

DOI: 10.15593/24111678/2016.02.07

УДК 504.064.47

К.Э. Миниахметова, Ю.В. Завизион

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

ВЛИЯНИЕ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ФИЛЬТРАТА НА БИОГАЗОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЗАХОРОНЕННЫХ НА ПОЛИГОНЕ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Твердые коммунальные отходы (ТКО) по морфологическому составу могут быть различными для разных стран, но в основном в их состав входят: упаковки, обертки, пищевые отходы, древесные отходы, стекло и т.д. В 2015 г. было образовано в среднем 245 млн т ТКО в России, причем примерно 80–90 % из этого объема отходов направлено на захоронение. В то время как малая часть отходов перерабатывается, компостируется и преобразуется в энергию, захоронение остается основным методом управления ТКО. В большинстве случаев полигоны захоронения ТКО разработаны и эксплуатируются в соответствии с нормативными документами, которые сводят к минимуму количество поступающей влаги. Отсутствие достаточного количества влаги в массиве отходов способствует длительному процессу деградации отходов, и полное разложение может длиться от 50 до 100 лет. При разложении ТКО в окружающую среду выделяется биогаз, который способствует усилению парникового эффекта, а также образуется фильтрат, содержащий токсичные вещества. В связи с этим управление эмиссией биогаза является актуальной задачей. В статье рассмотрено влияние рециркуляции фильтрата на процесс образования биогаза в лабораторных биореакторах. Также представлены результаты исследования процесса метаногенеза при рециркуляции фильтрата в лабораторных условиях ТКО, отобранных на полигоне г. Краснокамска. Исследование осуществляется в биореакторах в условиях, имитирующих разложение отходов в теле полигона ($T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Влияние рециркуляции фильтрата заключается в увеличении влажности отходов, в результате чего происходит ускорение процессов биоразложения отходов.

Ключевые слова: биореактор, полигон, рециркуляция фильтрата, твердые коммунальные отходы.

K.E. Miniakhmetova, Iu.V. Zavizion

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

EFFECT OF RECIRCULATION THE LEACHATE TO THE LANDFILL GAS POTENTIAL OF LANDFILLED MUNICIPAL SOLID WASTE

Municipal solid waste (MSW) in morphological structure may be different for different countries, but mainly in the composition of the waste consists of: packaging, wrappings, food waste, wood, electrical appliances. In 2015, it was formed by an average 245 mln tons of MSW in Russia, with approximately 80–90 % of waste sent for disposal. While, as a small part of the waste is recycled, composted and converted into energy, disposal of MSW management remains the main method. MSW

landfills are designed and operated in accordance with the regulations that minimize the amount of incoming water. Lack of sufficient amounts of moisture in the waste array promotes long degradation process of waste and complete decomposition can last from 50 to 100 years.

The decomposition of the MSW to the environment released landfill gas, which contribute to the greenhouse effect, and the filtrate is formed, containing toxic substances. In this connection, the management of the emission of landfill gas is an urgent task. This article discusses the effect of leachate recirculation in the process of formation of landfill gas in bioreactors. Findings methanogenesis process are also provided with the leachate recycled to the laboratory of MSW conditions at the site selected Krasnokamsk. Research carried out in laboratory bioreactors under conditions simulating decomposition of waste in the landfill body ($T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Effect of recirculation leachate is to increase the humidity of the waste, thereby accelerating the biodegradation process waste.

Keywords: bioreactor, landfill, leachate recirculation, municipal solid waste.

Введение

Медленная скорость биодegradации твердых коммунальных отходов (ТКО) на полигонах захоронения создает проблемы, связанные с повторным использованием участка, после завершения эксплуатации полигона. Вследствие этого участки, на которых могли бы разрабатываться новые полигоны, не подлежат использованию по причине конструктивной (просадки поверхности) и биохимической нестабильности [1–4].

Отсутствие достаточного количества влаги в массиве отходов способствует длительному процессу деградации отходов, и полное разложение может длиться от 50 до 100 лет. Многочисленные исследования показали, что рециркуляция фильтрата на полигонах может ускорить биодegradацию отходов, а также снизить период полного разложения [1–4].

Преимущества рециркуляции фильтратом массива захоронения отходов были продемонстрированы многими исследователями в лабораторных биореакторах и полевых испытаниях [3–11].

Рециркуляция фильтрата не только увлажняет массив отходов, но и снижает негативное воздействие органических и неорганических веществ на окружающую среду [7]. Также исследования европейских стран доказали важность процесса рециркуляции фильтрата в повышении эффективности биодegradации отходов в массиве захоронения отходов [12]. Увеличение содержания влаги в массиве отходов способствует активации микроорганизмов и тем самым ускорению процесса биодegradации веществ, а также сокращению негативного воздействия полигонов захоронения ТКО на окружающую среду [13].

Одна из важнейших проблем полигонов захоронения ТКО состоит в том, как можно ускорить биодegradацию отходов и сократить дорогостоящий период мониторинга загрязнения объектов окружающей

среды. Как было упомянуто выше, срок разложения отходов продолжается в течение нескольких десятков лет после закрытия приема ТКО на участок захоронения. Рециркуляция фильтрата приводит к биодegradации ТКО сравнительно быстрее, чем при обычной эксплуатации полигона, и может сократить этот период на несколько лет. Рециркуляция фильтрата на полигонах захоронения отходов ТКО может снизить стоимость мониторинга и ранней доступности территории для повторного использования [14, 15].

Материалы и методы исследования

Для исследования процесса метаногенеза в лабораторных условиях на кафедре «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета был поставлен эксперимент, целью которого являлось изучение влияния рециркуляции фильтрата на процесс образования биогаза твердыми коммунальными отходами в теле полигона.

Исследования проводились на твердых коммунальных отходах полигона г. Краснокамска (Пермский край). Возраст отходов определяли на основании сроков годности и дат изготовления, указанных на упаковках продуктов, он составил примерно 3–4 года. Масса отходов в биореакторах в пересчете на сухое вещество составила: биореактор № 1 $m = 55,78$ кг, биореактор № 2 $m = 55,48$ кг и биореактор № 3 $m = 63,01$ кг.

Морфологический состав ТКО полигона г. Краснокамска (по весу) включал: 12,23 % – бумаги, 6,54 % – текстиля, 28,26 % – полимеров, 9,17 % – стекла, 7,92 % – дерева, 2,52 % – металл, 9,34% – прочих, 19,25 % – свалочных новообразований.

Основным оборудованием для проведения эксперимента являются лабораторные биореакторы. Принципиальная схема установки изображена на рис. 1. Каждый биореактор включал в себя основную свалочную ячейку, трубу для откачки фильтрата, емкость для сбора фильтрата, емкость для сбора газа, насос для рециркуляции фильтрата, а также систему орошения.

Технология лабораторного моделирования состоит в том, что исследуемый материал помещают в герметично закрытый биореактор (для обеспечения эффективной защиты от утечки, в котором поддерживается мезофильный режим ($T = 40$ °С), соответствующий условиям полигона.

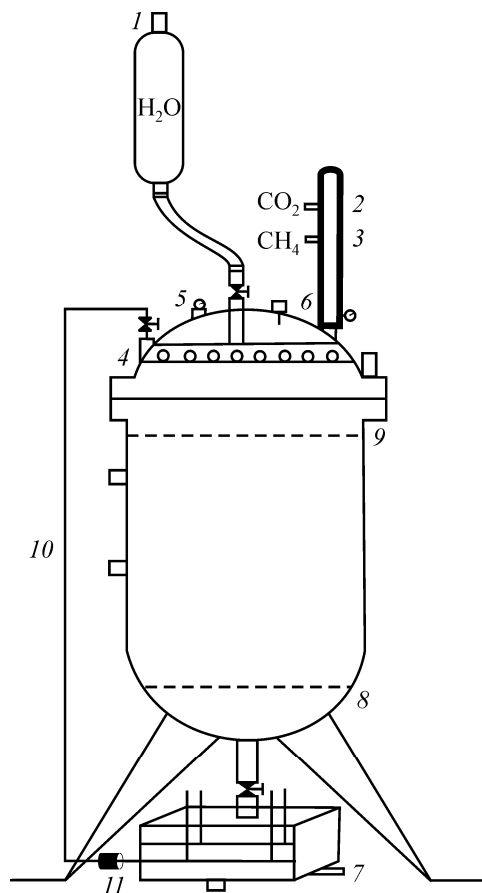


Рис. 1. Биореактор: 1 – емкость для воды; 2, 3 – датчик для определения содержания углекислого газа и метана; 4 – крышка; 5 – датчик давления; 6 – термометр; 7 – емкость для сбора фильтрата; 8 – решетка; 9 – уровень загруженных отходов; 10 – труба для рециркуляции фильтрата; 11 – насос

Влажность в биореакторах № 1 и № 2 обеспечивается за счет рециркуляции фильтрата и добавления свежей воды. Добавление свежей воды имитирует осадки, с расчетом количества осадков за последние 5 лет в районе пребывания полигона. В биореакторе № 3 рециркуляция отсутствует, в него добавляется только свежая вода взамен отбираемого фильтрата. Частота рециркуляции фильтрата за весь период проведения эксперимента не менялась.

Программа исследований включает:

- замер объема биогаза (2 раза в неделю);
- измерение компонентного состава биогаза (2 раза в неделю);
- отбор фильтрата на анализы (1 раз в неделю);

- рециркуляцию фильтрата (2 раза в неделю);
- орошение водой массы отходов (1 раз в неделю).

Планируемый срок проведения эксперимента – 1 год. Начало эксперимента – 21.05.2015 г.

Контролируемыми физико-химическими показателями для фильтрата являлись: рН, удельная электропроводность, ХПК.

Удельную электропроводность, рН измеряли с помощью портативного прибора Multiline F/SET-3. Концентрации ХПК были определены в соответствии с ПНД Ф 14.1;2.100–97 «Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений химического потребления кислорода в пробах природных и очищенных сточных вод» Концентрации газов CH_4 и CO_2 определяли с помощью переносного мультигазового газосигнализатора «Комета-М» серии ИГС-98.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе экспериментальных исследований были получены результаты, представленные на рис. 2. Для биореакторов № 1 и № 2 приведено усредненное значение, так как условия проведения эксперимента были аналогичными. Полученные данные были пересчитаны на нормальные условия.

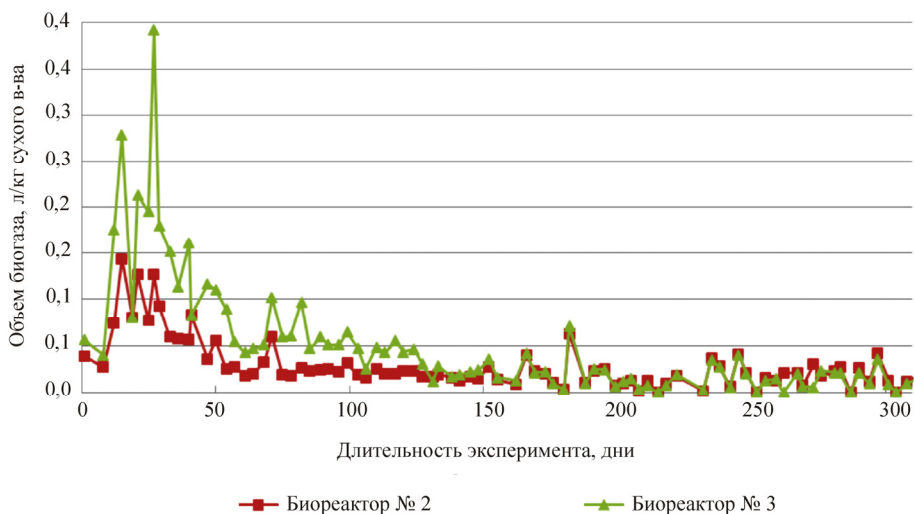


Рис. 2. Удельное образование биогаза

Из рис. 2 видно, что максимальное образование биогаза отмечено в период с 8-го по 29-й день, что объясняется составом загруженных

отходов. Пик эмиссии биогаза может быть вызван выделением биогаза быстроразлагающимися отходами (пищевые остатки) [15].

Исходя из определенных физико-химических показателей фильтрата, можно оценить стадию деструкции отходов: рН, удельную электропроводность, ХПК.

На рис. 3 представлено рН среды фильтрата биореакторов за период эксперимента.

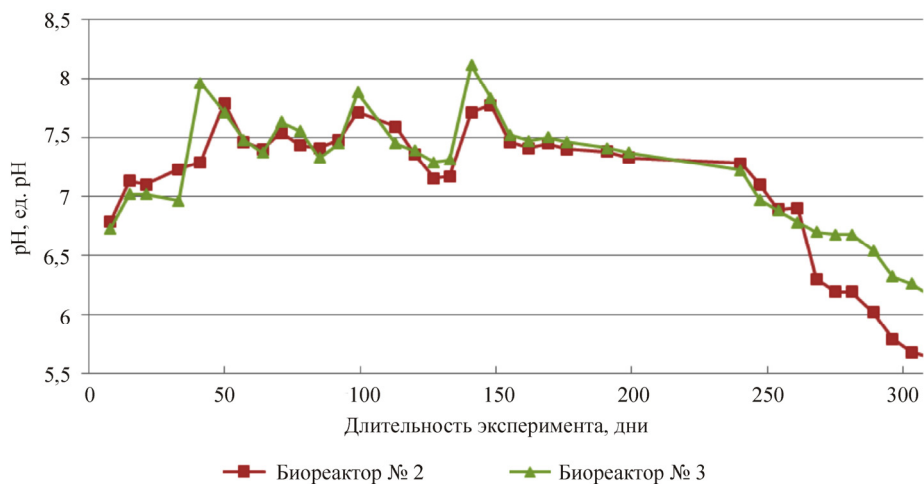


Рис. 3. рН среды фильтрата

Из представленного графика определено, что в период до 20-го дня эксперимента отходы деградируют в кислой фазе. Далее показатель рН среды фильтрата увеличивается до 8,1, что говорит о начавшихся процессах метаногенеза. После 150-го дня рН начинает снижаться с 8,1 до 5,6, что свидетельствует о том, что отходы находятся на стадии активного метаногенеза. На рис. 3 показано, что значение рН в биореакторах № 1 и № 2 примерно одинаково, и не так сильно выражены пики, в отличие от биореактора № 3. Это свидетельствует о том, что биореакторы № 1 и № 2 достигли кислотной стадии раньше, чем биореактор № 3. Изменение значений рН от начальной стадии до устойчивого состояния еще не достигнуто, так как эксперимент не окончен.

На рис. 4 представлен график изменения удельной электропроводности фильтрата.

За время эксперимента удельная электропроводность фильтрата уменьшилась в 1,8–2,1 раза. Отмечено, что солесодержание выше

в биореакторах № 1 и № 2, чем в биореакторе № 3, вследствие проведения в них рециркуляции массива отходов фильтратом. Снижение удельной электропроводности фильтрата (до 7,2–9,3 мсим/см) может быть связано с вымыванием солей из отходов.

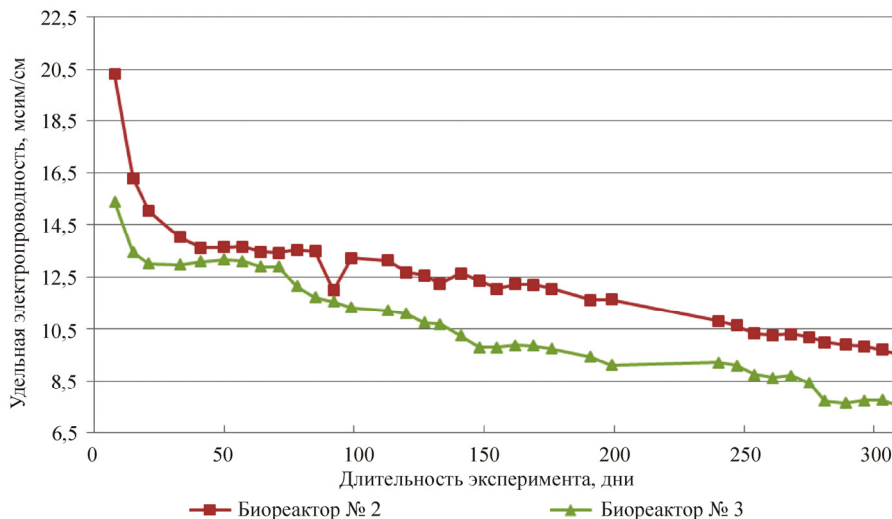


Рис. 4. Удельная электропроводность фильтрата

На рис. 5 представлено изменение концентрации ХПК фильтрата, показывающее биodeградацию органического вещества в процессе анаэробного процесса при различных условиях ускорения процесса (рециркуляция фильтратом и орошение водой).

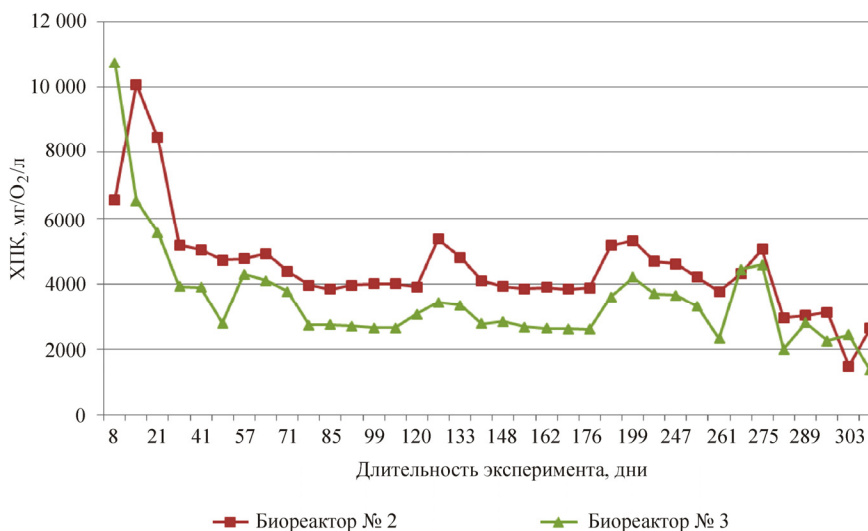


Рис. 5. ХПК фильтрата

Из представленного графика видно, что значения ХПК фильтрата находятся в диапазоне 1,823–10,746 мгО₂/л. Концентрация ХПК фильтрата для биореакторов № 1 и № 2 выше, чем в биореакторе № 3, так как в них процесс рециркуляции фильтрата вызвал ускорение процессов разложения отходов и выщелачивание органических веществ в фильтрат. Значения ХПК фильтрата соответствуют стадии активного метаногенеза.

Выводы

На основании результатов моделирования процессов деструкции отходов полигона захоронения ТКО г. Краснокамска было определено, что отходы находятся на стадии активного метаногенеза.

Исследования процесса метаногенеза в условиях, имитирующих разложение отходов в теле полигона ($T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$), показали, что при рециркуляции фильтрата удельное образование биогаза ниже, чем при орошении водой (имитация осадков). Рециркуляция массива отходов фильтратом в биореакторах № 1 и № 2 влияет на объем образования биогаза в начале эксперимента вследствие ингибирования процессов метаногенеза за счет высокой концентрации органических кислот, которые могут быть токсичны для метанообразующих бактерий.

Исследование деструкции отобранных отходов из массива полигона в модельной лабораторной установке в длительном эксперименте позволяет отследить изменение показателей (эмиссия биогаза, свойства фильтрата) по мере увеличения биоразложения отходов на разных этапах жизненного цикла полигона.

Рециркуляция фильтрата позволяет сократить период эксплуатации полигона ТКО. Сокращение времени биodeградации на полигонах ТКО с рециркуляцией фильтратов уменьшает затраты на мониторинг, а также позволяет использовать освобожденный участок полигона гораздо раньше, что дает дополнительные экономические и экологические выгоды.

Список литературы

1. Barlaz M., Ham R., Schaefer D. Methane production from municipal refuse: a review of enhancement techniques and microbial dynamics // *Critical Review in Environmental Control*. – 1990. – No. 19. – P. 557–584.

2. Practice review of five bioreactor/recirculation landfills / C. Benson, M. Barlaz, D. Lane [et al.] // *Waste Management*. – 2007. – No. 27. – P. 13–29.

3. Effect of recirculated leachate volume on MSW degradation / S. Chugh, W. Clarke, P. Pullammanappallil [et al.] // *Waste Management and Research*. – 1998. – No. 16(6). – P. 564–573.

4. Cossu R., Raga R., Rossetti D. The PAF model: an integrated approach for landfill sustainability // *Waste Management*. – 2003. – No. 23. – P. 37–44.

5. El-Fadel M. Leachate recirculation effects on settlement and biodegradation rates in MSW landfills // *Environmental Technology*. – 1999. – No. 20. – P. 121–133.

6. Monitoring operational and leachate characteristics of an aerobic simulated landfill bioreactor / A. Giannis, F. Simantiraki, M. Somara [et al.] // *Waste Management*. – 2008. – No. 28. – P. 1346–1354.

7. Kim H. Comparative studies of aerobic and anaerobic landfills using simulated landfill lysimeters: Thesis of Ph.D. degree dissertation. – University of Florida, USA, 2005.

8. Onay T.T., Pohland, F.G. In situ nitrogen management in controlled landfills // *Water Research*. – 1998. – No. 32. – P. 1383–1392.

9. Refuse decomposition in the presence and absence of leachate recirculation / R. Mehta, M.A. Barlaz, R. Yazdani [et al.] // *Journal of Environmental Engineering*. – 2002. – No. 128(3). – P. 228–236.

10. Pohland F.G., Kim J. In situ anaerobic treatment of leachate in landfill bioreactors // *Water Science and Technology*. – 1999. – No. 40. – P. 203–210.

11. Achieving “Final Storage Quality” of municipal solid waste in pilot scale bioreactor landfills / R. Valencia, W. Vanderzon, H. Woelders [et al.] // *Waste Management*. – 2009. – No. 29. – P. 78–85.

12. Warith M. Bioreactor landfill: experimental and field results // *Waste Management*. – 2002. – No. 22. – P. 7–17.

13. Price G.A., Barlaz M.A., Hater G.R. Nitrogen management in bioreactor landfills. *Waste Management*. – 2003. – No. 23. – P. 675–688.

14. Reinhart D.R., McCreanor P.T., Townsend T. The bioreactor landfill: its status and future // *Waste Management and Research*. – 2002. – No. 20. – P. 172–186.

15. Лиллепярг Е.Р. Методика определения энергетического потенциала полигонов твердых бытовых отходов: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2004. – 116 с.

References

1. Barlaz M., Ham R., Schaefer D. Methane production from municipal refuse: a review of enhancement techniques and microbial dynamics. *Critical Review in Environmental Control*, 1990, no. 19, pp. 557-584.

2. Benson C., Barlaz M., Lane D. [et al.]. Practice review of five bio-reactor/recirculation landfills. *Waste Management*, 2007, no. 27, pp. 13-29.

3. Chugh S., Clarke W., Pullammanappallil P. [et al.]. Effect of re-circulated leachate volume on MSW degradation. *Waste Management and Research*, 1998, no. 16(6), pp. 564-573.

4. Cossu R., Raga R., Rossetti D. The PAF model: an integrated approach for landfill sustainability. *Waste Management*, 2003, no. 23, pp. 37-44.

5. El-Fadel M. Leachate recirculation effects on settlement and biodegradation rates in MSW landfills. *Environmental Technology*, 1999, no. 20, pp. 121-133.

6. Giannis A., Simantiraki F., Somara M. [et al.]. Monitoring operational and leachate characteristics of an aerobic simulated landfill bioreactor. *Waste Management*, 2008, no. 28, pp. 1346-1354.

7. Kim H. Comparative studies of aerobic and anaerobic landfills using simulated landfill lysimeters. Thesis of Ph.D., University of Florida, USA, 2005.

8. Onay T.T., Pohland, F.G. In situ nitrogen management in controlled landfills. *Water Research*, 1998, no. 32, pp.1383-1392.

9. Mehta R., Barlaz M.A., Yazdani R. [et al.]. Refuse decomposition in the presence and absence of leachate recirculation. *Journal of Environmental Engineering*, 2002, no. 128(3), pp. 228-236.

10. Pohland F.G., Kim J. In situ anaerobic treatment of leachate in landfill bioreactors. *Water Science and Technology*, 1999, no. 40, pp. 203-210.

11. Valencia R., Vanderzon W., Woelders H. [et al.]. Achieving “Final Storage Quality” of municipal solid waste in pilot scale bioreactor landfills. *Waste Management*, 2009, no. 29, pp. 78-85.

12. Warith M. Bioreactor landfill: experimental and field results. *Waste Management*, 2002, no. 22, pp. 7-17.

13. Price G.A., Barlaz M.A., Hater G.R. Nitrogen management in bio-reactor landfills. *Waste Management*, 2003, no. 23, pp. 675-688.

14. Reinhart D.R., McCreanor P.T., Townsend T. The bioreactor land-fill: its status and future. *Waste Management and Research*, 2002, no. 20, pp. 172-186.

15. Lillepiarg E.R. Metodika opredeleniia energeticheskogo potent-siala poligonov tverdykh bytovykh otkhodov [Method of energy potential determining of municipal solid waste landfills]. Ph.D. Thesis, Saint-Petersburg, 2004. 116 p.

Получено 20.05.2016

Об авторах

Миниахметова Кристина Эдуартовна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: cristyusha_mini@mail.ru).

Завизион Юлия Владимировна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: juliagubaha@mail.ru).

About the authors

Kristina E. Miniakhmetova (Perm, Russian Federation) – Master Student, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: cristyusha_mini@mail.ru).

Iuliia V. Zavizion (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: juliagubaha@mail.ru).