



УДК 502.3, 504.062:579.64:662.767.2:663.18

doi:10.23968/2305-3488.2017.19.1.54-62

С. В. Ковшов, А. Н. Скамьин

ПЕРСПЕКТИВНАЯ МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА И БИОГУМУСА. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД

UDC 502.3, 504.062:579.64:662.767.2:663.18

doi:10.23968/2305-3488.2017.19.1.54-62

Kovshov S. V., Skamyin A. N.

PROMISING METHODS OF OBTAINING OF BIOGAS AND VERMICOMPOST. EXPERIMENTAL STAND

Аннотация

Введение: в условиях постоянно растущих объемов отходов, а также возрастающих экологических требований к их переработке, традиционные методы биогазовой и зоогенной переработки отходов оказываются недостаточно эффективными. **Цель:** создание, обоснование и исследование параметров биогенной системы на основе одновременного использования биогазовой и вермитехнологии. **Методы:** создан экспериментальный стенд, на котором технологически были объединены в один блок методы получения биогаза и вермитехнологический метод. **Результаты:** исследования показали, что совместное использование биогазовой технологии и вермитехнологии может значительно повышать эффективность переработки органических отходов по сравнению с биогазовой и зоогенной технологиями, применяемыми по отдельности. Выявлено, что метановое брожение протекает при средних и высоких температурах. Наибольшая производительность достигается при термофильном метановом брожении. Особенность метанового консорциума позволяет сделать процесс брожения непрерывным. Для нормального протекания процесса анаэробного сбражи-

Abstract

Introduction: In the conditions of constantly growing volumes of waste and increasing environmental requirements of the waste processing, the traditional methods of biogas and zoogenic processing of waste are insufficient. **Purpose:** To create, to substantiate and to study the parameters of biogenic system based on the simultaneous use of biogas and vermiculture technology. **Methods:** an experimental set, in which methods of obtaining of biogas and vermiculture technologies method was technologically combined into one unit. **Results:** it is expected that the combined use of biogas technology and vermiculture will greatly enhance the efficiency of processing of organic waste compared to biogas and biogenic technologies applied separately. It is revealed that methane fermentation is carried out at medium and high temperatures. The best performance is achieved with thermophilic methane fermentation. The peculiarity of the methane consortium allows to make the fermentation process in continuous mode. For the normal course of anaerobic digestion process the following optimal conditions are required: temperature; anaerobic conditions; a sufficient concentration of nutrients; the allowable range

вания необходимы следующие оптимальные условия: температура, анаэробные условия, достаточная концентрация питательных веществ, допустимый диапазон значений pH, отсутствие или низкая концентрация токсичных веществ. **Практическая значимость:** предполагается, что новый комбинированный метод использования биогазовой технологии и вермитехнологии с целью получения дополнительной энергии позволит заметно снизить расход органического топлива для выработки электроэнергии и увеличить КПД реактора. Данный метод также может эффективно использоваться для переработки отходов животноводческих предприятий и для переработки органических отходов семейных подворий в сельской местности, что позволит обеспечить их дополнительной энергией и ценными удобрениями.

Ключевые слова: биогаз, вермитехнология, вермикомпост, ферментация, бурт, возобновляемая энергия, бытовые отходы.

Наши авторы

Ковшов Станислав Вячеславович

Кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности производств

Санкт-Петербургского Горного университета 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д. 2

Тел. 8 (812) 328-86-23

Эл. адрес: kovshovsv@spmi.ru

Скамьин Александр Николаевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики и электромеханики

Санкт-Петербургского Горного университета 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д. 2

Тел. 8 (812) 328-86-23

Эл. адрес: askamin@yandex.ru

of pH values, the absence or low concentration of toxic substances. **Practical relevance:** it is suggested that the new combined method of using biogas technology and vermitechnology will significantly reduce the consumption of fossil fuels to generate electricity and will increase efficiency. One of the directions of the new method may be waste management of the livestock enterprises. Also promising is the use of this method in the rural areas for family farms waste processing, which will provide these farms with an additional energy and valuable fertilizers.

Keywords: Biogas, Vermitechnology, Vermicompost, Fermentation, Shoulders, Renewable Energy, Waste, Waste to Energy Processes.

Authors

Kovshov Stanislav Vyacheslavovich

Ph.D., Associate Professor, Department of Industrial Safety,

National Mineral Resources University (University of Mines),

21 Line, 2, 199106, St. Petersburg, Russia

Tel. 8 (812) 328-86-23

E-mail: kovshovsv@spmi.ru

Skamyin Aleksandr Nikolaevich

Ph.D., Associate Professor, Department of Electrical Power Engineering and Electromechanics,

National Mineral Resources University (University of Mines),

21 Line, 2, 199106, St. Petersburg, Russia

Tel. 8 (812) 328-86-23

E-mail: askamin@yandex.ru



Введение

Отношение к охране окружающей среды вообще и к утилизации отходов, в частности, становится одним из основных показателей уровня развития страны. Ежегодно в мире на свалки отправляются миллиарды тонн отходов, а перерабатывается лишь незначительная их часть, даже в развитых странах — 10–30% [1]. Не исключением из этого правила является и ситуация в г. Санкт-Петербурге.

Проблема отходов производства и потребления в конкретных условиях г. Санкт-Петербурга определяется следующими особенностями:

- постоянный рост численности населения порождает рост образования отходов;
- увеличение доли материалов одноразового пользования;
- существующая система захоронения отходов представлена всего 10 полигонами и 27 санкционированными свалками, что с учетом их наполняемости, не соответствует требованиям города;
- система переработки отходов представлена всего 5 заводами, пропускная способность которых не может покрыть даже 10% образующихся отходов;
- расположение полигона твердых бытовых отходов в самом центре города (в районе набережной Обводного канала, д. 14), что крайне снижает экологическую, эстетическую и экономическую привлекательность этой части города.

За последние десятилетия создано немало научных трудов, отражающих специфику образования, размещения, хранения и переработки различных типов отходов [2 – 4]. Данная сфера изучения стала по-настоящему мультинаучной: ею занимаются и экологи, и географы, и экономисты, и технологи, и даже юристы. Крупнейшими отечественными и зарубежными учеными, системно отражающими свои научные подходы в данной сфере являются В. И. Сметанин, В. М. Гарин, Ю. В. Шувалов, Н. С. Пронкин, Р. С. Кузьмин, В. И. Коробко, В. А. Льюцци, Р. Цудекчис, С. Уолкер и др.

Однако в современной научной литературе и нормативной документации роли биогенных методов переработки органических отходов уделяется крайне малое внимание. Ранее мы предлагали биогенный метод для восстановления земель, загрязнённых ракетным топливом [5].

Также существенной проблемой в данной сфере является однобокий подход к технологиям биогенной переработки: одни ученые «ратуют» за биогазовое направление [6 – 8], другие за зоогенную переработку отходов [9 – 11]. Но в единую взаимосвязанную систему эти направления не сводились. Создание, обоснование и исследование параметров биогенной системы на основе одновременного использования биогазовой и вермитехнологии — актуальная задача, особенно в условиях г. Санкт-Петербурга, где стоят существенные проблемы фактического отсутствия альтернативных источников энергии и улучшения свойств крайне бедных почв региона.

Описание стадии получения биогаза

На основе мирового и российского опыта получения биогаза пиролизным, свалочным и стандартным методами на базе кафедры безопасности производств

Санкт-Петербургского горного университета разрабатывается новое направление карьерного способа получения биогаза — с помощью биогазовой технологии и вермитехнологии. В его основе лежит проектирование специального бурта (рис. 1), в котором одновременно осуществляется целый комплекс процессов, целью которых является получение энергетически ценных материалов – биогаза и высокопродуктивного удобрения – биогумуса.

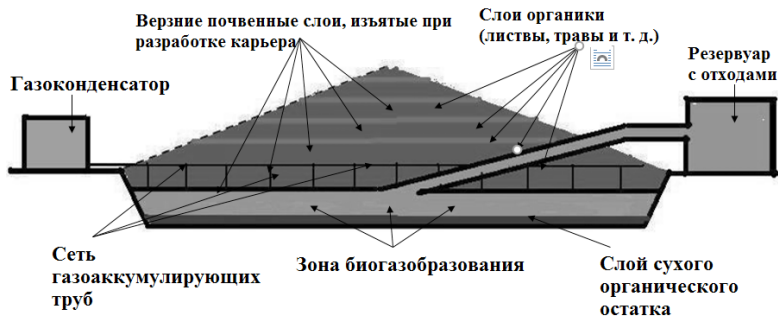


Рис. 1. Принципиальная схема бурта, сформированного на месте отработанного карьера

Fig. 1. The scheme of shoulder formed on the spent career

Для выработки биогаза необходимо заложить бурт мощностью не менее 10 метров. В качестве субстрата для заполнения бурта предлагаем использовать легкоразлагаемую органическую фракцию отходов. Разложение этих отходов завершается в течение 2–4 лет, что вполне удовлетворяет времени хранения грунта, а также способствует ускорению процесса образования биогаза. Легкоразлагаемыми органическими отходами являются такие как древесные и волокнистые материалы: кора, опилки, стружка, сено, листва, солома, а также пищевые отходы и проч.

Как известно, биогаз — это смесь газов. Его основные компоненты: метан CH_4 — 55–70 % и углекислый газ CO_2 — 28–43 %, а также в очень малых количествах другие газы, например – сероводород H_2S [12]. В среднем 1 кг органического вещества, биологически разложимого на 70 %, производит 0,18 кг метана, 0,32 кг углекислого газа, 0,2 кг воды и 0,3 кг неразложимого остатка.

Скорость образования биогаза зависит от влажности субстрата, кислотности (pH) и температуры. Для переработки легкоразлагаемых отходов оптимальная влажность находится в диапазоне от 60 до 85 %. Выделяют два наиболее оптимальных температурных режима для процесса биоконверсии. Первый интервал: мезофильный (т. к. работают мезофильные бактерии) — 25–38°C (оптимальная температура 37°C). Второй интервал: термофильный, (т. к. работают термофильные бактерии) — 45–60°C (оптимальная температура 56°C).

В основе биогазовых технологий лежат сложные природные процессы биологического разложения органических веществ в анаэробных условиях под воз-



действием особой группы анаэробных бактерий [13]. Метанобразующие бактерии (метаногены) – морфологически разнообразная группа, объединяемая двумя общими для всех ее представителей признаками: облигатным анаэробизмом и способностью образовывать метан. Первые исследования чистых культур, выделенных из рубца жвачных животных, показали, что рост их возможен при начальном окислительно-восстановительном потенциале среды ниже 300 мВ. Рост некоторых видов полностью подавляется при содержании в газовой фазе более 0,004 % молекулярного кислорода. В последнее время однако описаны виды с относительно низкой чувствительностью к O_2 . Большинство метанобразующих бактерий имеют температурный оптимум для роста в области 30–40 °С, то есть являются мезофилами, но есть виды, у которых оптимальная зона сдвинута в сторону более низких (25 °С) или высоких (55–65 °С) температур. Все известные представители этой группы — нейтрофилы с оптимальным рН в области 6,5–7,5 [14].

Для дегазации предпочтительнее создать сеть горизонтальных коллекторов (рис. 2, 3). Горизонтальные системы для сбора биогаза должны быть размещены в поверхностных слоях на глубине 2–4 м. Трубопровод лучше всего изготавливать из полиэтилена высокой плотности. Минимальный диаметр используемых труб составляет 100 мм. При заглубленном расположении трубы закладываются в вырытые в слое субстрата траншеи глубиной не менее 900 мм и обсыпаются гравием или песком слоем до 500 мм. Затем траншея вновь засыпается слоем субстрата. Минимальный наклон горизонтальных трубопроводов составляет 4 угловых градуса в пределах участка бурта, и 1 градус за его пределами.

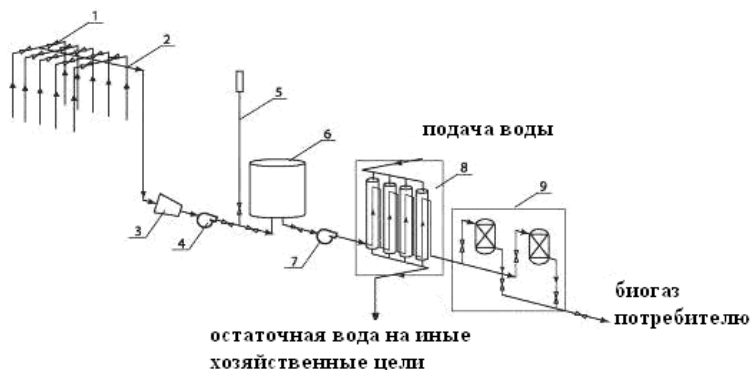


Рис. 2. Схема установки для извлечения и подготовки биогаза в бурте: 1 – система скважин; 2 – коллектор; 3 – конденсатоотводчик; 4, 7 – компрессор; 5 – свеча; 6 – газгольдер; 8 – абсорбционная установка; 9 – установка для глубокой осушки газа

Fig. 2. Installation scheme for the extraction and preparation of biogas in the shoulder: 1 – a system of wells; 2 – collector; 3 – the trap; 4, 7 – compressor; 5 – candle; 6 – gasholder; 8 – absorption unit; 9 – the gas deep drying unit.

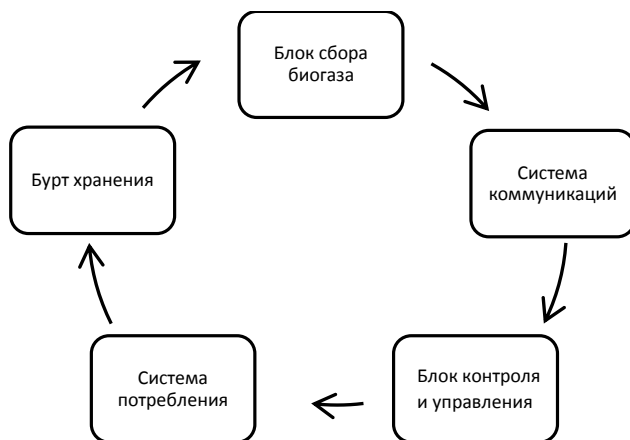


Рис. 3. Схема сбора и использования биогаза

Fig. 3. The scheme for the collection and use of biogas

В качестве сырья для производства биогаза и подготовки рекультивационного субстрата можно использовать осадки сточных вод, что весьма ценно в условиях таких крупных городов, как Санкт-Петербург. Метод анаэробного сбраживания наиболее приемлем для переработки отходов с точки зрения гигиены и охраны окружающей среды, так как обеспечивает наибольшее обеззараживание и устранение патогенных микроорганизмов. Тем самым решаются два важных вопроса: во-первых, использование бишлама непригодного в качестве органического удобрения для агрокультуры и, во-вторых, появление качественного сырья для рекультивации техногенно нарушенных земель.

Описание стадии вермитехнологии

Второй важнейший компонент предлагаемой системы переработки органических отходов — это применение вермитехнологии. Данная биотехнология представляет собой комплекс организационно-технологических мероприятий по культивированию дождевых компостных червей на разных субстратах в конкретных экологических условиях, обработке и применению копролита и биомассы червей.

Процесс переработки органических отходов с использованием дождевых червей стал называться вермикультивированием, а полученный продукт — вермикомпостом или биогумусом [15]. Характерной чертой этой биотехнологии является возможность переработки червем широкого ассортимента органических отходов: навоз всех видов животных, помет, осадки очистных сооружений, отходы сельскохозяйственного и горноперерабатывающих производств [16].

На основе имеющегося мирового и собственного производственного опыта на базе лабораторий Горного университета разработана физическая модель траншейной биогазовой установки с включением элементов вермитехнологии (рис. 4).

Модель состоит из 2 систем: биогазовой и вермитехнологической.

Биогазовая система представлена следующими элементами:

- 1 – бункер подачи отходов;
- 2 – входящий манометр;



Рис. 4. Физическая модель биогазовой установки

Fig. 4. A physical model of the biogas set

- 3 – биореактор;
- 4 – зона газоконденсации;
- 5 – исходящий манометр;
- 6 – газоаккумулятор.

Вермитехнологическая система:

- 7 – вермитехнологический бункр;
- 8 – готовый биогурус;
- 9 – остатки непереработанных твердых органических отходов.

Полученная модель позволила в лабораторных условиях провести ряд экспериментов для исследования переработки жидких и твердых органических отходов с помощью биогазовой технологии (рис. 5), а также процесса переработки твердых органических отходов с помощью вермитехнологии. В качестве субстрата предполагается использовать навоз крупного рогатого скота и птицы, а также сточные воды. Субстрат загружается через бункер 1 в биореактор 3, где идет процесс анаэробного сбраживания. Выделяющийся газ конденсируется в зоне газоконденсации

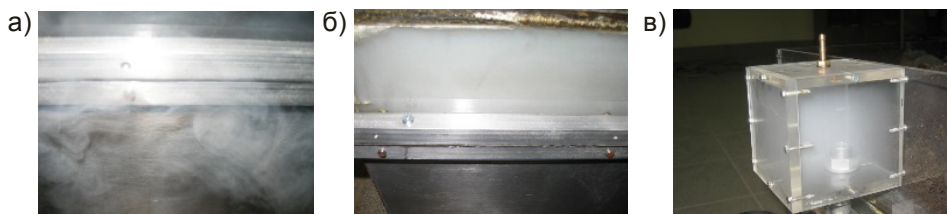


Рис. 5. Процессы газообразования (а), газоконденсации (б) и газоаккумуляции (в) при ферментации органических отходов в бурте.

Fig. 5. The processes of gassing, gas-condensation and gas-accumulation in the fermentation of organic waste in the shoulder

ции 4. Давление газа контролируется по манометрам 2 и 5. В бурте 7 одновременно с биогазовой стадией идёт вермитехнологический процесс.

Проведенные исследования подтвердили общие принципы протекания биогазового процесса даже в лабораторных условиях.

Получение биогаза экономически оправдано и является предпочтительным при переработке постоянного потока отходов, т. к. нет нужды в предварительном сборе отходов, в организации и управлении их подачей, при этом известно, сколько и когда будет получено отходов.

Заключение

Собранный уникальный экспериментальный стенд позволяет осуществить одновременное совместное применение биогазового и вермитехнологического методов переработки отходов. Предполагается, что в отличие от биогазовой и зоогенной технологии, применяемых по отдельности, данный метод позволит получить большее количество биогаза и биогумуса как ценного удобрения. Таким образом, предложенная технология является перспективной в современных условиях. Дальнейшие исследования будут направлены на доказательство энергоэффективности предложенной установки.

Статья подготовлена на основе научных исследований, проводимых при поддержке стипендиальной программы Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов.

Литература

1. Елдышев, Ю. Н. (2003), "Отходы: не зарывать, а перерабатывать", *Экология и жизнь*, № 1. С. 52–56.
2. Krook, J., Svensson, N., Eklund, M. (2012), "Landfill Mining: A Critical Review of two Decades of Research", *Waste Management*, vol. 32, no. 3, pp. 513–520.
3. Pires, A., Martinho, G., Chang, N.-B. (2011), "Solid Waste Management in European countries: A review of Systems Analysis Techniques", *Journal of Environmental Management*, vol. 92, no. 4, pp. 1033–1050.
4. Zhang, L. (2013), "Production of Bricks from Waste Materials – A review", *Construction and Building Materials*, vol. 47, pp. 643–655.
5. Kovshov, S. V., Garkushev, A. U., Sazykin, A. M. (2015), "Biogenic Technology for Recultivation of Lands Contaminated due to Rocket Propellant Spillage", *Acta Astronautica*, vol. 109, pp. 203–207.
6. Karellas, S., Boukis, I., Kontopoulos G. (2010), "Development of an Investment Decision Tool for Biogas Production from Agricultural Waste", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, is. 4, pp. 1273–1282.
7. Nikulin, A. N., Epifancev, K. V., Kovshov, S. V., Korshunov, G. I. (2014), "The research of possibility to use the Machine for Biofuel Production as a Mobile Device for Poultry Farm Waste Recycling". *Life Science Journal*, vol. 11, no. 4, pp. 464–467.
8. Ofoefule, A. U., Nwankwo, J. I., Ibet, C. N. (2010), "Biogas production from Paper Waste and its Blend with Cow Dung", *Advances in Applied Science Research*, vol. 1, no. 2, pp. 1–8.
9. Boyer, S., Wratten, S. D. (2010), "The Potential of Earthworms to Restore Ecosystem Services after opencast Mining – A review", *Basic and Applied Ecology*, vol. 11, is. 3, pp. 196–203.
10. Gupta, R., Garg, V.K. (2011), "Potential and possibilities of Vermicomposting in Sustainable Solid Waste Management: a Review", *International Journal of Environment and Waste Management*, vol. 7, no. 3–4, pp. 210 – 234.
11. Suthar, S. (2010), "Recycling of Agro-Industrial Sludge through Vermitechnology". *Ecological Engineering*, vol. 36, pp. 1028–1036.
12. Баадер, В., Доне, Е., Бренндерфер, М. (1982), *Биогаз: теория и практика*. М.: Колос, 148 с.



13. Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., Oleskowicz-Popiel, P. (2009), "The Future of Anaerobic Digestion and Biogas Utilization". *Bioresource Technology*, vol. 100, no. 22, pp. 5478–5484.
14. Баутин, В. М., Лазовский В. В. (2002), *Энергетика для села*. М.: ФГНУ Росинформагротех, 183 с.
15. Ali, U., Sajid, N., Khalid, A., Riaz, L., Rabbani, M. M., Syed, J. H., Malik R. N. (2015), "A Review on Vermicomposting of Organic Wastes", *Environmental Progress & Sustainable Energy*, vol. 34, no. 4, pp. 1050 – 1062.
16. Игонин, А. М. (2002), *Дождевые черви: как повысить плодородие почв в десятки раз, используя дождевого червя-«старателя»*. Ковров: Маштекс, 192 с.

References

1. Yeldishev, Yu. N. (2003), "Wastes: not to Bury, but Recycle", *Ecology and Life*, no. 1, pp. 52–56 (in Russian).
2. Krook, J., Svensson, N., Eklund, M. (2012), "Landfill Mining: A Critical Review of two Decades of Research", *Waste Management*, vol. 32, no. 3, pp. 513–520.
3. Pires, A., Martinho, G., Chang, N.-B. (2011), "Solid Waste Management in European countries: A review of Systems Analysis Techniques", *Journal of Environmental Management*, vol. 92, no. 4, pp. 1033–1050.
4. Zhang, L. (2013), "Production of Bricks from Waste Materials – A review", *Construction and Building Materials*, vol. 47, pp. 643–655.
5. Kovshov, S. V., Garkushev, A. U., Sazykin, A. M. (2015), "Biogenic Technology for Recultivation of Lands Contaminated due to Rocket Propellant Spillage", *Acta Astronautica*, vol. 109, pp. 203–207.
6. Karellas, S., Boukis, I., Kontopoulos G. (2010), "Development of an Investment Decision Tool for Biogas Production from Agricultural Waste", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, is. 4, pp. 1273–1282.
7. Nikulin, A. N., Epifancev, K. V., Kovshov, S. V., Korshunov, G. I. (2014), "The research of possibility to use the Machine for Biofuel Production as a Mobile Device for Poultry Farm Waste Recycling". *Life Science Journal*, vol. 11, no. 4, pp. 464–467.
8. Ofoefule, A. U., Nwankwo, J. I., Ibeto, C. N. (2010), "Biogas production from Paper Waste and its Blend with Cow Dung", *Advances in Applied Science Research*, vol. 1, no. 2, pp. 1–8.
9. Boyer, S., Wratten, S. D. (2010), "The Potential of Earthworms to Restore Ecosystem Services after opencast Mining – A review", *Basic and Applied Ecology*, vol. 11, is. 3, pp. 196–203.
10. Gupta, R., Garg, V.K. (2011), "Potential and possibilities of Vermicomposting in Sustainable Solid Waste Management: a Review", *International Journal of Environment and Waste Management*, vol. 7, no. 3-4, pp. 210 – 234.
11. Suthar, S. (2010), "Recycling of Agro-Industrial Sludge through Vermitechnology". *Ecological Engineering*, vol. 36, pp. 1028–1036.
12. Baader, V., Done E., Brennderfer, M. (1982), *Biogas: teoria i praktika* [Biogas: Theory and Practice]. Kolos. M., p. 148 (in Russian).
13. Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., Oleskowicz-Popiel, P. (2009), "The Future of Anaerobic Digestion and Biogas Utilization". *Bioresource Technology*, vol. 100, no. 22, pp. 5478–5484.
14. Bautin, V. M., Lazovskiy, V. V. (2002), *Energetika dlya sela* [Energy for the Village]. FGNU Rosinformaagroteh. M., p. 183 (in Russian).
15. Ali, U., Sajid, N., Khalid, A., Riaz, L., Rabbani, M. M., Syed, J. H., Malik R. N. (2015), "A Review on Vermicomposting of Organic Wastes", *Environmental Progress & Sustainable Energy*, vol. 34, no. 4, pp. 1050 – 1062.
16. Igonin, A. M. (2002), *Dozhdevye chervi: kak povysit plodorodie pochv v desyatki raz, ispol'zuya dozhdevogo chervya-"staratelya"* [Earthworms: How to Raise Soil Fertility in Dozens of Times Using Earthworm-"Prospector"]. Mashtex. Kovrov, p. 192 (in Russian).