

It was found that all three types of investigated substrates provide high survival rate of regenerated plants of both varieties, as well as good development of seedlings during adaption to non-sterile conditions. At the same time the length of the roots and shoots significantly affect both the variety and type of substrate for adaptation.

The mixture of peat with perlite is recommended as the most optimized substrate for adaptation of primocane raspberry varieties.

Поступила 12.01.15

УДК 631.879

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СБРОЖЕННОГО ОТХОДА БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ В КАЧЕСТВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ (АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

Л.Н. Иовик

*Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси,
г. Брест, Беларусь*

Биогазовые технологии являются относительным новшеством для Беларуси. В их основе лежит процесс анаэробного биоразложения органического вещества с образованием биогаза и сброженного осадка (отхода производства). При сжигании биогаза получают тепловую и электрическую энергию, а осадок используют как органическое удобрение [1, 2].

В настоящее время в республике функционируют 6 биогазовых установок (БГУ) по утилизации сельскохозяйственных отходов: на КСУП СГЦ «Западный» (Брестский район), РУП ППЗ «Белорусский» (Минский район), ОАО «Гомельская птицефабрика», СПК «Агрокомбинат «Снов» ОАО «Лань-Несвиж» (Несвижский район), СПК «Рассвет» (Кировский район).

В БГУ, расположенной на территории РУП «Селекционно-гибридный центр «Западный» Брестского района брожению подвергаются 4 вида отходов: навозные стоки (30%), твердая фракция отсепарированных на дуговых ситах навозных стоков с примесью отходов бойни (30%), отходы рыбного производства (20%), зерноотходы (10%) и жидкие ферментированные отходы (10%).

Следует отметить, что общепринятого единого названия у сброженного осадка нет. В отечественной и зарубежной литературе его обозначают различными терминами: эффлюент [3, 4], биоудобрение [5, 6], дигестат [7, 8], биогазовый осадок [9, 10], бишлам [11] и др.

При сепарировании эффлюента образуются твердая (шлам) и жидкая (фугат) фракции. Жидкая фракция содержит менее 5% сухого вещества и основное количество азота и калия [7]. Ее разбрызгивают на полях, либо отправляют на повторную загрузку анаэробного реактора, смешав с твердым сырьем [12]. Твердую фракцию компостируют с другими органическими отходами [7] либо смешивают с сорбентами: торфом, древесными опилками, землей и т.п. [5]. В таком виде шлам более удобен для хранения и транспортировки. После предварительного обезвоживания на центрифугах твердый отход применяют для разрыхления и мульчирования почвы, а также для приготовления почвогрунтов.

В западноевропейских странах твердую фракцию используют в производстве композиционных материалов и для получения энергии путем непосредственного сжигания [12].

Биогазовый эффлюент представляет собой органическую массу (влажностью 87–98% [9] и pH 7,3–9,0 [7]) улучшенного состава и практически лишенную неприятного запаха [13]. Ценность такой массы заключается в том, что азот в ней сохраняется в аммонийной (до 24% от общего количества N [1], по другим данным – до 50–75% [14], по третьим – до 60–80% [7]) и органической формах. Фосфор находится в основном в форме фосфатов и нуклеопротеидов, а калий – в виде усвояемых солей (что обеспечивает их лучшую усвояемость растениями). Причем в процессе ферментации содержание фосфора и калия практически не изменяется [1, 6, 13], однако количество усваиваемого фосфора удваивается [2, 7]. Некоторые исследователи, наоборот, считают, что эффлюент беден фосфором. Этот дефицит они рекомендуют восполнять минеральными удобрениями (например, суперфосфатом) [15]. Из других макроэлементов также присутствуют кальций (1,0–2,3%), магний (0,3–0,7%), сера (0,2–0,4%). Кроме того, сброженный осадок содержит микроэлементы, низкие концентрации тяжелых металлов [8, 9, 14], а также аминокислоты, ферменты гидролиза, нуклеиновые, гуминовые и органические кислоты (фульвокислоты), моносахариды, фитогормоны (гиберрилин, ауксин, цитокинины), витамины группы B, некоторые антибиотики и другие биологически активные вещества [1]. Таким образом, биогазовый осадок является источником легкоусвояемых для растений питательных веществ.

Как упоминалось ранее, осадок БГУ образуется в процессе анаэробного брожения биомассы (отходов сельскохозяйственного производства), которая изначально содержит микробную флору, яйца и личинки гельминтов, семена сорных растений. При мезо- (36 °C) и термофильном (54 °C) режиме сбраживания субстрат внутри реактора разогревается, что в свою очередь содействует гибели паразитов и сорняков [12, 16].

Исходя из вышесказанного, применение эффлюента в качестве удобрения должно способствовать увеличению урожайности сельскохозяйственных культур и улучшению качественных показателей почвы. Тем не менее, у ученых нет единого мнения по данным вопросам ввиду отсутствия достаточного количества сведений.

Исследования большинства ученых по влиянию на урожайность культур основываются на сравнении эффлюента с другими органическими и минеральными удобрениями.

По оценкам белорусских исследователей, органические удобрения на выходе БГУ способны повысить урожайность сельскохозяйственных культур по сравнению с традиционным навозом на 10–20% [17] (по другим данным на 20–30% [1, 2]), а в некоторых случаях даже до 100% [5]. Так, опыты со сброженным осадком, проведенные Институтом энергетики АПК НАН Беларуси, установили увеличение урожайности картофеля на 30%, многолетних злаковых газонных трав – в 3 раза, рассады капусты и томатов – на 12–15%, биомассы в целом – на 30–50% [1]. Эффективность эффлюента авторы объясняют биосинтезом биологических стимуляторов роста класса ауксинов, ускоряющих фиксацию CO₂ и, как следствие, более стремительным наращиванием зеленой массы и дополнительным запасанием солнечной энергии. По мнению других ученых действие осадка БГУ

равнозначно по сравнению с обычным навозом и эквивалентными по азоту дозами минеральных удобрений [18].

Российские ученые в своих исследованиях определили повышение урожайности кукурузы [4], клубней картофеля на 18%, злаковых газонных трав в 1,3 раза, рассады капусты и томатов на 12–15% [13].

Зарубежными учеными (Д.Я. Костенберг, G. Kocar, M.H. Chantigny, D.A. Angers, G. Belanger, P. Rochette, N. Eriksen–Hamel, S. Bittman и др.) также было выявлено возрастание урожайности и качества возделываемых культур по сравнению с традиционными органическими и минеральными удобрениями [19]: сафлора [21], сои [7], лука-порея [22], кукурузы [20], зерновых (пшеницы, ярового ячменя, овса) [7, 23], в том числе зерна [15]. Наблюдаемые изменения ученые связывают не только с доступностью питательных элементов, но и уменьшением плотности почвы, увеличением ее влагоудерживающей способности под воздействием сброженного осадка. Опыты итальянских исследователей [24] также свидетельствуют о возрастании урожайности овощных культур на 6–20%. Некоторые авторы рекомендуют использовать эффлюент для удобрения культур, имеющих короткий период развития, во время которого из почвы интенсивно поглощается азот (что позволяет свести к минимуму его потери) [15].

Другие ученые (P.P. Визла, Г.Е. Мерзлая, F. Montemurro, S. Canali, G. Convertini, D. Ferri, F. Tittarelli, C. Vitti и др.) в целом отмечают равноценное влияние на урожайность культур биогазового осадка и эквивалентных по азоту доз минеральных удобрений [10, 25, 26]. Однако при удобрении отдельных культур эффлюент действует более эффективно (например, для ежи сборной) [27].

Помимо питательных веществ, на величину урожая косвенным образом влияют свойства почвы и ее микробиологическая активность. Так как микробная биомасса является живым элементом, она наиболее чутко реагирует на происходящие почвенные изменения.

Результаты опытов А.И. Еськова и С.И. Тарасова (ВНИПТИОУ Россельхозакадемии) в условиях дерново–подзолистых, дерново-карбонатных, супесчаных и суглинистых почв Центра России, Латвии и Эстонии свидетельствуют о том, что действие биогазового эффлюента на физические, агрохимические, биологические и токсикологические свойства почвы не отличается от влияния нативного навоза [28, 29]. Они также не отмечают негативного воздействия на интенсивность дыхания, целлюлозоразрушающую и протеазную активность почвы.

Ряд зарубежных исследователей (S.O. Petersen, M. Odlare, M. Pell, K. Svensson и др.) утверждают, что применение сброженного осадка стимулирует рост почвенных микроорганизмов и их метаболическую деятельность (ввиду значительного количества содержащегося минерального и органического азота) [7, 15]. Как следствие, наблюдается возрастание скорости окисления аммиака, общей минерализации азота и денитрификации. Однако, по сравнению с влиянием минеральных удобрений, это увеличение несущественно. Как и российские ученые, эти авторы также не наблюдали негативного влияния эффлюента на почвенные процессы.

Другие зарубежные авторы (G. Ernst, A. Muller, H. Gohler, C. Emmerling и др.) наоборот отмечают незначительное содержание легкодоступных питательных элементов в сброженном осадке по сравнению с обычным навозом, что в свою очередь обуславливает снижение микробной активности и количества дождевых

червей [30]. Кроме того, исследования показывают уменьшение количества микроорганизмов, интенсивности нитрификации и базального дыхания.

При изучении влияния биогазового осадка на pH почвы как однолетние, так и многолетние исследования не выявили существенных изменений [15]. Несмотря на щелочной pH эффлюента, присутствующие в нем кислотные соединения (например, галловая кислота) взаимодействуют с почвенными коллоидами, трансформируются, в результате чего уменьшение кислотности практически не происходит.

Ввиду того, что в Беларуси биогазовые технологии внедрены относительно недавно (с 2008 г.), имеется недостаточно данных по влиянию эффлюента на физические, агрохимические, биологические и токсикологические свойства почвы в почвенно-климатических условиях республики. Следовательно, существует необходимость проведения дальнейшего исследования этих показателей.

Анаэробная переработка в метантенках БГУ влияет не только на доступность питательных элементов сбраживаемого сырья, но и на другие качественные показатели образующегося эффлюента.

Как упоминалось ранее, биогазовый осадок содержит значительно меньшее количество патогенов, а также личинок и яиц глистов [2, 13], по сравнению с традиционным навозом. Установлено, что обеззараживающий эффект тем выше, чем больше температура и время пребывания субстрата в реакторе. Таким образом, гибель болезнетворной микрофлоры и паразитов начинается уже при мезофильном режиме брожения (33–38 °С) и достигает максимума при термофильном (53–55 °С) [7].

Исследования белорусских ученых (Н.Ф. Капустина, С.Н. Поникарпчик, А.Н. Босаревского, Т.В. Старченко) подтверждают гибель яиц стронгилят и амбарных клещей, более чем в 2 раза уменьшение количества цист блантидий и практически полное отсутствие ооцист эймерий [16]. Результаты паразитологического анализа сброженной массы, проведенного в Полесском аграрно-экологическом институте, показали отсутствие жизнеспособных личинок стронгилят, яиц неоаскарисов и трихоцефал, а также снижение яиц стронгилят на 65% [31].

А.В. Каминский, С.С. Липницкий и М.П. Кучинский (Институт экспериментальной ветеринарии) отмечают уменьшение общего количества микробного загрязнения примерно на 50–65% [32]. Наличие поливирусов снижается на 98,5%, индекс *E. coli* – с 10^8 до 10^5 – 10^4 и яиц паразитов – на 90–100% [13]. Данные санитарно-бактериологического анализа Полесского аграрно-экологического института свидетельствуют о гибели патогенной микрофлоры, причем уровень загрязнения колиформами и клостридиумом находится в пределах нормы [31].

Зарубежные исследования также констатируют гибель 90% патогенов животных в анаэробной системе (Bendixen, 1994), значительное или полное уничтожение патогенов растений уже в мезофильных условиях (Zetterstrom, 2008; Lukehurst, 2010; Harnaldsson, 2008; Zetterstrom, 2008; Van Overbeek & Runia, 2011 и др.), а также отсутствие яиц гельминтов [8, 12].

Как видно, анаэробное сбраживание в метантенках БГУ позволяет снизить численность и распространение болезнетворных микроорганизмов и, как следствие, заболеваемость сельскохозяйственных животных.

Отходы сельскохозяйственного производства зачастую содержат большое количество семян сорняков. Например, в навоз они поступают с остатками корма,

сохраняя свою жизнеспособность даже после прохождения по пищеварительному тракту животных. Это обстоятельство значительно сокращает эффективность вносимых органических удобрений.

В нашей республике проводились исследования по влиянию анаэробной обработки на наличие жизнеспособных *семян сорных растений* в биогазовом осадке. Опыты В.С. Терещук (Институт защиты растений) показали, что со сброженным в БГУ навозом на поля поступает до 31% жизнеспособных семян сорняков (для сравнения, при обычном хранении навоза в течение 6 суток – 57% и 30 суток – 44%) [33]. Согласно исследованиям Н.Ф. Капустина (НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства) и других ученых, при мезофильном режиме брожения в течение 50–80 дней полностью гибнут семена сорняков [16].

Некоторые российские авторы также констатируют полное уничтожение семян в метантенках БГУ [13].

Последние исследования ученых Дании (Johansen и др., 2011) показывают, что анаэробное сбраживание в мезофильных условиях эффективно снижает всхожесть семян сорняков (*Brassica napus*, *Avena fatua*, *Sinapsis arvensis*, *Fallopia convolvulus*, *Amzincikia micranta*, *Chenopodium album*, *Solidago canadensis*) и обеспечивает их полную гибель на 11 день брожения [12]. Установлено, что в термофильных условиях гибель наступает быстрее, чем в мезофильных.

ВЫВОДЫ

На основании литературных данных следует, что сброженный отход биогазовых установок представляет собой жидкое органическое удобрение с высоким количеством питательных веществ в легкодоступной для растений форме, значительно очищенное от возбудителей заболеваний и сорняков. Применение эффлюента способствует снижению фитопатогенной нагрузки на почву, частичной замене применения дорогостоящих минеральных удобрений.

Ввиду активного строительства биогазовых установок в последние годы в Республике Беларусь, а, следовательно, увеличению количества образуемых сброженных отходов биогазового производства, существует необходимость дальнейшего изучения влияния эффлюента на свойства почвы, урожайность и качество возделываемых культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудкова, Л.К. Получение органических удобрений путем анаэробного сбраживания отходов сельскохозяйственного производства / Л.К. Гудкова, В.Ф. Пуляев, Т.В. Старченко // Аграрная энергетика в XXI столетии: материалы 3-й Междунар. научно-технич. конф., Минск, 21–23 ноября 2005 г. / НАН Беларуси, Ин-т энергетики АПК НАН Беларуси; редкол.: В.И. Русан [и др.]. – Минск, 2005. – С. 255–258.
2. Самосюк, В.Г. Биогазовые технологии в Беларуси: состояние и перспективы / В.Г. Самосюк, Н.Ф. Капустин, А.Н. Басаревский // Мех-ция и электр-ция сельск. хоз-ва: межведомст. тематич. сб. / НАН Беларуси, Научно-практич. центр НАН Беларуси по мех-ции сельск. хоз-ва. – Минск, 2011. – Вып. 45. – С. 234–240.

3. Balasubramanian, P.R. Biogas plant effluent as an organic fertilizer in monosex, monoculture of fish (*Oreochromis mossambicus*) / P.R. Balasubramanian // *Bioresource technology*. – 1996. – Vol. 55 (2). – P. 119–124.

4. Грицина, В.Г. Влияние органического биоудобрения КРС (эффлюента) на урожайность кукурузы на силос в Белгородской области / В.Г. Грицина // Молодежь и инновации – 2011: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Горки, 25–27 мая 2011г. / Белорус. гос. сельс.-хоз. Академия; редкол.: Курдеко А.П. [и др.]. – Горки, 2011. – Ч.1. – С. 148–150.

5. Использование биогазовых энергетических установок в АПК / В.А. Занкевич [и др.] // Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохоз. продукции: доклады Междунар. науч.-практич. конф., 14–15 апреля 2011 г.: в 2 ч. / Мин-во сельск. хоз-ва и продовольствия Республики Беларусь, Белор. гос. аграр. технич. ун-т, БРФФИ. – Минск, 2011. – Ч. 1. – С. 91–93.

6. Баран, А.Н. Биогазовые установки как средство улучшения экологии и получения энергии / А.Н. Баран, Е.А. Семенихина // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы Междунар. науч.-технич. конф., Минск, 23–24 октября 2009 г.: в 2 ч. / Мин-во сельск. хоз-ва и продовольствия Республики Беларусь, Белорус. гос. аграрный тех. ун-т. – Минск, 2009. – Ч. 1. – С. 80–81.

7. Macadi, M. Digestate: A New Nutrient Source – Review / M. Macadi // *Biogas*; ed. By S. Kumar. – Croatia: InTech, 2012. – P. 295–310.

8. What is digestate? / A. Schievano [et al.] // *Anaerobic Digestion: Opportunities for Agriculture and Anvironment*, Milano, January 24–25, 2008 / Regione Lombardia, Universita Degli studi di Milano: Ed. by F. Adani, A. Schievano, G. Bossalie. – Italy, 2009. – P. 7–18.

9. Arthurson, V. Closing the global energy and nutrient cycles through application of biogas residue to agricultural land – potential benefits and drawbacks / V. Arthurson // *Energies*. – 2009. – Vol. 2. – P. 226–242.

10. Abubaker, J. Biogas residues as fertilisers – effects on wheat growth and soil microbial activities / J. Abubaker // *Applied Energy*. – 2012. – Vol. 99. – P. 126–134.

11. Tiwari, V.N. Effect of crop residues and biogas slurry incorporation in wheat on yield and soil fertility / V.N. Tiwari, K.N. Tiwari, R.M. Upadhyay // *J. Indian Soc. Soil Sci.* – 2000. – Vol. 48. – P. 515–520.

12. Al Seadi, T. Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer // T. Al Seadi, C.T. Lukehurst. – IEA Bioenergy, 2012. – 38 p.

13. Чернышов, А.А. Совершенствование биогазовых установок для производства удобрений из навоза КРС: автореф. ... дис. канд. технич. наук: 05.20.01 / А.А. Чернышов; ГНУ ВИЭСХ. – М., 2004. – 27 с.

14. Kirchmann, H. Composition of fresh, aerobic and anaerobic farm animal dungs / H. Kirchmann, E. Witter // *Bioresour. Technol.* – 1992. – Vol. 40. – P. 137–142.

15. Svensson, K. The fertilizing effect of compost and biogas residues from source separated household waste / K. Svensson, M. Odlare, M. Pell // *J. Agric. Sci.* – 2004. – Vol. 142. – P. 461–467.

16. Качественные изменения экологических показателей навозных стоков в результате анаэробного сбраживания / Н.Ф. Капустин [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практич. конф., Минск, 21–22 октября 2009 г. / НАН Беларуси, Научно-практиче-

ский центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 46–49.

17. Клочков, А.В. Европейский опыт производства и использования биогаза // А.В. Клочков, Д.В. Кацер / Наше сельское хозяйство. – 2011. – № 1. – С. 71–76.

18. Лапа, В.В. Эффективность внесения органических удобрений, получаемых на выходе действующих биогазовых установок при возделывании кукурузы на дерново-подзолистых почвах / В.В. Лапа, Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева // Земляробства і ахова раслін. – 2011. – № 3 (76). – С. 24–27.

19. Агрохимическая характеристика и удобрительные свойства продуктов метанового брожения отходов животноводства / Д.Я. Костенберг [и др.] // Анаэробная биологическая обработка сточных вод: тез. докл. науч.-технич. конф. – Кишинев, 1988. – С. 158–159.

20. Rivard, C.J. Anaerobic digestion of municipal solid waste. Utility of process residues as a soil amendment / C.J. Rivard [et al.] // Rivard Appl. Biochem. Biotech. – 1995. – Vol. 51. – P.125–135.

21. Kocar, G. Anaerobic digesters: from waste to energy crops as an alternative energy source / G. Kocar // Energy Sour.t A: Recov. Util. Environ. Effects. – 2008. – Vol. 30. – P. 660–669.

22. Bath, B. Organic household wastes as a nitrogen source in leek production / B. Bath, B. Ramert // Acta. Agr. Scand. Sect. B–Soil Pl. – 2000. – Vol. 49. – P. 201–208.

23. Garg, R.N. Use of flyash and biogas slurry for improving wheat yield and physical properties of soil / R.N. Garg [et al.] // Environ. Monit. Assess. – 2005. – Vol. 107. – P. 1–9.

24. Marchain, U. Biogas process for sustainable development. In: FAO Agricultural Service Bulletin 9–5. Food and Agricultural Organization. – Rome, Italy. – 1992.

25. Визла, Р.Р. Эффективность действия сброженного навоза / Р.Р. Визла [и др.]. // Удобрение полевых культур в системе интенсивного земледелия. – Рига, 1990. – С. 43–59.

26. Мерзлая, Г.Е. Применение сброженного куриного помета в качестве удобрения / Г.Е. Мерзлая, Н.А. Слизовская // Анаэробная биологическая обработка сточных вод: тез. докл. научно-технич. конф. – Кишинев, 1988. – С. 159–160.

27. Montemurro, F. Anaerobic digestates application on fodder crops: effects on plant and soil / F. Montemurro [et al.] // Agrochemica. – 2008. – Vol. 52. – P. 297–312.

28. Еськов, А. И. Применения нативного и сброженного навоза (помета) / А.И. Еськов, С.И. Тарасов // Все об отходах на конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов» [электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: <http://waste.ua/cooperation/2008/theses/eskov.html>. – Дата доступа: 30.01.2013.

29. Тарасов, С.И. Эффективность применения метангенерированного навоза / С.И. Тарасов // Управление продукционным процессом в агротехнологиях 21 века: реальность и перспективы: материалы науч.-практ. конф., Белгород, июль 2010 г. – Белгород: Отчий край, 2010. – С. 61–64.

30. Ernst, G. C and N turnover of fermented residues from biogas plants in soil in the presence of three different earthworm species (*Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea longa*, *Aporrectodea caliginosa*) / G. Ernst [et al.] // Soil Biol. Biochem. – 2008. – Vol. 40. – P. 1413–1420.

31. Иовик, Л.Н. Сравнительная оценка стоков свинокомплекса и жидких биоудобрений, полученных на выходе биогазового энергетического комплекса / Л.Н. Иовик, Е.А. Брыль // Научные стремления – 2011: материалы Междунар. науч.-практ. молодеж. конф., Минск, 14–18 ноября 2011 г.: в 2-х т. / Совет молодых ученых НАН Беларуси; ред. группа: К.С. Бредихина [и др.]. – Минск: Беларус. наука, 2011. – Т. 1. – С.56–59.

32. Каминский, А.В. Ветеринарно-гигиеническая оценка навоза, переработанного в биогазовой установке / А.В. Каминский, С.С. Липницкий, М.П. Кучинский // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. трудов / Гродненский гос. аграрный ун-т. – Гродно, 2004. – Т.3. – Ч. 3: Ветеринарные науки. – С. 102–104.

33. Терещук, В.С. Сохранение жизнеспособности семян сорных растений в навозе при анаэробной его ферментации / В.С. Терещук // Защита растений: сб. науч. трудов / Беларус. научно-исслед. ин-т защиты растений. – Минск, 1997. – Вып. 20. – С. 109–117.

APPLICATION OF BIOGAS RESIDUE AS ORGANIC FERTILIZER (THE LITERARY REVIEW)

L.N. Iovik

Summary

The ability to use of biogas residue as organic fertilizer is reviewed. The studies of different researchers showed the influence of biogas residue on crop's productivity and on soil agrochemical parameters. The fertilizer effect of biogas residue determines by available nutrients and other factors (e.g. weed seeds, helminthes and pathogens).

Поступила 22.04.15