

- Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – С. 25–30.
6. Лысенко, А. А. Сравнительная продуктивность сортов гороха различных морфотипов и создание на их основе нового селекционного материала / А. А. Лысенко // *Зерноград*. – 2011.
 7. Мокроносов, А. Т. Методика количественной оценки структуры и функциональной активности фотосинтезируемых тканей и органов / А. Т. Мокроносов, Р. А. Борзенкова // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*: сб. тр. / Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. науч.-исслед. Ин-т растениеводства им. Н. И. Вавилова. – СПб., 1978. – Т. 61, вып. 3. – С. 119–133.
 8. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных, кормовых и технических растений: сборник отраслевых регламентов / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»; рук. работы: Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред.: В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – С. 106–113.
 9. Пашкевич, П. А. Использование степени развития органов проростков в селекции гороха (*Pisum sativum* L.) на урожайность / П. А. Пашкевич, В. Ч. Шор // *Земледелие и защита растений*. – 2016. – № 1 (104). – С. 20–23.
 10. Ромашева, А. А., Использование морфометрических параметров проростков для оценки урожайных свойств люпина тарви (*Lupinus mutabilis* Sweet.) / А. А. Ромашева, Ю. И. Кожуро, П. А. Пашкевич // *Материалы международной научной конференции, посвященной 90-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси* (Минск, 28 июня – 1 июля 2022 г.): в 2 ч. Ч. 1 / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: В. В. Титок [и др.] – Минск: Белтаможсервис, 2022. – 526 с.
 11. ФАОСТАТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. – Дата доступа: 15.06.2023.

УДК 631.5:662.767.2

Агроэкологические аспекты получения и использования органического осадка биогазовых технологий

Л. Н. Иовик¹, Ю. В. Кляусова², А. А. Цыганова², Г. В. Бельская², кандидаты с.-х. наук

¹ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси»,

²УО «Белорусский национальный технический университет»

(Дата поступления статьи в редакцию 31.07.2024)

В Республике Беларусь функционирует 16 биогазовых заводов, работающих на органических отходах крупных животноводческих ферм. В результате их производственной деятельности образуются два основных продукта – биогаз и сброженный осадок биомассы (дигестат). Сброженный осадок представляет ценное органическое удобрение после соответствующей доработки (обезвоживания). По содержанию питательных элементов и их доступности для питания растений дигестат не уступает традиционному навозу. При этом он лишен токсических соединений, семян сорной растительности, патогенной микрофлоры и неприятных запахов. Использование дигестата в качестве удобрения имеет неоспоримые экологические преимущества для близлежащих территорий.

Введение

В основе биогазовых технологий лежит процесс анаэробного биоразложения органического вещества с образованием биогаза и сброженного осадка (дигестата). При сжигании биогаза получают тепловую и электрическую энергию, а дигестат используют как органическое удобрение [1, 2]. Согласно Реестру выданных сертификатов о подтверждении происхождения энергии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, по состоянию на 31.07.2023 г. в стране функционирует 37 биогазовых комплексов общей установленной мощностью 53,68 МВт [3]. Из них 16 биогазовых установок (мощность 21,219 МВт) работают на отходах животноводческих комплексов, крупнейшими из которых являются ОАО «Рассвет» им. К. П. Орловского, Могилевская об-

The Republic of Belarus has 16 biogas plants operating on organic wastes from large livestock farms. As a result of their production activities, two main products are formed – biogas and fermented biomass sludge (digestate). Fermented sludge is a valuable organic fertilizer after appropriate refine (dewatering). In terms of the content of nutrients and their availability for plant nutrition, digestate is not inferior to traditional manure. At the same time, it is lacking in toxic compounds, seeds of weed vegetation, pathogenic microflora and unpleasant smells. Using digestate as fertilizer has undeniable environmental benefits for nearby areas.

ласть (мощность 4,800 МВт); ЗАО «ТДФ Экотех-Снов», Минская область, Несвижский район (мощность 2,126 МВт).

Экологическими преимуществами биогазовых технологий являются:

- уменьшение количества органических отходов, объемов их накопления и, соответственно, загрязнения окружающей среды;
- сокращение территорий, отводимых под хранение и захоронение отходов, а в сельской местности – рациональное использование сельскохозяйственных угодий;
- обеспечение экологической безопасности территорий в непосредственной близости от предприятий агропромышленного комплекса (АПК);
- улучшение эпидемиологической обстановки в результате гибели патогенной микрофлоры, уменьшение неприятных запахов;

- восстановление нарушенных земель и повышение плодородия почвы [4].

Основная часть

Навоз, один из самых объемных органических отходов животноводства, относится к категории нестабильных органических загрязнителей и по данным Всемирной организации здравоохранения является фактором передачи более 100 видов различных возбудителей болезней животных и человека [5]. Кроме того, навоз отличается высоким содержанием экологически опасных веществ: аммиака, сероводорода, фенола, тяжелых металлов и др.

При переработке навоза в биогаз и биогумус помимо выхода основной продукции происходит обеззараживание органического материала, так как анаэробное сбраживание обеспечивает дегельминтизацию, потерю всхожести семян сорной растительности, подавление патогенных форм микроорганизмов, повышение удобрительной ценности. Исследования белорусских

ученых (Н. Ф. Капустина, С. Н. Поникарпчик, А. Н. Босаревского, Т. В. Старченко) подтверждают гибель яиц стронгилит и амбарных клещей, более чем в 2 раза уменьшение количества цист блантидий и практически полное отсутствие ооцист эймерий [6]. А. В. Каминский, С. С. Липницкий и М. П. Кучинский [7] отмечают уменьшение общего количества микробного загрязнения примерно на 50–65 %.

Отходы сельскохозяйственного производства содержат большое количество семян сорной растительности. Согласно исследованиям Н. Ф. Капустина [6], при мезофильном режиме брожения в течение 50–80 дней полностью гибнут семена сорняков. Исследования ученых Дании (Johansen и др., 2011) показали, что анаэробное сбраживание эффективно снижает всхожесть семян сорняков на 11 день брожения [8].

В процессе метанового брожения биомассы и непосредственного внесения навоза в почву происходят разные стадии превращения углерода (рисунок 1).

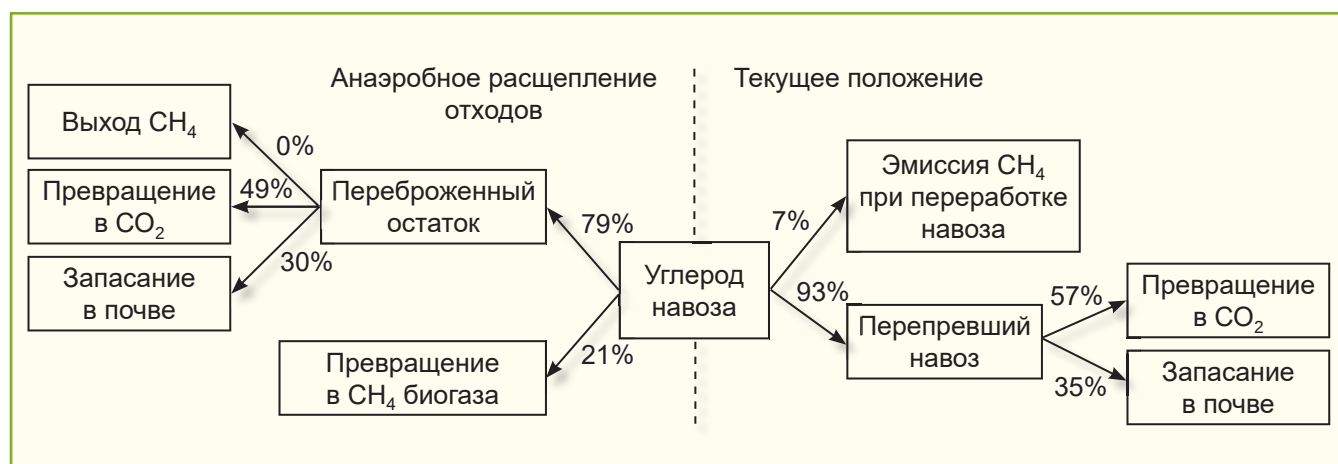


Рисунок 1 – Распределение углерода из навоза животных при производстве биогаза и традиционных методах переработки навоза

Главным отличием является то, что при анаэробном разложении конечный продукт – метан – собирают и используют. Другой конечный продукт – углекислый газ – находится в пределах своего естественного цикла. При непосредственном внесении навоза в почву метан (парниковый газ) выделяется в атмосферу, ускоряя глобальное потепление климата.

Остатки брожения, образующиеся в процессе производства биогаза, являются качественным удобрением [9]. Однако коэффициент полезного действия таких удобрений составляет всего 10–15 %. При доработке этих отходов происходит значительное улучшение их свойств [10]. К примеру, эмиссия запахов при использовании дигестата значительно снижена вследствие разрушения части летучих органических соединений. Химический состав органического осадка приведен в таблице 1.

При сепарировании дигестата образуются твердая и жидкая фракции. Жидкая фракция содержит менее 5 % сухого вещества и основное количество азота и калия [5]. Ее разбрызгивают на полях, либо отправляют на повторную загрузку анаэробного реактора, смешав

Таблица 1 – Химический состав органического осадка

Показатель	После ферментации навоза	После ферментации первичной биомассы (контроль)
Сухое вещество, %	6,1	7,0
pH	8,5	8,3
Органическое вещество, кг/т	42,0	51,0
Общий азот, кг/т	4,8	4,7
Аммоний, кг/т	2,9	2,7
Фосфор	1,8	1,8
Калий	3,9	5,0

с твердым сырьем [8]. Твердую фракцию компостируют с другими органическими отходами [5], либо смешивают с сорбентами: торфом, древесными опилками, землей и т. п. [11]. В таком виде твердая фракция дигестата более удобна для хранения и транспортировки. После предварительного обезвоживания на цен-

трифугах твердый отход применяют для разрыхления и мульчирования почвы, а также для приготовления почвогрунтов.

Дигестат представляет собой органическую массу (влажность 87–98 % и pH 7,3–9,0 [5, 12]) улучшенного состава, практически лишенную неприятного запаха. Ценность такой массы заключается в том, что азот в ней сохраняется в аммонийной (до 24 % от общего количества N [1], по другим данным – до 60–80 % [5]) 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], однако количество усваиваемого фосфора удваивается [2, 5]. Некоторые исследователи, наоборот, считают, что дигестат беден фосфором. Этот дефицит они рекомендуют восполнять минеральными удобрениями (например, суперфосфатом) [13]. Из других макроэлементов также присутствуют кальций (1,0–2,3 %), магний (0,3–0,7 %), сера (0,2–0,4 %). Кроме того, органический осадок содержит микроэлементы, низкие концентрации тяжелых металлов [12], а также аминокислоты, ферменты гидролиза, нуклеиновые, гуминовые и органические кислоты (фульвокислоты), моносахариды, фитогормоны (гиберрилин, ауксин, цитокинин), витамины группы В, некоторые антибиотики и другие биологически активные вещества [1]. Таким образом, дигестат является источником легкоусвояемых для растений питательных веществ.

По оценкам белорусских исследователей, органический осадок биогазовых технологий способен повысить урожайность сельскохозяйственных культур по сравнению с традиционным навозом на 10–20 % [14] (по другим данным на 20–30 % [1, 2]), а в некоторых случаях даже до 100 % [11]. Опыты с органическим осадком, проведенные Институтом энергетики 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 дигестата авторы объясняют биосинтезом биологических стимуляторов роста класса ауксинов, ускоряющих фиксацию CO₂ и, как следствие, более стремительным наращиванием зеленой массы [15].

Одним из передовых хозяйств в Республике Беларусь является СПК «Агрокомбинат «Снов» Несвижского района, Минской области. На его территории расположен биогазовый комплекс, который построен швейцарской компанией «Есо Тесх». Жидкий и твердый навоз из ферм КРС и свиноферм используют как субстрат. Биогаз используется для производства электроэнергии. Потенциал производства энергии – 50,4 МВт ч/день или 18 400 МВт ч/год. Объем производства биологических удобрений составляет 426 м³/сут, что соответствует 155 000 м³ в год. Биоудобрения хранятся в большом баке объемом 6000 м³, в котором обычное заполнение составляет 4500–5000 м³. Предполагаемое содержание питательных веществ в удобрении: азот (N) – 4,4 кг/м³, аммоний, продукт азиды аммония (NH₄-N) – 2,6 кг/м³, оксид фосфора (P₂O₅) – 1,9 кг/м³, оксид калия (K₂O) – 5,0 кг/м³ [16].

Российские ученые в своих исследованиях определили повышение урожайности кукурузы [5], клубней картофеля на 18 %, злаковых газонных трав в 1,3 раза, рассады капусты и томатов на 12–15 % [17]. 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 увеличение урожайности и качества возделываемых культур по сравнению с традиционными органическими и минеральными удобрениями сои, кукурузы, пшеницы, ярового ячменя, овса [5, 18, 19]. 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 дигестата и эквивалентных по азоту доз минеральных удобрений. Однако при удобрении отдельных культур дигестат действует более эффективно [20, 21, 22].

Ввиду того, что в Беларуси биогазовые технологии используют недавно, можно отметить недостаток исследований по влиянию дигестата на физические, агрохимические, биологические и токсикологические свойства почвы. Существует необходимость проведения дальнейших исследований.

Заключение

Органический осадок биогазовых технологий представляет собой ценное органическое удобрение с высоким содержанием питательных веществ в легкодоступной для растений форме, в значительной степени очищенное от семян сорной растительности, возбудителей заболеваний, лишенное некоторых токсических соединений и неприятных запахов. Использование дигестата способствует снижению антропогенной нагрузки на почву, частичной замене применения минеральных удобрений, повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

Вследствие увеличения количества функционирующих биогазовых комплексов на территории Беларуси происходит увеличение объемов образуемых сброженных отходов биогазового производства, поэтому существует необходимость дальнейшего изучения влияния дигестата на свойства почвы, урожайность и качество возделываемых культур.

Литература

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. науч.-технич. конф., Минск, 21–23 нояб. 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 // Механизация и электрификация 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. Реестр выданных сертификатов о подтверждении происхождения энергии на 31.07.2023 г.: утв. М-вом природы Респ. Беларусь по состоянию на 31.07.2023 г. – Минск: Государственный кадастр возобновляемых источников энергии Минприроды Республики Беларусь, 2023.
4. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2012. – Казань: МПР, 2013. – 504 с.

5. Евдокимов, А. Н. Инновационная комплексная технология анаэробной переработки и использования отходов индустриального животноводства / А. Н. Евдокимов, В. М. Татаринцов // ЭСКО. – 2009. – № 6.
6. 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 окт. 2009 г. / НАН Беларуси, Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 46–49.
7. 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.
8. Al Seadi, T. Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer // T. Al Seadi, C.T. Lukehurst. – IEA Bioenergy, 2012. – 38 p.
9. 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 2011 г. / Белорус. гос. сельс.-хоз. академия; редкол.: А. П. Курдеко [и др.]. – Горки, 2011. – Ч. 1. – С. 148–150.
10. Heviánková, S. Study and Research of the Cleaning Procedures of Anaerobic Digestion Products / S. Heviánková, M. Kyncl, J. Kodymová // Geo-Science Engineering – Czech Republic, 2014. – S. 39–50.
11. Использование биогазовых энергетических установок в АПК / В. А. Занкевич [и др.] // Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохоз. продукции: доклады Межд. науч.-практич. конф., 14–15 апр. 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.
12. 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.
13. Svensson, K. The fertilizing effect of compost and biogas residues from source separated household waste / K. Svensson, M. Odlaire, M. Pell // J. Agric. Sci. – 2004. – Vol. 142. – P. 461–467.
14. Ключков, А.В. Европейский опыт производства и использования биогаза // А. В. Ключков, Д. В. Кацер / Наше сельское хозяйство. – 2011. – № 1. – С. 71–76.
15. 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.
16. Коротинский, В. А. Биоэнергетика: пособие / В. А. Коротинский, К. Э. Гаркуша. – Минск: БГАТУ, 2011. – 148 с.
17. 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.
18. 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.
19. Use of fly ash 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.
20. Abubaker, J. Biogas residues as fertilisers – effects on wheat growth and soil microbial activities / J. Abubaker // Applied Energy. – 2012. – Vol. 99. – P. 126–134.
21. Эффективность действия сброженного навоза / Р. Р. Визла [и др.]. // Удобрение полевых культур в системе интенсивного земледелия. – Рига, 1990. – С. 43–59.
22. Anaerobic digestates application on fodder crops: effects on plant and soil / F. Montemurro [et al.] // Agrochimica. – 2008. – Vol. 52. – P. 297–312.

УДК 635.1/.8:632.938(476)

Исследования по защите и иммунитету овощных культур от болезней в Республике Беларусь

В. Л. Налобова

РУП «Институт защиты растений»

(Дата поступления статьи в редакцию 26.06.2024)

Представлена хронология исследований по защите и иммунитету овощных культур от болезней в Республике Беларусь за период с 1950 года по настоящее время и приведены результаты исследований по иммунитету овощных культур от болезней.

В Беларуси исследования по защите и иммунитету овощных культур от болезней начали проводиться в начале 50-х годов и связаны с именем выдающегося известного ученого фито-иммунолога Николая Афанасьевича Дорожкина.

Говоря о Николае Афанасьевиче Дорожкине, следует подчеркнуть его огромные организаторские способности. Он был лидером, объединявшим и вдохновлявшим коллектив на решение фундаментальных, теоретических и практических проблем, и благодаря этим качествам создал научную школу по защите и

The chronology of the research on the protection and immunity of vegetable crops from diseases in the Republic of Belarus for 1950 to the present is presented, as well as the results of the studies on the immunity of vegetable crops from diseases.

иммунитету картофеля, овощных и плодовых культур в нашей республике.

Научная школа, история которой исчисляется десятилетиями, поддерживается трудом нескольких поколений ученых. Научные идеи и заделы, созданные Н. А. Дорожкиным, продолжают успешно развиваться в исследованиях его учеников и последователей.

Большая работа под руководством Николая Афанасьевича Дорожкина проводилась по защите овощных культур от болезней его учениками Сапого-