCl	0,395 ± 0,083	0,009 ± 0,002	2,2
O ₃	0,244 ± 0,060	0,010 ± 0,001	4,0
Выращивание растений			
CaOCl	0,173 ± 0,026	0,014 ± 0,002	4,9
NaOCl	0,242 ± 0,042	0,010 ± 0,001	4,2
O ₃	0,190 ± 0,041	0,007 ± 0,002	3,6
Внесение препарата почвенных бактерий			
CaOCl	0,257 ± 0,041	0,008 ± 0,002	3,0
NaOCl	0,284 ± 0,046	0,007 ± 0,001	2,4
O ₃	0,180 ± 0,025	0,008 ± 0,001	4,7
Без обработки растворами для дезинфекции			
Контроль	0,260 ± 0,058	0,008 ± 0,001	2,9

В случае обработки озонированной водой ни один из факторов ремедиации не оказал видимого эффекта, тогда как при хлорировании использование удобрений и бактерий способствовало уменьшению содержания сухих веществ в биомассе растений. Вероятно, увеличение количества обработок препаратами активного хлора и озона показало бы более четкую картину.

Ферментативные активности загрязненной почвы, подвергнутой биоремедиации, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Значения изменения ферментативных активностей почвы после двукратной обработки растворами для дезинфекции сооружений водоснабжения по сравнению с контролем (почвой без обработки) до и после обработки факторами ремедиации

Наименование дезинфицирующего агента	Каталазная активность	Дегидрогеназная активность	
		актуальная	потенциальная
Почва без обработки факторами ремедиации			
CaOCl	0,0	-15,3	16,9
NaOCl	-0,3	-20,0	28,2
O ₃	-0,1	4,7	10,8
Внесение органоминерального удобрения			
CaOCl	-0,2	64,2	38,9
NaOCl	0,0	-20,8	5,9
O ₃	0,2	76,3	32,7
Выращивание растений			
CaOCl	-0,1	49,3	122,6
NaOCl	-0,2	109,0	51,0
O ₃	0,2	190,0	5,6
Внесение препарата почвенных бактерий			
CaOCl	0,0	109,7	172,7
NaOCl	-0,1	29,0	50,0
O ₃	0,2	-1,6	0,0

Практически для всех случаев увеличивается актуальная активность почвы, что говорит

о положительном воздействии всех трех факторов ремедиации почвы. Более выражено увеличение потенциальной активности в случае внесения активных микроорганизмов-деструкторов органических веществ, что указывает на предпочтительность этого метода.

Для каждого из вариантов обработки факторами ремедиации каталазная активность изменяется в пределах ошибки эксперимента, что позволяет предположить незначительное влияние ремедиации на эту ферментную систему.

Сочетание изученных методов ремедиации позволяет использовать преимущества их всех. Из изученных факторов ремедиации почвы более выраженным эффектом обладало внесение микроорганизмов – активных деструкторов органических веществ. Дополнительное внесение органических и минеральных удобрений (фактически – биогенных элементов) в почву также окажет положительное влияние из-за активизации деятельности микроорганизмов. Дополнительное усиление эффекта ремедиации возможно при отсутствии ограничений роста растений на обрабатываемой территории.

Заключение. Хлорная известь и гипохлорит натрия в составе отработанных растворов для дезинфекции скважин приводят к изменению компонентного состава почвы и снижению дыхательной активности ее микробиоты, тогда как остаточный озон приводит к активизации процессов окисления органических веществ при менее значительной трансформации органических веществ в почве. Почва, в которую систематически попадали растворы, содержащие активный хлор, подлежит ремедиации, предпочтительно в направлении использования активных почвенных бактерий в составе биопрепарата либо специализированных штаммов, способных к деградации хлорорганических веществ. Использование озона для дезинфекции сооружений питьевого водоснабжения позволит снизить экологическую нагрузку на почву прилегающих территорий.

Литература

1. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [и др.]. Минск: Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, 2012. 144 с.
2. Состояние природной среды Беларуси: экол. бюл. 2012 г. / под общ. ред. В. Ф. Логинова. Минск: РУП «Минсктиппроект», 2013. 378 с.
3. Санитарные нормы и правила «Санитарно-эпидемиологические требования к системам централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения»: утв. постановлением Мин-ва здравоохранения Республики Беларусь № 69 от 16.09.2014. Введ. 08.10.2014. Минск: Министерство здравоохранения Респ. Беларусь, 2014. 20 с.
4. Schulz C. R., Lohman S. R. Method and apparatus for ozone disinfection of water supply pipelines. Patent US, no. 20050249631, 2005.
5. Управление окружающей средой. Оценка жизненного цикла. Применение СТБ ISO 14041–2001 для инвентаризационного анализа жизненного цикла: СТБ ISO/ТО 14049–2007. Введ. 01.10.2007. Минск: Государственный комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2007. 44 с.

6. Романовский В. И., Бессонова Ю. Н. Сравнительный анализ способов дезинфекции водозаборных скважин и сооружений водоснабжения // Перспективы развития и организационно-экономические проблемы управления производством: мат. Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т. Т. 1. / Белорус. нац. техн. ун-т. Минск: Право и экономика, 2015. С. 211–226.

7. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 1990. 189 с.

8. Качество почвы. Определение содержания хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов. Газохроматографический метод с электронозахватным детектором: ГОСТ Р 53217–2008. Введ. 25.12.2008. М.: СтандартИнформ, 2009. 20 с.

9. Генератор озона: пат. 20040577 Респ. Беларусь / С. М. Дмитриев, М. П. Кондратьев. № 2003040115, заявл. 09.12.2004; опубл. 30.06.2005; Афицыйны бюл., № 2. С. 54.

References

1. *Gosudarstvennyy vodnyy kadastr. Vodnye resursy, ikh ispol'zovanie i kachestvo vod* [State water cadastre. Water resources, their use and water quality]. Minsk, 2012. 144 p.

2. *Sostoyanie prirodnoy sredy Belarusi: ekologicheskiy byulleten 2012* [State of the environment of Belarus: ecological bulletin 2012]. Ed. by V. F. Loginov. Minsk, RUE “Minsktipproekt”, 2013. 378 p.

3. *Sanitarnye normy i pravila “Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k sistemam tsentralizovannogo khozyaystvenno-pit’evogo vodosnabzheniya”* [Sanitary regulations “Sanitary-epidemiological requirements for centralized drinking water supply”]. Minsk, Ministerstvo zdravookhraneniya Respubliki Belarus’ Publ., 2014. 20 p.

4. Schulz C. R., Lohman S. R. Method and apparatus for ozone disinfection of water supply pipelines. Patent US, no. 20050249631, 2005.

5. STB ISO/TO 14049-2007. Environmental management. Life cycle assessment. Adaptation of STB ISO 14041-2001 for the life cycle inventory analysis. Minsk, Gos. komitet po standartizatsii Publ., 2007. 44 p.

6. Romanovskiy V. I., Bessonova Yu. N. Comparative analysis of water wells disinfection methods and construction of water supply. *Materialy mezhhregionalnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii “Perspektivy razvitiya i organizatsionno-ekonomicheskie problemy upravleniya proizvodstvom” v 2 t. T. 1.* [Materials of the Interregional Scientific and Technical Conference “Prospects of Development and Organization and Economical Problems of Production Management” in 2 vol. Vol. 1]. Minsk, Pravo i ekonomika Publ., 2015, pp. 211–226 (In Russian).

7. Khaziev F. Kh. *Metody pochvennoy enzimologii* [Methods of soil enzymology]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 189 p.

8. GOST R 53217-2008. Soil quality. Determination of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls. Gas chromatographic method with electron capture detector. Moscow: StandartInform Publ., 2009. 20 p.

9. Dmitriev S. M., Kondrat’ev M. P. *Generator ozona* [Ozone generator]. Patent BY, no. 2003040115, 2005.

Информация об авторах

Рымовская Мария Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии и биоэкологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: rymovskaya_mv@mail.ru

Романовский Валентин Иванович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры промышленной экологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: V.Romanovski@yandex.ru

Information about the authors

Rymovskaia Marya Vasil’evna – PhD (Engineering), Assistant Professor, Department of Biotechnology and Bioecology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rymovskaya_mv@mail.ru

Romanouski Valiantsin Ivanavich – PhD (Engineering), Senior Lecturer, Department of Industrial Ecology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: V.Romanovski@yandex.ru

Поступила 20.02.2016