

DOI 10.15593/2409-5125/2015.04.07

УДК 504.064.47

**К.Э. Миниахметова, Ю.В. Завизион,  
Я.А. Жилинская, Н.Н. Слюсарь**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ БИОГАЗА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ С ЦЕЛЬЮ ОБОСНОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕТАНОГЕНЕЗОМ ПРИ КОНТРОЛИРУЕМОМ ОРОШЕНИИ**

Захоронение твердых коммунальных отходов на полигонах сопровождается негативным воздействием на окружающую среду, которое проявляется в виде загрязнения атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод продуктами разложения отходов. Биогаз, образующийся при анаэробном разложении отходов, выделяясь в окружающую среду, способствует усилению парникового эффекта. В связи с чем управление эмиссией биогаза является актуальной задачей. В статье рассмотрены методы управления метаногенезом: предварительные, направленные на сокращение количества биоразлагаемых отходов, поступающих на полигон, а также методы, применяемые непосредственно при эксплуатации полигонов захоронения твердых коммунальных отходов. Представлены промежуточные результаты исследования процесса выделения биогаза в лабораторных условиях с целью обоснования основных параметров технологии управления метаногенезом при контролируемом орошении твердых коммунальных отходов, отобранных на полигоне г. Краснокамска. Лабораторное моделирование осуществляется в биореакторах в условиях, имитирующих разложение отходов в теле полигона ( $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 735\text{--}746\text{ мм рт.ст.}$ ). Влияние рециркуляции фильтрата заключается в увеличении влажности отходов, что ускоряет процессы их биоразложения. Предварительные результаты исследования показали, что при рециркуляции фильтрата в биореакторах объем биогаза ниже, чем при орошении водой ориентировочно в 3 раза.

**Ключевые слова:** твердые коммунальные отходы (ТКО), полигон ТКО, биогаз, фильтрат, метаногенез.

Одним из основных способов обезвреживания твердых коммунальных отходов (ТКО) остается их захоронение на полигонах, вызывающее ряд экологических проблем. К одной из основных проблем относится эмиссия биогаза в окружающую среду, связанная с интенсивным биохимическим разложением отходов.

Биогаз, образующийся при анаэробном разложении органической составляющей отходов, состоит на 98 % из метана и диоксида углерода. Выделяясь в окружающую среду, он загрязняет атмосферный воздух и способствует усилению парникового эффекта [1–6].

Кроме того, метан является причиной самовозгорания отходов на полигонах, так как при его взаимодействии с воздухом возможно создание горючих и взрывоопасных смесей (при концентрации 5–15 об. %), что может привести к загрязнению атмосферы токсичными веществами [4].

Состав биогаза, образующегося на полигонах захоронения ТКО, зависит от многих факторов, таких как: стадия разложения, состав отходов, природные условия участка, конструкция основания и покрытия полигона, возможность доступа кислорода воздуха к отходам, высота складирования отходов, условия их уплотнения и т.д. [1].

В состав биогаза входят более сотни компонентов органического и неорганического происхождения. В биогазе выделяют две группы составляющих: макрокомпоненты и микрокомпоненты (следовые газы). Соотношение макрокомпонентов (метана и углекислого газа) может меняться от 40–70 до 30–60 % соответственно. В существенно меньших концентрациях присутствует азот (не превышает 15 %), кислород, водород (1 %). В качестве микропримесей в состав биогаза могут входить десятки различных органических соединений, таких как толуол, аммиак, ксилолы, диоксиды азота, формальдегид, бензол и др. [1].

Основные виды воздействия компонентов биогаза на окружающую среду и человека представлены в таблице.

Очевидно, что управление эмиссией биогаза приобретает важнейшее значение.

Процесс газообразования на полигоне ТКО заключается в метановом брожении с сопровождением выделения теплоты и протекает ступенчато, включая в себя несколько основных фаз (рис. 1).

Воздействие компонентов биогаза на окружающую среду и человека [1]

Компонент	Содержание, %	Влияние на окружающую среду	Влияние на человека
<i>Основные газы</i>			
Метан	40–70	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Является парниковым газом.</li> <li>2. Взрывоопасен в смеси с воздухом (дым, смог).</li> <li>3. Вытесняет кислород в почве (угнетающее действие на растительность)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вызывает асфиксию.</li> <li>2. Воздействует на вегетативную нервную систему.</li> <li>3. Приводит к кислородному голоданию</li> </ol>
Диоксид углерода	30–60	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Является парниковым газом.</li> <li>2. Увеличивает кислотность и коррозионную активность фильтрата</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вызывает удушье при больших концентрациях.</li> <li>2. Приводит к головокругжению.</li> <li>3. Вызывает головную боль</li> </ol>
<i>Следовые газы</i>			
Толуол, ксилолы, этилбензол	0,095–0,72	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Загрязнение подземных вод и водоемов.</li> <li>2. Взрывоопасны в смеси с воздухом.</li> <li>3. Нарушают процессы репродукции</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поражают нервную систему.</li> <li>2. Влияют на функцию кроветворения организма</li> </ol>
Формальдегид, ангидрид сернистый	0,07–0,096	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Взрывоопасны в смеси с воздухом.</li> <li>2. Загрязняют наземные и подземные воды.</li> <li>3. При окислении превращаются в аэрозоль серной кислоты в воздухе</li> </ol>	Негативно воздействуют на генетический материал, репродуктивные органы, дыхательные пути, глаза, кожный покров
Диоксид азота, аммиак, оксид углерода, сероводород	0,026–0,553	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Являются парниковыми газами.</li> <li>2. Увеличивают кислотность осадков.</li> <li>3. Образуют фотохимический смог.</li> <li>4. При окислении превращаются в серную кислоту</li> </ol>	Обладают эффектом суммированного воздействия



Рис. 1. Процессы образования биогаза [1]

Образование биогаза на полигоне захоронения ТКО может длиться десятки и сотни лет, но фаза, в которой образуется биогаз, ограничивается 10–30 годами. Период стабилизации газовой выделения наступает после двухлетней выдержки отходов в толще полигона. Наличие в биогазе более 50 % метана является характерным признаком стабилизации метаногенеза.

Факторы, влияющие на процесс образования биогаза:

- температура;
- влажность среды;
- уровень pH;
- соотношение C : N : P;
- атмосферные условия;
- морфологический состав отходов;
- наличие ингибиторов и катализаторов процесса;
- возраст отходов [1].

Влажность отходов является одним из основных факторов, которые определяют скорость разложения ТКО. Многие исследования показывают, что увеличение выхода метана связано с повышением влажности ТКО (рис. 2) [8–14]. Вода в теле полигона вы-

полняет несколько функций: транспортирует питательные вещества, разбавляет ингибиторы и распределяет микрофлору между отдельными частицами отходов. Процесс образования и выделения биогаза происходит только при наличии влажной среды, поскольку метанобразующие бактерии способны перерабатывать вещества только в растворенном виде и при температуре около 35–45 °С. Оптимальным значением содержания влаги при метаногенезе является 55–80 %. Зависимость скорости образования биогаза от влажности отходов представлена на рис. 2.

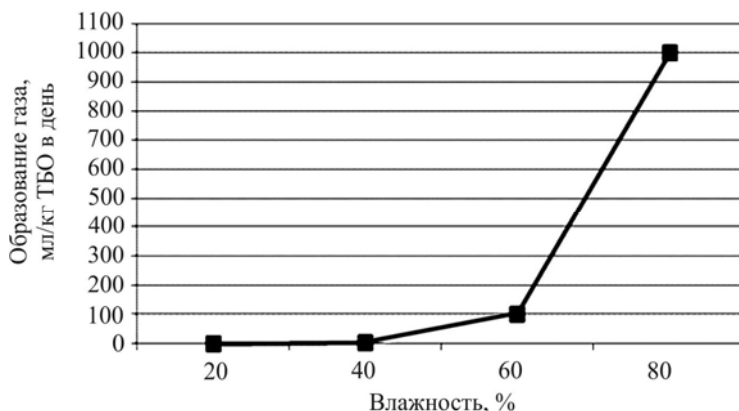


Рис. 2. Зависимость образования биогаза от влажности [7]

Управление метаногенезом позволяет эффективно регулировать и снижать эмиссию загрязняющих веществ при захоронении ТКО. К предварительным методам управления метаногенезом относят механобиологическую обработку (МБО) отходов. МБО способствует уменьшению доли биоразлагаемой части за счет сортировки, сокращению объема отходов (до 50 %) и увеличению скорости аэробного разложения за счет измельчения.

К методам, применяемым на действующих полигонах, относят:

- 1) аэробную стабилизацию массива отхода.
- 2) орошение массива отходов, в том числе рециркуляцию фильтрата [7].

Аэробная стабилизация способствует увеличению скорости разложения биоразлагаемых веществ до конечных продуктов за счет подачи воздуха. Данный метод позволяет также сократить неконтролируемое выделение биогаза.

Контролируемое орошение позволяет увеличить скорость разложения отходов за счет создания влажной среды, способствующей расщеплению органических веществ, что приводит к снижению потенциала эмиссий биогаза.

В западных странах на сегодняшний день применяются все перечисленные методы управления метаногенезом. В России около 95–97 % ТКО размещается на полигонах без предварительной обработки вследствие слабо развитой системы управления отходами, в том числе отдельного сбора [8–10].

Управление эмиссиями биогаза возможно только с помощью технологий регулирования процесса метаногенеза на полигонах ТКО. Наиболее доступным методом управления эмиссиями биогаза на действующих полигонах ТКО является орошение массива отходов, которое может осуществляться путем рециркуляции фильтрата. Данный способ также эффективен с экономической точки зрения. Во-первых, не требуется вода для увлажнения массива отходов, что сокращает затраты на проведение мероприятий; во-вторых, решается проблема очистки и удаления фильтрата, образующегося при эксплуатации полигона.

*Лабораторные исследования процесса метаногенеза.* Для исследования процесса метаногенеза в лабораторных условиях на кафедре ООС ПНИПУ был проведен эксперимент, целью которого является исследование влияния контролируемого орошения на процесс метаногенеза.

Основным оборудованием для проведения эксперимента являются биореакторы (рис. 3). Исследования проводятся на твердых коммунальных отходах полигона г. Краснокамска.

Программа исследований включает в себя:

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

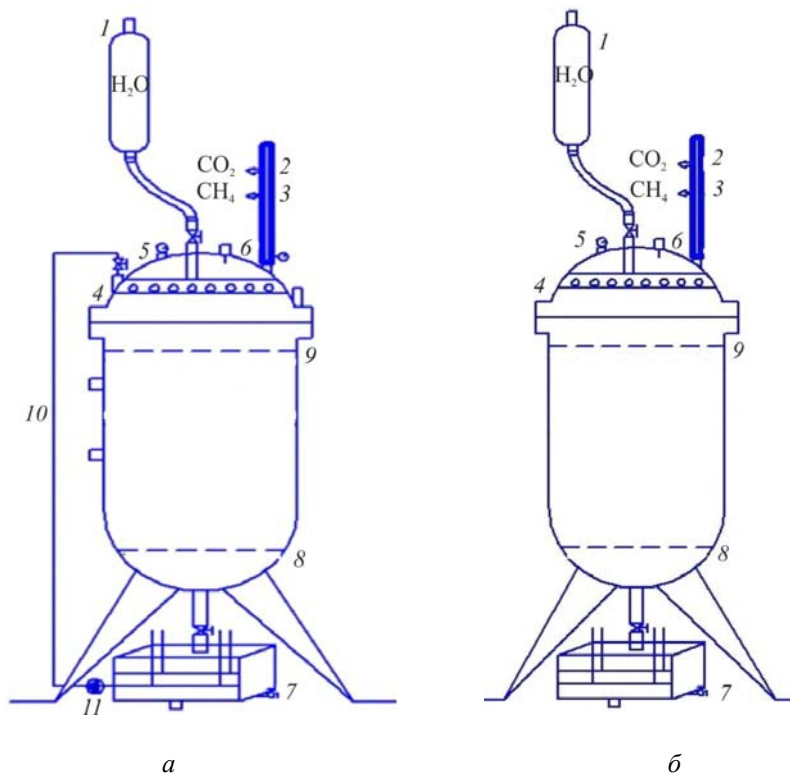


Рис. 3. Биореактор: *а* – с рециркуляцией фильтрата; *б* – без рециркуляции; 1 – емкость для воды; 2, 3 – датчик для определения содержания углекислого газа и метана; 4 – крышка; 5 – датчик давления; 6 – термомпара; 7 – емкость для сбора фильтрата; 8 – решетка; 9 – уровень загруженных отходов; 10 – труба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

Отбор проб производился по глубине с интервалом 0,5–1,0 м, посредством ковшового экскаватора на полигоне г. Краснокамска. Возраст отходов определяли на основании сроков годности и дат изготовления, указанных на упаковках продуктов при исследовании, и составил примерно 3–4 года.

Усредненный морфологический состав (%) отходов полигона ТКО г. Краснокамска следующий:

полимеры .....	28,26
бумага .....	12,23
стекло .....	9,17
дерево .....	7,92
текстиль.....	6,54

камни.....	4,75
металл.....	2,52
прочее .....	9,34
свалочные новообразования.....	19,25

Подготовка проб включала в себя: усреднение пробы, отсеивание инертных компонентов (стекло, камни, металл и т.д.), просеивание отходов через сито 100 мм.

Перед загрузкой отходов в биореакторы определялись вес и влажность образцов. Масса отходов в биореакторах в пересчете на сухое вещество составила: в биореакторе № 1  $m = 55,78$  кг, биореакторе № 2  $m = 55,48$  кг и в биореакторе № 3  $m = 63,01$  кг.

Подготовленные пробы отходов помещали в три биореактора и уплотняли, далее добавляли воду до полного водонасыщения отходов. Технология лабораторного моделирования состоит в том, что исследуемый материал помещают в герметично закрытый биореактор, в котором поддерживается мезофильный режим ( $T = 40$  °С), соответствующий условиям полигона. Влажность обеспечивается добавлением свежей воды.

Накапливаемый объем биогаза из биореакторов измеряется барабанным газосчетчиком, компонентный состав биогаза – переносным мультигазовым газосигнализатором «Комета-М» серии ИГС-98. Отбор фильтрата проводится раз в неделю для определения следующих показателей: рН, электропроводность, содержание аммонийного азота, ХПК. После отбора накопленного объема биогаза масса отходов увлажняется. В биореакторах № 1 и 2 увлажнение и ускорение процессов биоразложения отходов проводится за счет рециркуляции фильтрата, в № 3 – орошения водопроводной водой. Количество добавляемой воды должно быть адекватно количеству отбираемого фильтрата. Образование объема биогаза наиболее эффективно при рециркуляции фильтрата два раза в неделю, исходя из ранее проведенных исследований польскими учеными [7–15].

Суммарный объем образования биогаза представлен на рис. 4. Для биореакторов № 1 и 2 представлено усредненное значение, так как условия проведения эксперимента были аналогичными. Полученные данные были пересчитаны на нормальные условия.



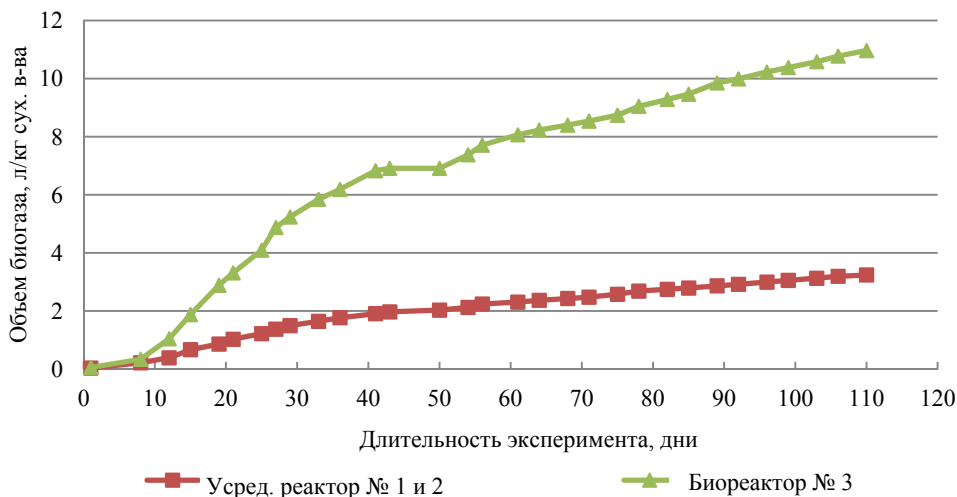


Рис. 4. Суммарный объем образования биогаза

На данный момент процесс газообразования в биореакторах продолжается. Построенные на основании полученных результатов графики показывают, что при орошении увеличивается объем образующегося биогаза. Следовательно, можно сделать предварительные выводы, что при орошении увеличивается влажность и соответственно скорость биохимического разложения отходов. Рециркуляция фильтрата может повлиять на объем образования биогаза, вследствие ингибирования метаногенеза, за счет высокой концентрации органических кислот ( $\text{pH} = 6$ ), которые могут быть токсичны для метанообразующих бактерий [7–15]. Удельное образование биогаза представлено на рис. 5.

Как видно на рис. 5, максимальное образование биогаза происходит в период с 8-го по 29-й день, что объясняется составом загруженных отходов. Пик эмиссии может быть вызван выделением биогаза быстроразлагающимися отходами (пищевые остатки) [13–15].

Результаты измерения компонентного состава для биореактора № 3 представлены на рис. 6.

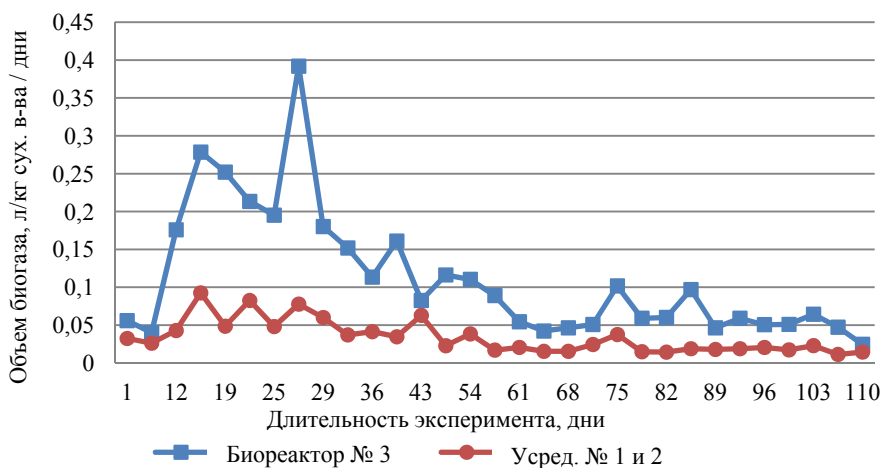


Рис. 5. Удельное образование биогаза

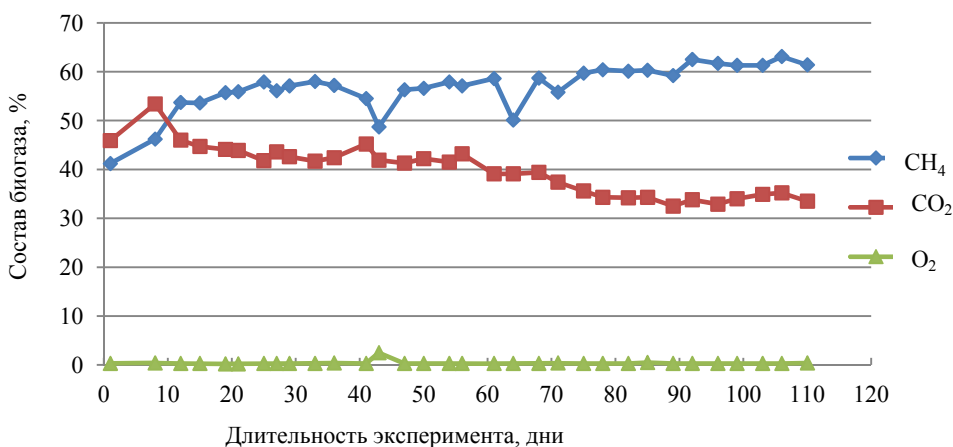


Рис. 6. Компонентный состав биогаза биореактора № 3

Содержание метана в биогазе изменяется в следующих пределах: биореактор № 1: 7,1–58 %; биореактор № 2: 10,2–58,1 %; биореактор № 3: 42,2–59 %.

Содержание углекислого газа в биогазе изменяется в пределах: биореактор № 1: 26,1–42,9 %; биореактор № 2: 41,6–48,4 %; биореактор № 3: 41,7–53 %.

**Выводы.** Биогаз, образующийся при анаэробном разложении органической составляющей отходов на полигонах ТКО, состоит из 98 % метана и углекислого газа, эти вещества при выходе в атмосферу загрязняют ее, а также усиливают парниковый эффект.

Основными факторами, влияющими на образование биогаза, являются влажность и температура.

Рассмотрена классификация методов управления метаногенезом. В связи с тем, что предварительный метод обработки отходов перед захоронением в России не используется, для управления эмиссиями биогаза на действующих полигонах целесообразно применять метод контролируемого орошения за счет рециркуляции фильтрата. Метод позволяет увеличить влажность ТКО, также способствует более плотной укладке отходов, интенсификации процессов метаногенеза.

Лабораторные исследования процесса метаногенеза, осуществляемые в условиях, имитирующих разложение отходов в теле полигона ( $T = 40^\circ\text{C}$ ,  $P = 735\text{--}746$  мм рт. ст.), показали, что при рециркуляции фильтрата объем образования биогаза ниже, чем при орошении водой. В биореакторе № 3, в котором происходит орошение массы отходов водой, объем образующегося биогаза в 3 раза больше, чем в биореакторах № 1 и 2. Результаты оценки эффективности применения рециркуляции фильтрата и определения оптимальных параметров процесса контролируемого орошения показали, что необходимо продолжать исследования.

### Библиографический список

1. Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения ТБО: моногр. / Я.И. Вайсман [и др.]; под ред. Я.И. Вайсмана. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 259 с.
2. Беспалов В.И., Адамян Р.Г. Анализ условий образования биогаза на полигоне по захоронению твердых отходов потребления [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 2 (25). – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-usloviy-obrazovaniya-biogaza-na-poligone-po-zahoroneniyu-tverdyh-othodov-potrebleniya> (дата обращения: 18.06.2015).
3. Калюжина Е.А., Самарская Н.С. Экологические особенности воздействия полигонов твердых бытовых отходов на состояние окружающей среды в районах их расположения [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 2 (30). – URL: [http://sgm-oil.ru/articles/konkurs2/nominatsia4/article\(shaimova\).pdf](http://sgm-oil.ru/articles/konkurs2/nominatsia4/article(shaimova).pdf) (дата обращения: 23.06.15).
4. Беспалов В.И., Адамян Р.Г. Задачи выбора территории для полигонов по захоронению ТБО в условиях г. Еревана Республики Армения // Научное обозрение. – 2013. – № 2. – С. 158–161.
5. Баадер В., Доне Е. Биогаз: теория и практика. – М.: Колос, 1982. – 184 с.

6. Беспалов В.И., Адамян Р.Г. Оценка условий размещения полигонов по захоронению твердых отходов потребления (ТОП) // *European Applied Sciences*. – ORT Publishing (Германия), 2013.

7. Управление отходами. Полигонные технологии захоронения твердых бытовых отходов. Рекультивация и постэксплуатационное обслуживание полигона: моногр. / Я.И. Вайсман [и др.]; под ред. Я.И. Вайсмана. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 244 с.

8. Kong I.C. Bioassessments of anaerobically decomposing organic refuse in laboratory lysimeters with and without leachate recycling and pH adjustment // *Journ. of Waste Management & Research*. – 2010. – № 28. – P. 141–148.

9. Rees J.F. The fate of carbon compounds in the landfill disposal of organic matter // *Journ. of Chemical Technology and Biotechnology*. – 1980. – Vol. 30. – P. 121–127.

10. Debra R. Reinhart Full-scale experiences with leachate recirculating landfills: case studies // *Journ. of Waste Management & Research*. – 1996. – Vol. 14. – P. 247–365.

11. Buivid M.G. Laboratory Simulation of fuel gas production enhancement from municipal Solid Waste landfills / Dynatech R and D Co. – Cambridge, MA, 1980.

12. Enhancing biogas production from anaerobic biodegradation of the organic fraction of municipal solid waste through leachate blending and recirculation / A. Nair, M. Sartaj, K. Kennedy, N.M.G. Coelho // *Journ. of Waste Management & Research*. – 2014. – Vol. 32(10). – P. 939–946.

13. Ledakowicz S., Kaczorek K. Laboratory Simulation of Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste // *Journal of environmental science and health. Part A. Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*. – 2004. – Vol. A39, no. 4. – P. 859–871.

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

15. Yuen S.T.S. Bioreactor landfills: Do they work? // *Journ. of Geoenvironment 2001: 2nd ANZ Conference on Environmental Geotechnics*. – Newcastle, Australia, 28-30 November 2001. – P. 345–354.

## References

1. Vajsman Ya.I. [et al.]. *Upravlenie otkhodami. Stochnyie vody i biogaz poligonov zakhoroneniya TBO* [Waste Management. Sewage and landfill gas MSW landfills]. Perm: Izdatelstvo Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta, 2012. 259 p.

2. Беспалов В.И., Адамян Р.Г. Анализ условий образования биогаза на полигоне по захоронению твердых отходов потребления [Analysis of the conditions of formation of landfill gas at the landfill for the disposal of solid waste consumer]. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2013, no. 2 (25), available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-usloviy-obrazovaniya-biogaza-na-poligone-po-zahoroneniyu-tverdyh-otkhodov-potrebleniya> (accessed 18 June 2015).

3. Kalyuzhina E.A., Samarskaya N.S. *Ekologicheskie osobennosti vozdeystviya poligonov tverdykh bytovykh otkhodov na sostoyanie okruzhayushchej sredy v rayonakh ikh raspolozheniya* [Particularly the impact of environmental solid waste landfills on the

environment in the regions of their location]. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2014, no. 2 (30), available at: [http://sgm-oil.ru/articles/konkurs2/nominatsia4 /article \(shaimova\).pdf](http://sgm-oil.ru/articles/konkurs2/nominatsia4/article%20(shaimova).pdf) (accessed 23 June 2015).

4. Bepalov V.I., Adamyan R.G. Zadachi vybora territorii dlya poligonov po zakhoroneniyu TBO v usloviyakh g. Erevana Respubliki Armeniya [The task of choosing the territory to landfills for disposal of solid waste in conditions of Yerevan Republic of Armenia]. *Nauchnoe obozrenie*, 2013, no. 2, Moscow, pp. 158-161.

5. Baader E.V., Done E. Biogaz: teoriya i praktika [Biogas: Theory and Practice]. Moscow: Kolos, 1982. 184 p.

6. Bepalov V.I., Adamyan R.G. Otsenka uslovij razmeshcheniya poligonov po zakhoroneniyu tverdykh otkhodov potrebleniya (TOP) [Assessment of the conditions of accommodation landfills for disposal of solid waste consumption (TOP)]. *European Applied Sciences*. Germaniya: ORT Publishing, 2013.

7. Vajsman Ya.I. [et al.]. Upravlenie otkhodami. Poligonnyie tekhnologii zakhoroneniya tverdykh bytovykh otkhodov. Rekultivatsiya i postekspluatatsionnoe obsluzhivanie poligona. Perm: Izdatelstvo Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta, 2012. 244 p.

8. Kong I.S. Bioassessments of anaerobically decomposing organic refuse in laboratory lysimeters with and without leachate recycling and pH adjustment. *Journ. of Waste Management & Research*, 2010, 28, pp. 141–148.

9. Rees J.F. The fate of carbon compounds in the landfill disposal of organic matter. *Journ. of Chemical Technology and Biotechnology*, 1980, vol. 30, pp. 121–127.

10. Debra R. Reinhart Full-scale experiences with leachate recirculating landfills: case studies. *Journ. of Waste Management & Research*, 1996, vol. 14, pp. 247–365.

11. Buiuid M.G. Laboratory Simulation of fuel gas production enhancement from municipal Solid Waste landfills. *Dynatech R and D Co*. Cambridge, MA, 1980.

12. Nair A., Sartaj M., Kennedy K., Coelho N.M.G. Enhancing biogas production from anaerobic biodegradation of the organic fraction of municipal solid waste through leachate blending and recirculation. *Journ. of Waste Management & Research*, 2014, vol. 32(10), pp. 939–946.

13. Ledakowicz S., Kaczorek K. Laboratory Simulation of Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste. *Journal of environmental science and health Part A – Toxic. Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 2004, vol. A39, no. 4, pp. 859–871.

14. Lillepyarg E.R. Metodika opredeleniya energeticheskogo potentsiala poligonov tverdykh bytovykh otkhodov [Method for determining the energy potential of solid waste landfills]. Saint Petersburg, 2004. 150 p.

15. Yuen S.T.S. Bioreactor landfills: Do they work? *Journ. of Geoenvironment 2001: 2nd ANZ Conference on Environmental Geotechnics*. Newcastle, Australia, 28–30 November 2001, pp. 345–354.

Получено 28.10.2015

**K. Miniakhmetova, Yu. Zavizion,  
Ya. Zhilinskaya, N. Slyusar**

**STUDY OF LANDFILL GAS GENERATION IN LABORATORY  
CONDITIONS TO JUSTIFY BASIC PARAMETERS  
OF THE METHANOGENESIS CONTROLL TECHNOLOGY  
UNDER CONTROLLED IRRIGATION**

Disposal of municipal solid waste at landfills accompanied by negative impacts on the environment such as air pollution, soil, water and groundwater degradation. The landfill gas produced during the anaerobic decomposition of waste, excreted into the environment, contribute to the greenhouse effect. That's why, the management of landfill gas emissions is an urgent task. The article describes the methods of metanogenesis management: preliminary aimed at reducing the amount of biodegradable waste going to the landfill, as well as the methods used directly during the operation of municipal solid waste landfills. It is also presented the interim results of the study of landfill gas generation in the laboratory in order to support the basic parameters of technology of methanogenesis control under controlled irrigation of municipal solid waste taken at landfill in Krasnokamsk. Laboratory simulation performed in bioreactors under conditions simulating decomposition of waste at the landfill ( $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 735\text{-}746\text{ mm Hg}$ ). The recycling effect of the leachate is to increase the moisture content of waste, which accelerates their biodegradability. Preliminary results showed that the leachate recirculated to the bioreactors biogas volume is lower than in water irrigation approximately to 3 times.

**Keywords:** municipal solid waste landfill (MSW), MSW landfill, landfill gas, methanogenesis, leachate.

*Миниахметова Кристина Эдуартовна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: cristyusha\_mini@mail.ru).*

*Завизион Юлия Владимировна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: juliagubaha@mail.ru).*

*Жилинская Яна Андреевна (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: yana@eco.pstu.ac.ru).*

**Слюсарь Наталья Николаевна** (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: nnslyusar@gmail.com).

**Miniakhmetova Kristina** (Perm, Russian Federation) – Postgraduate, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: cristyusha\_mini@mail.ru).

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

**Zhilinskaya Yana** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: yana@eco.pstu.ac.ru).

**Slyusar Nataliya** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: nnslyusar@gmail.com).