

УДК 57.025:57.081:504.062.2
DOI 10.55355/snv2025142101

Статья поступила в редакцию / Received: 23.03.2025
Статья принята к опубликованию / Accepted: 29.05.2025

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
ШЛАМА БИОГАЗОВОЙ СТАНЦИИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ НАВОЗА КРС
В СМЕСИ С ПТИЧЬИМ ПОМЁТОМ И ПРОСРОЧЕННЫМИ ПИЩЕВЫМИ ПРОДУКТАМИ**

© 2025

Гамм Т.А., Гривко Е.В., Гамм А.А.

Оренбургский государственный университет (г. Оренбург, Российская Федерация)

Аннотация. Исследовали химический состав шлама при переработке навоза КРС в смеси с птичьим пометом и просроченными пищевыми продуктами методом метанового сбраживания. В исследуемой загрузке с навозом КРС содержится больше белков в 1,4, жиров в 1,6 и меньше углеводов в 2,4 раза по сравнению с загрузкой с навозом КРС и птичьим пометом. Установили, что сбраживание загрузки с навозом КРС увеличило содержание нитратного азота в 1,4 раза, по сравнению с загрузкой с навозом КРС и птичьим пометом. Сбраживании загрузки с навозом КРС увеличило в шламе содержание общего азота в 7,2, общего фосфора в 6,9, нитратного азота в 4,5, органического вещества в 13,2 раз, уменьшило общего калия в 2,8 раз. В шламе увеличилось содержание органических веществ, общего азота и общего фосфора в ходе переработки. При использовании шлама в качестве органического удобрения необходимо сбалансировать его состав. Полученный шлам соответствует требованиям ГОСТ 33380-2015 по содержанию тяжелых металлов. Рассчитаны уравнения парной линейной регрессии для использования при формировании состава загрузок.

Ключевые слова: шлам биогазовых станций; состав загрузки биогазовых станций; органические отходы; просроченные продукты питания; химический состав шлама; органическое вещество шлама; тяжелые металлы; уравнения парной линейной регрессии.

**RESULTS OF THE STUDY OF THE CHEMICAL COMPOSITION
OF THE SLUDGE OF A BIOGAS PLANT DURING THE PROCESSING OF CATTLE MANURE
MIXED WITH POULTRY MANURE AND EXPIRED FOOD PRODUCTS**

© 2025

Gamm T.A., Grivko E.V., Gamm A.A.

Orenburg State University (Orenburg, Russian Federation)

Abstract. The chemical composition of the sludge obtained from processing cattle manure mixed with poultry manure and expired food products was studied using the methane fermentation method. The studied load with cattle manure contains 1,4 times more proteins, 1,6 times more fats and 2,4 times less carbohydrates compared to the load with cattle manure and poultry manure. It was found that fermentation of the load with cattle manure increased the content of nitrate nitrogen by 1,4 times compared to the load with cattle manure and poultry manure. Fermentation of the load with cattle manure increased the content of total nitrogen in the sludge by 7,2, total phosphorus by 6,9, nitrate nitrogen by 4,5, organic matter by 13,2 times, and decreased total potassium by 2,8 times. The content of organic matter, total nitrogen and total phosphorus in the sludge increased during processing. When using sludge as an organic fertilizer, it is necessary to balance its composition. The resulting sludge meets the requirements of GOST 33380-2015 for heavy metal content. Paired linear regression equations were calculated for use in forming the composition of the loads.

Keywords: biogas plant sludge; biogas plant loading composition; organic waste; expired food products; chemical composition of sludge; organic matter of sludge; heavy metals; paired linear regression equations.

В России и за рубежом уделяют в настоящее время большое внимание вопросам утилизации органических отходов. Одним из наиболее распространенных способов переработки органических отходов является анаэробное сбраживание, которое производят на биогазовых станциях. Основной целью переработки органических отходов является получение биогаза как источника экологичной энергии. Отходами переработки является дигестат, в состав которого входит шлам биогазовых станций [1]. Дигестат может быть использован для различных целей: получения био-

массы водорослей [2, р. 335], рекультивации земель в качестве мелиоранта и как удобрение [3, с. 54; 4, с. 11].

Проблема заключается в том, что в состав шлама входят минеральные частицы и неразложившиеся органические вещества, поэтому его сложно утилизировать. Шлам состоит из органических и минеральных частиц, солей, которые остаются после сбраживания органических отходов. Образование шлама связано с недостаточным сбраживанием органического вещества, наличием минеральных примесей в загрузке отходов, недостаточным количеством микрофлоры, что

приводит к снижению выработки биогаза и увеличению времени сбраживания, поэтому шлам периодически рекомендуется удалять из установки [5, р. 1].

В Индии провели исследования по утилизации шлама после установки с последовательной аэробной и анаэробной переработкой пищевых отходов. Брали шлам, низкосортный индийский каменный фосфат, два фосфаторастворяющих гриба и в течение 30 дней производили обогащенный фосфатами компост. По сравнению с шламом полученное органическое фосфорное удобрение имело более высокое содержание растворяющей фосфаты микрофлоры и фосфора. Изучали бактерии, которые производят некоторые органические кислоты, которые способствуют растворимости как органических, так и неорганических форм фосфора, и впоследствии обеспечивают им растения с помощью аминокислот [6, р. 268]. В Польше шлам используют при производстве твердого биотоплива [7, р. 547]. В Болгарии перерабатывают органические отходы с получением биогаза и дальнейшим использованием оставшихся твердых и жидких фракций в качестве удобрений [8, р. 1]. В Казахстане проводят более полную переработку шлама биогазовых станций в гранулированное удобрение с использованием бактерий *Azotobacter chroococcum* [9, с. 224]. Проводили исследования по использованию эффлюента для рекультивации деградированных земель [3, с. 54; 4, с. 11]. Предложена инновационная разработка для получения биоудобрений на биогазовой станции [9, с. 224].

При анаэробном сбраживании составляются различные по составу загрузки. Процесс сбраживания проходит эффективнее при наличии в загрузке преимущественно легко разлагаемых биологическим методом веществ. Состав загрузки с отходами продуктов питания являются при сбраживании недостаточно исследованными [10, р. 1148], есть данные по анаэробному сбраживанию свинины [11, р. 6135] и производство софоролипидов с использованием пищевых отходов [12, р. 7].

Целью наших исследований с учетом анализа имеющегося материала стали исследования химического состава шлама биогазовых станций при использовании в составе загрузки просроченных продуктов питания.

Методы исследований

Исследования проводили на биогазовой станции УБГ-25 с объемом реактора до 8 тыс. кг. В составе загрузки при ее составлении из различных компонентов учитывали влажность компонентов и полученной загрузки, реакция среды загрузки, наличие твердых частиц [13, с. 47].

Химический состав шлама определяли в аккредитованной лаборатории по общепринятым методикам. Определяли органическое вещество по ГОСТ 27980-88, общий азот по ГОСТ 26715-85, общий фосфор по ГОСТ 26717-85, общий калий по ГОСТ 26718-85, нитратный азот по ГОСТ 27753.7-88, аммонийный азот по ГОСТ 27753.8-88, pH по ГОСТ 27979-88.

Полученные данные обрабатывали методом многомерной статистики.

Результаты

Мы рассмотрели два вида загрузки с просроченными продуктами питания: с навозом КРС и навозом КРС в смеси с птичьим пометом (табл. 1).

В исследуемой загрузке с птичьим пометом (6,8%) основную долю занимает навоз КРС (72%), с добавлением просроченных продуктов питания, молока, мяса, овощей в качестве органических веществ. В загрузке с навозом КРС, который занимал 64,5% использовали опилки для регулирования влажности, с добавлением молока, мяса в качестве органических веществ.

Для увеличения выхода биогаза при сбраживании помета и навоза загружали загрузку органическим веществом, что хорошо сочетается с данными в ряде статей [14, р. 2035; 15, р. 644; 10, р. 1150]. В статье «Centralized management of sewage sludge and agro-industrial waste through co-composting» авторы предлагают включать в состав органических отходов сельского хозяйства органоминеральные отходы, богатые органическим веществом [16, р. 387].

Для того, чтобы снизить себестоимость биогаза, рекомендуется составлять загрузку для установки из богатых азотом отходов и подбирать параметры процесса переработки, что может позволить в 6 раз снизить содержание органического вещества в конце сбраживания, в том числе в шламе. Также содержание аммиака в ходе переработки будет зависеть от соотношения различных компонентов в загрузке [17, р. 2].

Состав разлагаемых биологическим методом веществ в составе исследуемой загрузки представлен в таблице 2. В загрузке с навозом КРС и птичьим пометом белки составляли 30,1, жиры – 23,3 и углеводы – 46,7% от общей массы загрузки – 744,235 кг. В загрузке с навозом КРС белки составляли 43,0%, жиры – 37,5 и углеводы – 19,5% от общей массы загрузки 1159,59 кг. В исследуемой загрузке с навозом КРС содержится больше белков в 1,4, жиров в 1,6 и меньше углеводов в 2,4 раза по сравнению с загрузкой с навозом КРС и птичьим пометом.

В работе [18, р. 1] показано, что сложные молекулы белков разлагаются не до конца, по сравнению с жирами и углеводами, которые легко сбраживаются. Поэтому загрузка с навозом КРС в наших исследованиях сбраживалась труднее, оставалось в шламе больше органических веществ.

Химический состав исследуемого шлама учитывается при определении возможности и места его утилизации (табл. 3).

Влажность шлама по вариантам высокая – 79,1 и 86,0%, однако ниже, чем в исходной загрузке. При оценке возможности утилизации шлама в качестве органического удобрения в полученном шламе исследовали содержание органических веществ и минеральных элементов питания для растений, тяжелых металлов и pH.

В шламе при переработке загрузки с навозом КРС, богатой белком, содержание общего азота в 4,2, нитратного азота в 1,8 раз больше, общего калия в 4,2 раза меньше, чем в загрузке с птичьим пометом и навозом КРС, а общего фосфора и аммонийного азота примерно равное содержание.

В загрузке с навозом КРС, богатой белком, влажность сырья, содержание общего азота, фосфора и калия, органического вещества и аммонийного азота существенно не отличалось от загрузки с птичьим пометом и навозом КРС. В загрузке с навозом КРС содержание нитратного азота в 1,4 больше, чем в загрузке с птичьим пометом и навозом КРС.

Таблица 1 – Масса загрузки при анаэробном сбраживании на биогазовой станции

Состав смеси	Масса, кг	
	загрузка с навозом КРС и птичьим пометом	загрузка с навозом КРС
Молоко	220	110
Вода	400	–
Птичий помет	490	–
Опилки	–	340
Мясо	700	2200
Просроченные продукты питания	120	100
Навоз КРС	5200	5000
Овощи	100	–
Всего:	7230	7750

Таблица 2 – Состав разлагаемых биологическим методом веществ в составе загрузки

Состав смеси	Загрузка с навозом КРС и птичьим пометом			Загрузка с навозом КРС		
	белки, кг	жиры, кг	углеводы, кг	белки, кг	жиры, кг	углеводы, кг
Молоко	6,38	7,92	10,34	3,19	3,96	5,17
Птичий помет	6,37	1,225	245,0	–	–	–
Опилки	–	–	–	4,42	0,85	170,0
Мясо	140	105	0	440,0	330,0	0
Навоз КРС	52	52,0	52,0	50,0	50,0	50,0
Просроченные продукты питания	18	6	0	1,0	50,0	1,0
Овощи	1,0	1,0	40,0	–	–	–
Всего:	223,75	173,145	347,34	498,61	434,81	226,17

Таблица 3 – Содержание органических веществ и минеральных элементов питания для растений в шламе биогазовой станции

Показатели	Значение по ГОСТ 33380-2015	Загрузка с навозом КРС и птичьим пометом		Загрузка с навозом КРС	
		исходная смесь	шлам	исходная смесь	шлам
Общий азот, %	более 0,2	0,5 ± 0,1	1,03 ± 0,2	0,6 ± 0,1	4,32 ± 0,5
Общий фосфор, %	более 0,1	0,06 ± 0,05	0,51 ± 0,05	0,07 ± 0,05	0,48 ± 0,03
Общий калий, %	более 0,2	0,24 ± 0,03	0,38 ± 0,03	0,25 ± 0,03	0,09 ± 0,05
Нитратный азот, мг/кг	–	1780 ± 285	6300 ± 1008	2570 ± 411	11530 ± 512
Аммонийный азот, %	–	0,36 ± 0,06	0,43 ± 0,06	0,43 ± 0,06	0,48 ± 0,06
Органическое вещество, %	–	1,41 ± 1,5	14,6 ± 1,5	1,61 ± 1,5	21,34 ± 1,5
pH, ед. pH	6,0–8,0	8,5 ± 0,3	8,8 ± 0,3	8,4 ± 0,3	8,7 ± 0,3
Влажность, %	–	97,7 ± 0,30	79,1 ± 0,9	97,4 ± 0,30	86,0 ± 0,5

Сбраживании загрузки с навозом КРС увеличило в шламе содержание общего азота в 7,2, общего фосфора в 6,9, нитратного азота в 4,5, органического вещества в 13,2 раз, уменьшилось общего калия в 2,8.

После сбраживания загрузки с птичьим пометом и навозом КРС в шламе увеличилось содержание общего азота в 2,0, общего фосфора в 8,5, общего калия в 1,6, нитратного азота в 3,5, органического вещества в 10,4 раз. Аммонийного азота в шламе примерно равное содержание по всем вариантам загрузки.

При переработке отходов в обеих смесях наиболее значительно увеличилось содержание органического вещества.

Корреляционный анализ зависимости между химическим составом исходной смеси и шлама по содержанию общего азота, фосфора, калия, аммонийного азота, органического вещества для всех загрузок показал, что связь между исследуемыми признаками – прямая, теснота связи весьма высокая.

При исследовании загрузки с птичьим пометом и навозом КРС коэффициент корреляции равен 0,959, Зт-критерий Стьюдента – 5,879. Получено уравнение парной линейной регрессии:

$$-y = -2,48584 + 11,43160 \cdot x.$$

При исследовании загрузки с навозом КРС коэффициент корреляции равен 0,975, Зт-критерий Стьюдента – 7,579. Получено уравнение парной линейной регрессии:

$$-y = -3,38242 + 14,73719 \cdot x.$$

Полученные уравнения можно использовать для прогноза химического состава шлама при формировании состава загрузки.

Оценка пригодности шлама в качестве органического удобрения по ГОСТ 33380-2015 показала, что шлам при переработке загрузки с птичьим пометом и навозом КРС не соответствует требованиям по содержанию общего азота и pH [1]. Содержание общего азо-

та было меньше в 2 раза, pH увеличилась до 8,8 и превышала требования на 0,8 единиц.

Шлам при переработке загрузки с навозом КРС не соответствовал требованиям по содержанию общего калия и pH. Содержание общего калия было меньше в 2,2 раза, pH увеличилась до 8,4 и превышала требования на 0,4 единицы.

Шлам, при полученном дефиците питательных веществ для растений, можно использовать в качестве органического удобрения при условии, что его состав необходимо сбалансировать минеральными удобрениями и нейтрализовать pH шлама до нормативных требований кислыми добавками при его разбавлении.

Методы коррекции химического состава шлама, в соответствии с полученным химическим составом, для использования в качестве удобрений могут быть различны. При исследовании шлама, полученного при анаэробном сбраживании коровьего навоза и биомассы растения *Amaranthus retroflexus* L. установлено, что содержание питательных веществ в образцах значительно превышает показатели, рекомендованные ГОСТ 33380-2015 и имеются высокие концентрации меди и цинка, поэтому рекомендуется разбавление нейтральными материалами, в частности торфом [19, с. 72]. В Индонезии в шлам с низким соотношением углерода к азоту добавляли конидии, которые разлагали минеральную часть, что увеличивало содержание азота, фосфора и калия в шламе. Обработанный в течение месяца шлам тестировали на горчичное дерево с положительным результатом [20, р. 26].

Содержание тяжелых металлов в шламе биогазовой станции представлено в таблице 4.

В шламе при переработке загрузки с навозом КРС, богатой белком, содержание подвижного цинка в 4,0, подвижного марганца в 50,6, подвижного железа в 9,8, свинца в 2,0, кадмия в 4,1, ртути в 7,9 и мышьяка в 4,7 раз больше, чем в загрузке с птичьим пометом и навозом КРС.

При сбраживании загрузки с птичьим пометом и навозом КРС в шламе увеличилось содержание подвижного цинка в 16,6, подвижного марганца в 9,3, подвижного железа в 1,7, свинца в 20,0, ртути в 6,1 и мышьяка в 4,5 раз, уменьшилось содержание кадмия в 4,1 раз по сравнению с исходной загрузкой.

Корреляционный анализ зависимости между химическим составом исходной смеси и шлама по содержанию подвижного цинка, подвижного марганца, подвижного железа, свинца, кадмия, ртути и мышьяка в загрузке и в шламе для всех загрузок показал, что связь между исследуемыми признаками – прямая, теснота связи весьма высокая.

При исследовании загрузки с птичьим пометом и навозом КРС коэффициент корреляции (r) равен 0,951, Зт-критерий Стьюдента равен 8,558. Получено уравнение парной линейной регрессии:

$$y = 0,27733 + 0,10250 \cdot x.$$

При исследовании загрузки с навозом КРС коэффициент корреляции равен 0,968, Зт-критерий Стьюдента равен 7,579. Получено уравнение парной линейной регрессии:

$$y = 0,46769 + 0,00185 \cdot x.$$

Полученные уравнения можно использовать при формировании состава загрузки и прогноза химического состава шлама.

Известно, что при компостировании осадка сточных вод в установке полученный компост вносили в почву, при этом установлено, что ограничением при его использовании является наличие тяжелых металлов: меди, цинка, хрома, ртути, кадмия, концентрация которых должна быть меньше стандартов [15, р. 641].

Оценка пригодности шлама в качестве органического удобрения по ГОСТ 33380-2015 показала, что шлам при переработке загрузки с птичьим пометом и навозом КРС, а также загрузки с навозом КРС соответствует требованиям по содержанию тяжелых металлов [1].

Подвижные цинк, марганец и железо являются потенциально опасными металлами, так как в малых количествах они необходимы растениям как микроэлементы. Свинец, кадмий, ртуть и мышьяк опасны для окружающей среды, однако их содержание в шламе намного меньше требований ГОСТ 33380-2015: Коррекция химического состава по содержанию тяжелых металлов, наряду с повышением выхода биогаза, производилась добавлением в состав загрузки просроченных пищевых продуктов, овощей, мяса, молока, которые не содержат повышенные концентрации тяжелых металлов как пищевые продукты [21, с. 20].

Таблица 4 – Содержание тяжелых металлов в шламе биогазовой станции

Показатели	Значение по ГОСТ 33380-2015	Загрузка с навозом КРС и птичьим пометом		Загрузка с навозом КРС	
		исходная смесь	шлам	исходная смесь	шлам
Подвижный цинк, мг/кг	220	0,8 ± 0,4	13,3 ± 4,0	0,67 ± 0,34	53,13 ± 17,53
Подвижный марганец, мг/кг	–	7,61 ± 2,30	70,91 ± 17,73	7,0 ± 2,1	3585,5 ± 8,2
Подвижное железо, мг/кг	–	2,58 ± 1,14	4,41 ± 1,94	1,95 ± 0,9	43,33 ± 10,83
Свинец, мг/кг	130	0,15 ± 0,05	3,0 ± 1,0	0,19 ± 0,9	6,05 ± 1,27
Кадмий, мг/кг	2,0	0,10 ± 0,004	0,052 ± 0,018	0,011 ± 0,004	0,211 ± 0,053
Ртуть, мг/кг	2,1	0,0007 ± 0,0001	0,0043 ± 0,0001	0,0011 ± 0,0002	0,034 ± 0,016
Мышьяк, мг/кг	10,0	0,2 ± 0,03	0,90 ± 0,12	0,2 ± 0,03	4,19 ± 1,26

Выводы

1. Исследованы при сбраживании две загрузки, в состав которых входили помет, просроченные продукты питания и основную долю занимал навоз КРС. Загрузки отличались тем, что в загрузке с навозом КРС содержится больше белков в 2,2, жиров в 2,5 и меньше углеводов в 1,5 раза по сравнению с загрузкой с птичьим пометом и навозом КРС. Влажность полученного шлама по вариантам ниже, чем в исходной загрузке.

2. В шламе при переработке загрузки с навозом КРС, богатой белком, остаточное содержание органического вещества выше, поэтому остается резерв получения дополнительного количества биогаза. Органическое вещество загрузки не является источником общего калия и общего фосфора.

В загрузке с навозом КРС, богатой белком, влажность сырья, содержание общего азота, фосфора и калия, органического вещества и аммонийного азота существенно не отличалось от загрузки с птичьим пометом и навозом КРС. В загрузке с навозом КРС содержание нитратного азота в 1,4 больше, чем в загрузке с птичьим пометом и навозом КРС.

3. Оценка пригодности шлама в качестве органического удобрения по ГОСТ 33380-2015 показала, что шлам при переработке загрузки с птичьим пометом и навозом КРС не соответствует требованиям по содержанию общего азота и pH, при переработке загрузки с навозом КРС не соответствует требованиям по содержанию общего калия и pH.

4. При полученном дефиците питательных веществ для растений необходимо сбалансировать состав шлама минеральными удобрениями и нейтрализовать pH шлама до нормативных требований кислыми добавками при его разбавлении.

5. При сбраживании в полученном шламе увеличивается содержание подвижного цинка, подвижного марганца, подвижного железа, свинца, ртути и мышьяка, за исключением кадмия, содержание которого уменьшилось при сбраживании загрузки с птичьим пометом и навозом КРС. Добавка к загрузке птичьего помета привела к существенному увеличению в шламе подвижного цинка в 79,2, подвижного марганца в 512,1 по сравнению с исходной загрузкой.

6. Оценка пригодности шлама в качестве органического удобрения по ГОСТ 33380-2015 показала, что шлам при переработке загрузки с птичьим пометом и навозом КРС, а также загрузки с навозом КРС соответствует требованиям по содержанию тяжелых металлов.

7. Математическая обработка полученных данных по химическому составу каждой загрузки и шлама показала зависимость между исследуемыми признаками. Получены уравнения парной линейной регрессии для прогноза качества шлама в технологическом процессе.

Список источников:

1. ГОСТ 33380-2015. Удобрения органические. Эффлюент. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2020. 12 с.
2. Veronesi D., D'Imporzano G., Salati S., Adani F. Pre-treated digestate as culture media for producing algal biomass // *Ecological Engineering*. 2017. Vol. 105. P. 335–340. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.05.007.

3. Бурдин И.А., Арбузова Е.В., Гусева Т.М., Ильинский А.В., Кирейчева Л.В. Обоснование создания экофункциональных биоудобрений на основе эффлюента для восстановления плодородия и повышения продуктивности почв деградированных сельскохозяйственных земель // *Евразийский союз ученых*. 2020. № 8–5 (77). С. 52–55. DOI: 10.31618/esu.2413-9335.2020.5.77.996.

4. Ильинский А.В. Повышение продуктивности почв деградированных сельскохозяйственных земель с помощью нетрадиционных органических мелиорантов // *Евразийский союз ученых*. 2020. № 9–5 (78). С. 8–12. DOI: 10.31618/esu.2413-9335.2020.5.78.1020.

5. Ekstrand E.M., Björn A., Karlsson A., Schnürer A., Kanders L., Yekta S.S., Karlsson M., Moestedt J. Identifying targets for increased biogas production through chemical and organic matter characterization of digestate from full-scale biogas plants: what remains and why? // *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*. 2022. Vol. 15, iss. 1. P. 1–22. DOI: 10.1186/s13068-022-02103-3.

6. Wahid F., Sharif M., Faha S., Ali A., Adnan M., Rafiullah, Saud S., Danish S., Arif Ali M., Ahmed N., Arslan H., Arslan D., Erman M., Sabagh A.E., Gholizadeh F., Datta R. Mycorrhiza and phosphate solubilizing bacteria: potential bioagents for sustainable phosphorus management in agriculture // *Phyton-International Journal of Experimental Botany*. 2021. Vol. 91, iss. 2. P. 257–278. DOI: 10.32604/phyton.2022.016512.

7. Czekala W., Dach J., Przybył J., Boniecki P., Lewicki A., Carmona P.C.R., Janczak D., Waliszewska H. The energetic efficiency of solid fraction of digestate pulp from biogas plant in production of solid and gaseous biofuels – a case study of 1 MWel biogas plant in Poland // *Bringing Together Engineering and Economics: proceedings of the 2nd International conference on energy & environment*. Guimarães, 2015. P. 547–553.

8. Comparetti A., Febo P., Greco C., Orlando S. Current state and future of biogas and digestate production // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2013. Vol. 19, iss. 1. P. 1–14.

9. Бахов Ж.К., Жумадилова Н.Б., Кубей А.Ж. Производство органических удобрений на основе шлама производства биогаза // *Вестник науки*. 2018. Т. 2, № 9 (9). С. 223–225.

10. Lindorfer H., Corcoba A., Vasilieva V., Braun R., Kirchmayr R. Doubling the organic loading rate in the co-digestion of energy crops and manure – a full scale case study // *Bioresource Technology*. 2008. Vol. 99, iss. 5. P. 1148–1156. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.02.033.

11. González-Arias J., Fernández C., Rosas J.G., Bernal M.P., Clemente R., Sanchez M.E., Gomez X. Integrating anaerobic digestion of pig slurry and thermal valorisation of biomass // *Waste and Biomass Valorization*. 2019. Vol. 11, iss. 1. P. 6125–6137. DOI: 10.1007/s12649-019-00873-w.

12. Kaur G., Wang H., To M.H., Roelants S.L.K.W., Soetaert W., Lin C.S.K. Efficient sophorolipids production using food waste // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 232. P. 1–11. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.326.

13. Зеников В.И. Методика расчета состава смеси при компостировании // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2016. № 1. С. 47–48.

14. Dai X., Xu Y., Lu Y., Dong B. Recognition of the key chemical constituents of sewage sludge for biogas production // *RSC Advances*. 2017. Vol. 7, iss. 14. P. 2033–2037. DOI: 10.1039/c6ra26180a.

15. Benhamou A., Fazouane F. Energy valorization of sludge from the wastewater treatment plant of boumerdes by biogas product // *Journal of Materials and Environmental Science*. 2013. Vol. 4, iss. 5. P. 639–648.

16. Gutierrez M.C., Serrano A., Siles J.A., Chica A.F., Martín M.A. Centralized management of sewage sludge and agro-industrial waste through co-composting // *Journal of Environmental Management*. 2017. Vol. 196. P. 387–393. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.03.042.

17. Czekala W., Dach J., Przybył J., Mazurwiekiwcz J., Janczak D., Lewicki A., Smurzyńska A., Kozłowski K. Composting of sewage sludge with solid fraction of digested pulp from agricultural biogas plant // *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 30. P. 1–8. DOI: 10.1051/e3sconf/20183002001.

18. Ekstrand E.M., Bjorn A., Karlsson A., Schnurer A., Kanders L., Yekta S.S., Karlsson M., Moestedt J. Identifying targets for increased biogas production through chemical and organic matter characterization of digestate from full-scale biogas plants: what remains and why? // *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*. 2022. Vol. 15, iss. 1. P. 1–22. DOI: 10.1186/s13068-022-02103-3.

19. Караева Ю.В., Тимофеева С.С., Гильфанов М.Ф. Возможности применения эффлюента биогазовой установки // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. № 2 (50). С. 68–74. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-2-68-74.

20. Pertiwinigrum A., Budyanto E.C., Hidayat M., Soeherman Y., Habibi M.F. Making organic fertilizer using sludge from biogas production as carrier agent of *Trichoderma harzianum* // *Journal of Biological Sciences*. 2017. Vol. 17, iss. 1. P. 21–27. DOI: 10.3923/jbs.2017.21.27.

21. Идигенов Б.Б., Гамм Т.А., Гривко Е.В. Обоснование экобиотехнологии получения органического вещества при переработке больших объемов птичьего помета методом компостирования с внесением эффлюента // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2024. № 3–2. С. 17–22.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
Гамм Тамара Алексеевна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры экологии и природопользования; Оренбургский государственный университет (г. Оренбург, Российская Федерация). E-mail: hammtam@mail.ru. Гривко Елена Васильевна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры экологии и природопользования; Оренбургский государственный университет (г. Оренбург, Российская Федерация). E-mail: grivko-ev@mail.ru. Гамм Алексей Абрамович, соискатель кафедры экологии и природопользования; Оренбургский государственный университет (г. Оренбург, Российская Федерация). E-mail: kot82@mail.ru.	Gamm Tamara Alekseevna, doctor of agricultural sciences, associate professor, professor of Ecology and Environmental Management Department; Orenburg State University (Orenburg, Russian Federation). E-mail: hammtam@mail.ru. Grivko Elena Vasilievna, candidate of pedagogical sciences, associate professor of Ecology and Environmental Management Department; Orenburg State University (Orenburg, Russian Federation). E-mail: grivko-ev@mail.ru. Gamm Alexey Abramovich, applicant of Ecology and Environmental Management Department; Orenburg State University (Orenburg, Russian Federation). E-mail: kot82@mail.ru.

Для цитирования:

Гамм Т.А., Гривко Е.В., Гамм А.А. Результаты исследования химического состава шлама биогазовой станции при переработке навоза КРС в смеси с птичьим помётом и просроченными пищевыми продуктами // *Самарский научный вестник*. 2025. Т. 14, № 2. С. 8–13. DOI: 10.55355/snv2025142101.