

## ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПРИ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Н. Е. Сосновская, В. А. Ракович, О. Г. Красноберская, Е. А. Добринец

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

**Аннотация.** Изучено влияние добавок соломы, льнотресты и опилок, а также биошлама биогазовых установок на трансформацию органического вещества в ходе биотехнологической переработки. Показано, что групповой состав исследуемых смесей изменяется с увеличением содержания гуминовых веществ (ГВ) на 3,5–39,8 % и снижением содержания трудногидролизуемых ГВ на 35,0–79,9 % для всех исследованных композиций по сравнению с исходным содержанием. В процессе компостирования смесей снижается содержание водорастворимых веществ (ВРВ) в вариантах с опилками и соломой на 15,3 и 3,9 %, а в вариантах с биошламом и льнотрестой содержание ВРВ возрастает на 18,3 и 1,8 % соответственно. Для всех исследованных составов, за исключением варианта с соломой, характерно увеличение содержания гуминовых кислот (ГК) в водных экстрактах с ростом температуры сушки гранул органоминеральных удобрений. Максимальное содержание ГК наблюдается в водных экстрактах гранул удобрений на основе компоста с соломой и достигает 2,39 % на сухое вещество. В варианте с биошламом содержание ГК в водных экстрактах составляет 1,37 и 1,85 % при температуре сушки гранул 90 и 110 °C соответственно, что позволяет рекомендовать полученные биокомпости на основе вторичного сырья для получения гранулированных органоминеральных удобрений.

**Ключевые слова:** гранулированные органоминеральные удобрения; биокомпости; вторичное сырье; гуминовые вещества.

**Для цитирования.** Сосновская Н. Е., Ракович В. А., Красноберская О. Г., Добринец Е. А. Оценка трансформации органического вещества при биотехнологической переработке вторичного сырья для получения гранулированных органоминеральных удобрений // Природопользование – 2025. – № 1. – С. 168–179.

## EVALUATION OF ORGANIC MATTER TRANSFORMATION DURING BIOTECHNOLOGICAL PROCESSING OF SECONDARY RAW MATERIALS FOR PRODUCTION OF GRANULATED ORGANOMINERAL FERTILIZERS

N. E. Sosnovskaya, V. A. Rakovich, O. G. Krasnoberskaya, E. A. Dobrinets

*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

**Abstract.** The influence of straw, flax, and sawdust additives, as well as bio sludge from biogas plants on the transformation of organic matter during biotechnological processing has been studied. It is shown that the group composition of the studied mixtures changes with the increase of humic substances (HS) content by 3.5–39.8 % and decrease of difficult hydrolysable HS content by 35.0–79.9 % for all the studied compositions in comparison with the initial one. In the process of composting of mixtures, the content of water-soluble substances (WSS) decreased in variants with sawdust and straw by 15.3 and 3.9 %, and in variants with bio sludge and flax thistle the content of WSS increased by 18.3 and 1.8 %, respectively. For all investigated compositions, except for the variant with straw, the increase of humic acid (HA) content in aqueous extracts with increasing drying temperature of organomineral fertilizer granules is characteristic. The maximum HA content is observed in aqueous extracts of fertilizer granules based on compost with straw and amounts to 2.39 % of dry matter. In the variant with bio sludge, the content of HA in aqueous extracts was 1.37 and 1.85 % at the drying temperature of granules 90 and 110 °C, respectively, which allows us to recommend the obtained bio-composts based on secondary raw materials for the production of granular organomineral fertilizers.

**Keywords:** granular organomineral fertilizers; biocomposts; secondary raw materials; humic substances.

**For citation.** Sosnovskaya N. E., Rakovich V. A., Krasnoberskaya O. G., Dobrinets E. A. Evaluation of organic matter transformation during biotechnological processing of secondary raw materials for the production of granulated organomineral fertilizers. *Nature Management*, 2025, no. 1, pp. 168–179.

**Введение.** Одной из многочисленных экологических проблем современной цивилизации является утилизация отходов производства и потребления, в том числе осадка сточных вод, биошлама биогазовых установок, опилок, льнотресты. В контексте устойчивого развития наиболее перспективным способом их утилизации является компостирование. Компост не только обогащает почву гумусом и питательными веществами, но и улучшает ее структуру. Благодаря этому почва становится более рыхлой: она проницаема для воздуха и удерживает нужное количество воды.

Для более рационального и эффективного использования перспективно готовить компосты из смеси навоза с влагопоглощающими органосодержащими материалами (опилками, лигнином, корой, соломой злаковых культур), которые также являются массовыми отходами сельского хозяйства, деревообрабатывающей промышленности. Полученные компосты можно применять для удобрения земель, отводимых под посадки древесно-кустарниковых насаждений, питомников, парков; под долголетние культурные сенокосно-пастбищные угодья; под технические культуры, а также при рекультивации земель. Смеси каустобиолитов с навозом отличаются значительно большей вариабельностью органических составляющих, их биологической активностью и повышенным содержанием водорастворимых питательных элементов для растений.

Объединение в сложные компосты отходов с различными морфологическими и химическими свойствами, отличающимися плотностью и влажностью, химическим и биологическим составом, определяет значительные колебания численности различных микроорганизмов [1]. В сложных компостах формируются сообщества микроорганизмов с самыми разными функциями. При смешивании различных отходов по истечении одной – двух недель развития организмы довольно быстро объединяются в функциональные группы по использованию в качестве ресурса органического вещества и его трансформацию в гумус, а также в органические кислоты, аминокислоты, ферменты и другие соединения [2]. В биомассе сложного компоста доля микроорганизмов в составе органического вещества доходит до весьма значительных величин, что существенно удлиняет круговорот углерода и азота [3]. Продуманная компоновка различных отходов в сложном компосте выравнивает реакцию среды сложного комплекса на основе химической реакции нейтрализации в целом всей подобранный смеси [4].

Особая ценность соломы как органического удобрения состоит в присущем ей высоком коэффициенте гумификации, в результате которой из 1 т соломы может синтезироваться около 180 кг гумуса, в то время как из 1 т соломистого навоза образуется всего 50–60 кг гумуса [3]. Однако разложение соломы в почве тормозится из-за низкого содержания доступного для микроорганизмов источника углерода. Поэтому предварительное компостирование соломы перед внесением в почву повышает ее удобрительную ценность. Одним из способов компостирования соломы является применение в качестве стимулятора протекающих микробиологических процессов легкогидролизуемого органического вещества (ЛГВ).

Опилки, как и другие отходы распиливания древесины, являются хорошим материалом для изготовления удобрений и компоста. В зависимости от породы древесины естественное перегнивание в таких условиях составляет 1–3 года, а подъем температуры в компосте составляет 1–5 °С [4]. Добавление к опилкам помета или навоза сокращает время перегнивания до 6–10 месяцев, а добавление препаратов, ускоряющих размножение бифидобактерий, – до 3–5 месяцев. Свежие опилки богаты углеводами и при непосредственном внесении в почву вызывают бурное развитие микроорганизмов, которые для своей жизнедеятельности поглощают из почвы очень много минерального азота. Это обстоятельство вызывает денитрификацию почвы – закрепление в ней азота, и следовательно, временную недоступность его для растений, которых угнетает азотное голодание. Только после отмирания соответствующих поколений микроорганизмов минеральный азот почвы вновь становится доступным растениям [3]. При компостировании опилок с навозом, птичьим пометом и фекалиями азот, образующийся при разложении этих материалов, поглощается опилками. Потери его сокращаются, кроме того, в компостах с опилками улучшаются физические свойства фекалий и птичьего помета [5].

Особенным видом альтернативной энергии является получение и использование биогаза. В биогазовой установке субстраты (отходы разных видов) поступают в биореактор, где находятся специальные бактерии, в результате жизнедеятельности которых образуется конечный газ – метан. В качестве исходного материала могут выступать различные растительные отходы, навоз, птичий помет, древесные и бытовые отходы [6, 7]. После брожения отходов нитраты и нитриты в них переходят в более безопасный аммонийный азот. Кроме того, другие базовые питательные элементы – фосфор и калий – почти полностью остаются в шламе [8].

Шлам после производства биогаза посредством анаэробного брожения органических отходов может быть использован как основа органических удобрений. Удобрения, полученные из шлама после анаэробного сбраживания отходов, могут быть либо полезными, либо губительными для окружающей среды. Это связано с недостаточно отработанной технологией подготовки органических удобрений к применению. Если биошлам, полученный из птичьего помета, после сепарации может применяться

в жидким виде для полива при выращивании сельскохозяйственных культур, а твердая фракция после сушки превращаться в гранулированное удобрение [8], то при использовании в качестве сырья бытовых отходов необходимо разбавлять полученный биошлам другими видами удобрений для предотвращения негативного влияния на окружающую среду.

Согласно Национальной стратегии по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь к 2035 г. уровень использования органической части твердых коммунальных отходов (ТКО) (компостирование и биогаз) должен составить 23 %. В настоящее время доля компостирования отходов в нашей стране не превышает 1,5 % [9].

Переработанные в биогазовых установках органические отходы превращаются в биомассу, которая содержит значительное количество питательных веществ и может быть использована в качестве биоудобрения и кормовых добавок. Гумусные материалы, образующиеся при сбраживании, улучшают физические свойства почвы, а минеральные вещества служат источником энергии и питанием для деятельности почвенных микроорганизмов, что способствует повышению усвоения питательных веществ растениями. Основное преимущество биоудобрений заключается в сохранении в легко усваиваемой форме практически всего азота и других питательных веществ, содержащихся в исходном сырье. Значительным преимуществом биоудобрений перед навозом, перепревшим в естественных условиях, является то, что при сбраживании навоза в биогазовых установках погибает значительная часть яиц гельминтов, патогенных микроорганизмов и семян сорняков, содержащихся в навозе [10, 11].

Важными органическими веществами, присутствующими в биоудобрениях, являются гуминовые кислоты (ГК). Они повышают сопротивляемость растений неблагоприятным условиям внешней среды: засухе, высоким и низким температурам, токсичным веществам (пестицидам, гербицидам, тяжелым металлам), повышенной радиации. ГК способствуют повышению всхожести семян, ускорению роста и развития растений, сокращению вегетационного периода, более раннему (на 8–10 дней) созреванию и увеличению урожайности сельскохозяйственных культур. Содержание ГК в биоудобрениях составляет от 13 до 28 % на сухое вещество, а их концентрация зависит от температуры процесса сбраживания сырья [11].

Содержание ГК в биоудобрении особо важно для низкогуминовых почв. Применение биоудобрений приводит к быстрой гумификации растительных остатков в почвах, помогает уменьшить уровень эрозии за счет формирования стабильного гумуса и повышает содержание питательных веществ, улучшает гигроскопичность, увеличивает амортизирующие и регенерирующие качества почв.

Применение удобрения в виде гранул имеет ряд преимуществ: на практике внесение гранул менее затратно, чем внесение жидких удобрений или порошков, более продолжителен период воздействия на растения, что крайне важно для веществ с низкой нормой внесения в почву, но с постоянной потребностью их у растений. Гранулирование представляет собой совокупность физико-химических процессов, обеспечивающих формирование частиц нужной формы, размеров, структуры и физических свойств. Данный процесс отвечает за влажность, размер и прочность готового продукта [12].

Цель работы – исследовать трансформацию органического вещества в ходе биотехнологической переработки отходов растениеводства и деревообработки, а также биошлама биогазовых установок в смеси с навозом и торфом с получением биогумуса для обоснования составов новых видов гранулированных органоминеральных удобрений, обеспечивающих экономию питательных веществ за счет уменьшения их вымывания и охрану окружающей среды.

**Материалы и методы исследований.** Для исследования использовали тростниковый торф низинного типа из торфяного месторождения Гало-Ковалевское, степень разложения 30–35 %, зольность 9,5 %, влажность 52 %. В качестве отходов растениеводства и деревообработки выбраны солома колосовых, льнотреста, опилки и навоз крупного рогатого скота (КРС) бесподстилочный. Биошлам получен на биогазовой станции на РУСП СГЦ «Западный» Брестского района из четырех видов отходов, таких как 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 %) [9].

Динамику качественного и количественного изменения органического вещества в процессе биотехнологической переработки (компостирования) изучали на примере смесей торфа, бесподстилочного навоза КРС с биошламом биогазовых установок, соломой, опилками и льнотрестой. Соотношение по массе торфа, навоза и добавок – 2 : 2 : 1, общая масса смеси – 2,5 кг. Компостирование осуществляли в термостате при температуре 35 °C, аэрацию смесей проводили каждые две недели, длительность опыта составила 3 месяца. Влажность смесей в течение опыта поддерживали на уровне 70 ± 2 %. Групповой анализ субстратов проводили по методике [13].

По окончании процесса компостирования смесей на их основе получили комплексные гранулированные органоминеральные удобрения (КГУ) пролонгированного действия марки (1,5 : 1,0 : 1,5). В качестве источника азота использовали карбамид, фосфора – аммонизированный суперфосфат,

калия – хлористый калий. Сформированные гранулы разделили на три образца и сушими до постоянного веса в термостатируемом шкафу при температурах 25, 90 и 110 °С соответственно. Для оценки эффективности пролонгированного действия из полученных смесей биогумуса гранул КГУ готовили серию растворов, моделирующих вымывание водорастворимых веществ (ВРВ) в естественных условиях. В фильтратах определяли pH и оптическую плотность (D 440, D 660), а также оценивали содержание водорастворимых ГК. Общее время эксперимента составило 360 ч.

Оценку биологической активности гранул КГУ проводили на семенах кукурузы в чашках Петри с применением водного экстракта. Повторность опыта – трехкратная.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты исследований показали, что зольность смесей в процессе компостирования возрастала во всех вариантах опыта (табл. 1). Минимальное ее увеличение отмечено в варианте с биошламом (на 8,7 % относительно исходного значения), максимальное – в варианте с соломой (на 15,3 %). В вариантах с льнотрестой и опилками зольность увеличилась на 13,4 и 9,9 % соответственно. Потери органического вещества составили 1,5–2,8 % по отношению к исходному содержанию.

**Таблица 1. Динамика влажности и зольности исходных компонентов и компостируемых смесей**

**Table 1. Dynamics of moisture and ash content of the original components and composted mixtures**

Вариант	Влажность, %	Органическое вещество, %	Зольность, %	Объемная масса, г/л	Потери ОВ, % к исходному
<i>Исходные компоненты</i>					
Навоз КРС	80,2	69,7	30,3	–	–
Торф	42,5	92,2	7,8	–	–
Биошлам	80,8	85,3	14,7	–	–
Льнотреста	5,7	86,7	13,3	–	–
Опилки	9,1	99,7	0,3	–	–
Солома	7,3	94,5	5,5	–	–
<i>1-й отбор</i>					
Торф + навоз + биошлам	76,4	82,8	17,2	558,8	–
Торф + навоз + льнотреста	73,4	79,9	20,1	510,6	–
Торф + навоз + опилки	71,4	83,8	16,2	531,2	–
Торф + навоз + солома	72,9	82,3	17,7	289,2	–
<i>2-й отбор</i>					
Торф + навоз + биошлам	68,2	81,3	18,7	513,0	1,5
Торф + навоз + льнотреста	71,6	77,2	22,8	545,4	2,7
Торф + навоз + опилки	70,1	82,2	17,8	537,0	1,6
Торф + навоз + солома	69,5	79,5	20,4	513,2	2,8

Результаты исследований показали (рис. 1), что в процессе компостирования смесей происходит снижение содержания ВРВ в вариантах с опилками и соломой (на 15,3 и 3,9 % соответственно), а в вариантах с биошламом и льнотрестой содержание ВРВ возрастает на 18,3 и 1,8 % соответственно.

Максимальное содержание гуминовых веществ (ГВ) в начале опыта отмечено в варианте с биошламом, минимальное – в варианте с опилками. В конце опыта меньше всего ГВ было в варианте с соломой, больше всего – по-прежнему в варианте с биошламом. В процессе компостирования смесей происходило увеличение содержания ГВ во всех вариантах опыта. Так, содержание ГВ в вариантах с биошламом, льнотрестой, опилками и соломой возросло на 3,5; 11,2; 39,8 и 25,5 % соответственно (рис. 2).

В начале опыта максимальное содержание ЛГВ отмечено в варианте с биошламом, минимальное – в варианте с соломой. В конце опыта меньше всего ЛГВ было в варианте с опилками, больше всего – в варианте с соломой. Динамика содержания ЛГВ несколько отличалась от динамики ВРВ и ГВ. Так, в вариантах с льнотрестой и соломой содержание ЛГВ возросло на 7,1 и 51,3 %, а в вариантах с биошламом и опилками – снизилось на 15,8 и 15,0 % от исходного соответственно.

Следует отметить разницу в динамике процесса компостирования в варианте с соломой: в смеси с торфом произошло возрастание содержания ЛГВ в 1,5 раза, а без него – снижение, хоть и незначительное.

В начале опыта максимальное содержание трудногидролизуемых веществ (ТГВ) отмечалось в варианте с соломой, минимальное – в варианте с биошламом. В конце опыта, наоборот, меньше всего ТГВ наблюдалось в варианте с соломой, больше всего – в варианте с биошламом. В процессе компостирования смесей происходило снижение содержания ТГВ во всех вариантах опыта. Так, содержание ТГВ в вариантах с биошламом, льнотрестой, опилками и соломой снизилось на 35,0; 60,7; 58,4 и 79,9 % соответственно.

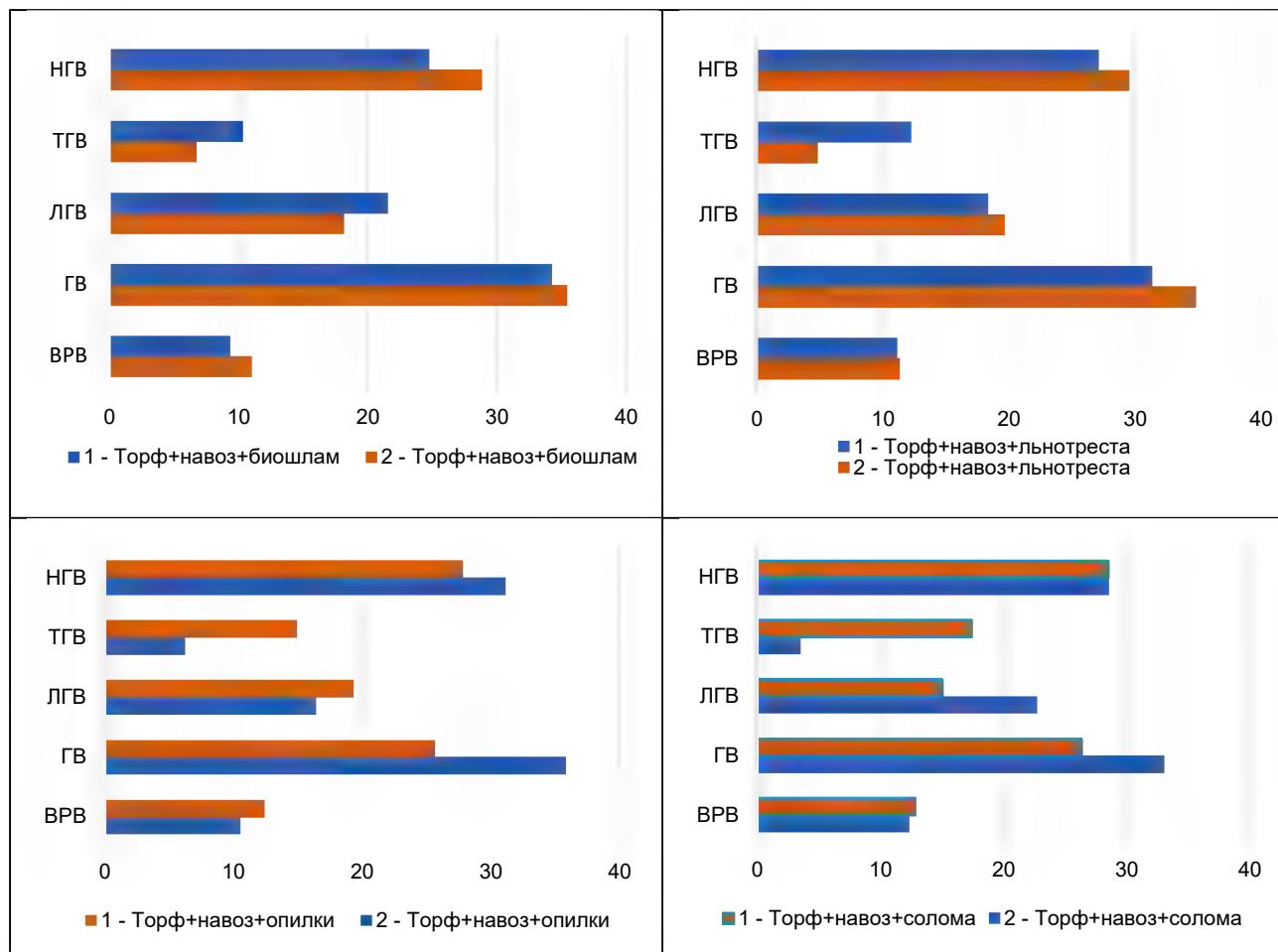


Рис. 1. Групповой состав субстратов в начале (1) и конце (2) процесса компостирования

Fig. 1. Group composition of substrates at the start (1) and finish (2) of the composting process

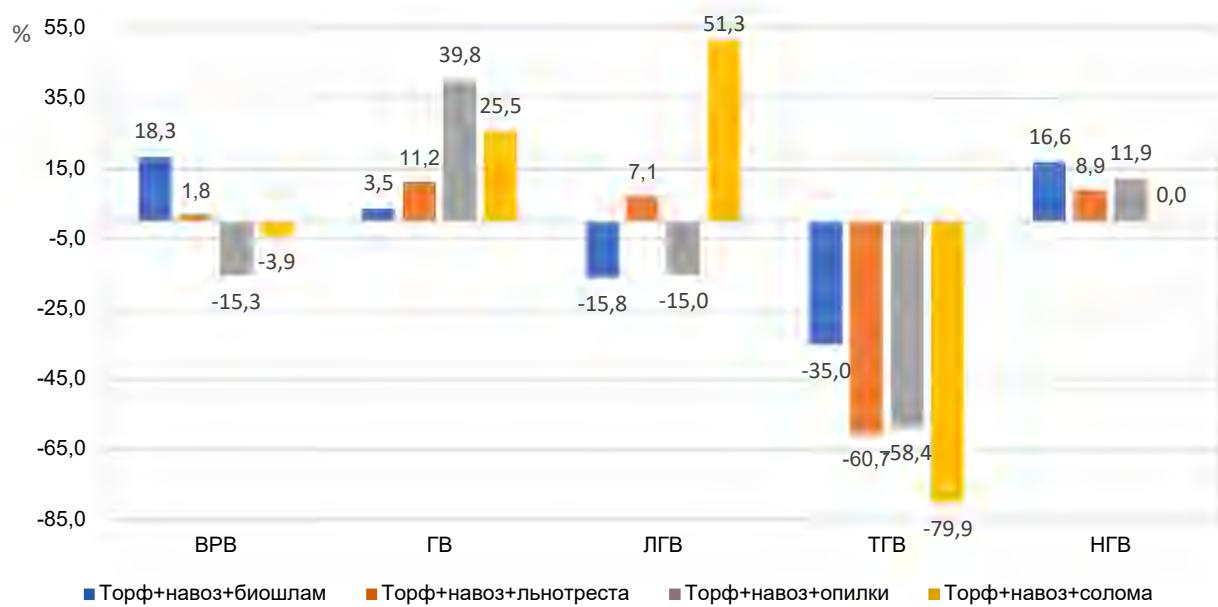


Рис. 2. Изменение группового состава субстратов в процессе компостирования

Fig. 2. Transformation in the group composition of substrates during the composting process

В начале опыта максимальное содержание негидролизуемых веществ (НГВ) отмечено в варианте с соломой, минимальное – в варианте с биошламом. В конце опыта меньше всего НГВ было в варианте с соломой, больше всего – в варианте с опилками. В процессе компостирования смесей происходило увеличение содержания НГВ в вариантах с биошламом, льнотрестой и опилками (на 16,6; 8,9 и 11,9 % соответственно), а в варианте с соломой содержание НГВ осталось на том же уровне.

Таким образом, групповой состав исследуемых смесей и его динамика в течение опыта имели различия в соответствии с природой добавок. Во всех смесях происходило увеличение содержания ГВ и НГВ. Снижалось содержание ТГВ. Изменение содержания ВРВ и ЛГВ носило неоднозначный характер.

В опыте, проводившемся в аналогичных условиях с тем же сырьем, но без торфа, содержание ВРВ, ГВ и ЛГВ было значительно ниже. Это свидетельствует о том, что торф в составе смесей значительно снижает потери органического вещества в процессе компостирования [14].

Агрохимическая характеристика смесей в течение процесса компостирования приведена в табл. 2. Изменения величины pH смесей в течение эксперимента были незначительными, наблюдается снижение величины pH на 1,4–6,9 % к окончанию компостирования. В начале опыта максимальное содержание валового азота отмечено в варианте с биошламом, минимальное – в варианте с опилками. В процессе компостирования смесей происходило увеличение содержания валового азота в вариантах с льнотрестой, опилками и соломой (на 4,0; 22,7 и 16,7 % соответственно), а в варианте с биошламом – снижение на 13,8 %.

**Таблица 2. Агрохимическая характеристика смесей в течение процесса компостирования**

**Table 2. Agrochemical characteristics of mixtures during the composting process**

Вариант	pH <sub>KCl</sub>	Содержание валовых форм, % на абсолютно сухое вещество		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Навоз КРС	8,3	2,0	2,5	1,4
Торф	5,4	2,8	0,5	0,02
<i>1-й отбор</i>				
Торф + навоз + биошлам	7,2	2,9	1,9	0,8
Торф + навоз + льнотреста	7,4	2,5	1,4	0,9
Торф + навоз + опилки	7,1	2,2	1,1	0,5
Торф + навоз + солома	7,1	2,4	0,9	1,2
<i>2-й отбор</i>				
Торф + навоз + биошлам	6,7	2,5	1,7	0,7
Торф + навоз + льнотреста	7,1	2,6	1,3	1,1
Торф + навоз + опилки	6,9	2,7	1,0	0,7
Торф + навоз + солома	7,0	2,8	1,2	1,3

В начале опыта максимальное содержание валового фосфора отмечено в варианте с биошламом, минимальное – в варианте с соломой. В процессе компостирования смесей происходило снижение содержания валового фосфора в вариантах с биошламом, льнотрестой и опилками в среднем на 10 %.

В начале опыта максимальное содержание валового калия отмечено в варианте с льнотрестой, минимальное – в варианте с опилками. В процессе компостирования смесей происходило увеличение содержания валового калия в вариантах с льнотрестой, опилками и соломой на 22,2; 40,0 и 8,3 % соответственно.

В табл. 3 представлены данные о влиянии состава органической части на величину pH водных экстрактов гранул КГУ, полученных на основе высокогумусированных компостов при разных температурах сушки в промывном режиме. Исследование величины pH водных экстрактов КГУ от температуры сушки показало, что повышение температуры сушки гранул на основе торфа (контроль) сопровождалось увеличением pH водных экстрактов с 4,08 до 5,58 за первые 24 ч экспозиции. Аналогичная зависимость наблюдалась и для всех приготовленных составов. Так, для гранул КГУ с компостом с биошламом pH водных экстрактов увеличивалась от 4,70 до 5,69, для компоста с льнотрестой – от 4,73 до 5,74, для компоста с опилками – от 4,95 до 5,72, для компоста с соломой – от 4,94 до 5,77. В первую очередь это связано с разложением карбамида при повышении температуры сушки с образованием гуматов аммония, которые переходят в водный раствор.

С течением времени величина pH водных экстрактов гранул КГУ увеличивалась для всех исследованных композиций. За 360 ч экспозиции величина pH водных экстрактов КГУ с компостом из биошлама составила 6,13–6,49, для компоста с льнотрестой – 6,18–6,57, для компоста с опилками – 6,28–6,75, для компоста с соломой – 6,35–6,58. Несколько ниже этот показатель был для гранул КГУ, полученных на основе торфа, и составил 5,24, 5,74, и 6,29 при увеличении температуры сушки с 25 до 90 и 110 °C соответственно.

**Таблица 3. Влияние состава органической части гранул комплексных гранулированных удобрений при разных температурах сушки на величину pH водных экстрактов****Table 3. The effect influence of the composition of the organic part of granules of the complex granular fertilizers at different drying temperatures on the pH value of water extracts**

Вариант	Температура сушки, °C	pH			
		24 ч	72 ч	168 ч	360 ч
Торф + навоз + биошлам	25	4,70	5,20	5,69	6,13
	90	5,66	6,27	6,58	6,49
	110	5,69	6,15	6,33	6,35
Торф + навоз + льнотреста	25	4,73	5,24	5,72	6,18
	90	5,62	6,26	6,60	6,57
	110	5,74	6,17	6,36	6,41
Торф + навоз + опилки	25	4,95	5,43	5,86	6,28
	90	5,96	6,28	6,54	6,75
	110	5,72	6,09	6,33	6,50
Торф + навоз + солома	25	4,94	5,42	5,92	6,35
	90	5,84	6,17	6,40	6,58
	110	5,77	6,17	6,45	6,55
Контроль (торф)	25	4,08	4,58	4,89	5,24
	90	4,63	5,01	5,36	5,74
	110	5,16	5,77	6,17	6,29

Фотометрические методы широко используются для определения содержания ГВ в растворах и различных гуминовых препаратах [15–18]. В основе большинства фотометрических методов анализа лежит основной закон поглощения света (объединенный закон Бугера – Ламберта – Бера), согласно которому оптическая плотность раствора прямо пропорциональна молярному коэффициенту поглощения, концентрации поглощающего вещества и толщине слоя раствора.

Зависимость интенсивности поглощаемого света от длины волны характеризует электронный спектр поглощения рассматриваемой молекулы. Электронные спектры поглощения ГК в видимой области (400–700 нм) имеют форму экспоненты с постепенным снижением оптической плотности по мере увеличения длины волны. Согласно современным представлениям, окраска ГК обусловлена сопряженными системами с участием кислородных групп (структурными ячейками по Д. С. Орлову), изолированными друг от друга в молекулах ГК и ведущими себя независимо по отношению к электромагнитным колебаниям. В результате этого электронные спектры поглощения ГК в видимой и ультрафиолетовой областях являются суммой абсорбционных кривых изолированных участков и вследствие полидисперсности и высокомолекулярности ГК имеют сплошной характер [19]. Считается, что структурные ячейки ГК состоят из ароматических фрагментов, соединенных алифатическими мостиками, обеспечивающими полисопряжение [19, 20]. Значительную роль в структурах полисопряжения ГК играют кислородсодержащие функциональные группы (карбоксильные, карбонильные, хиноидные) [20, 21].

В работе [20] представлены результаты спектрофотометрического определения содержания ГК в угле- и торфощелочных реагентах. Коэффициент чувствительности определения ГВ в растворах угле- и торфощелочных реагентов при 440 нм выше, чем при 600–660 нм. Отношения оптических плотностей на двух длинах волн составляют  $D_{440} : D_{660} = 2,95$  для ГВ из угля и  $D_{440} : D_{660} = 4,94$  для растворов ГВ из торфа, что отвечает разной относительной степени конденсированности молекул ГВ.

Исследования изменения оптической плотности водных экстрактов гранул КГУ в зависимости от состава органической части, полученных при разных температурах сушки в промывном режиме, показали (табл. 4), что максимальная оптическая плотность выявлена в образцах, полученных при температуре сушки 110 °C, что свидетельствует о переходе растворимых ГВ в водный раствор. Снижение температуры сушки приводит к уменьшению оптической плотности для всех исследованных образцов в первые 24 ч наблюдения. С течением времени оптическая плотность водных растворов снижается, что может быть связано с уменьшением концентрации ГВ.

Оптическая плотность, определенная за равные промежутки времени, остается значительно выше для образцов, полученных при температурах 90 и 110 °C, чем для образцов с температурой сушки 25 °C. Увеличение оптической плотности объясняется не только возрастанием концентрации ГВ в экстракте, но и изменениями в их молекулярной структуре при нагревании, в результате которых увеличиваются системы полисопряжения в молекулах. Одним из вероятных механизмов этого может являться реакция карбонил-аминной конденсации, весьма распространенная в природных и химико-технологических процессах, в том числе при химической переработке торфа, поскольку в нем имеются карбонильные и аминогруппы, способные к активному взаимодействию. Это однако не исключает и других возможных механизмов увеличения систем полисопряжения в ГВ при нагревании КГУ. Такое явление согласуется с описанным выше эффектом возможных химических реакций с увеличением систем полисопряжения в молекулах ГВ.

**Таблица 4. Влияние состава органической части на величину оптической плотности и коэффициент цветности D 440 : D 660 водных экстрактов гранул комплексных гранулированных удобрений при разных температурах сушки**

**Table 4. The effect of organic part composition on optical density and color coefficient D 440 : D 660 of water extracts of granules of the complex granular fertilizers at different drying temperatures**

Вариант	Температура сушки, °C	D 440 (нм)				D 440 : D 660			
		24 ч	72 ч	168 ч	360 ч	24 ч	96 ч	264 ч	432 ч
Торф + навоз + биошлам	25	0,107	0,045	0,028	0,026	15,29	6,00	8,00	25,50
	90	0,745	1,060	0,441	0,084	12,31	7,97	7,47	13,92
	110	1,053	1,714	0,614	0,164	9,52	6,93	6,71	8,63
Торф + навоз + льнотреста	25	0,105	0,047	0,023	0,025	17,42	6,20	11,25	24,50
	90	0,657	1,003	0,468	0,097	13,41	8,29	7,67	12,87
	110	1,198	1,788	0,589	0,173	9,11	6,89	6,73	8,02
Торф + навоз + опилки	25	0,096	0,041	0,023	0,033	15,92	4,76	11,25	7,22
	90	1,084	0,827	0,363	0,231	9,02	7,42	7,26	7,45
	110	1,286	1,133	0,508	0,244	9,18	7,24	6,90	7,28
Торф + навоз + солома	25	0,115	0,045	0,024	0,035	14,31	4,94	11,75	7,78
	90	1,235	1,165	0,356	0,215	9,06	7,28	6,98	7,68
	110	1,395	1,328	0,548	0,240	9,18	7,23	6,93	7,73
Контроль (торф)	25	0,193	0,205	0,225	0,242	96,50	34,17	63,75	121,5
	90	0,390	0,415	0,426	0,458	18,57	8,64	9,46	91,6
	110	0,405	0,565	0,609	0,686	7,94	7,53	9,82	57,2

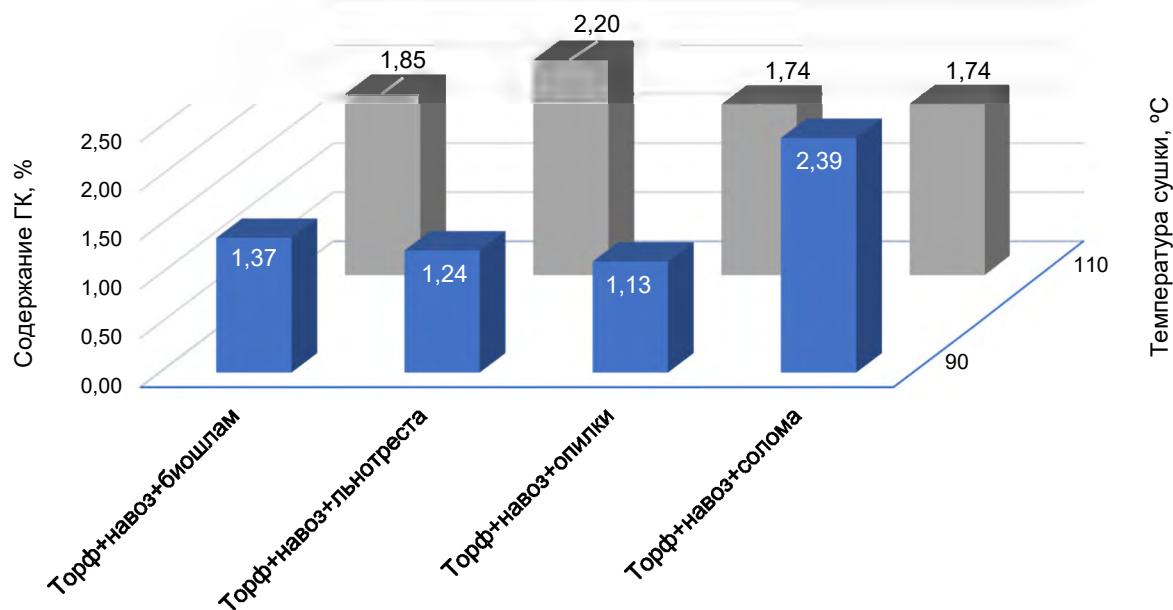
Известно [16], что величина оптической плотности растворов ГВ зависит как от концентрации их в растворе, так и от размера систем полисопряжения в молекулах ГВ. Величина D 440 : D 660 характеризует соотношение между поглощением в коротковолновой (440 нм) и длинноволновой (660 нм) частях спектра видимой области. Чем меньше эта величина, тем более конденсированы ГК, поскольку в числителе указана величина оптической плотности, обусловленная поглощением алифатических и ароматических несконденсированных фрагментов молекул, а в знаменателе – обусловленная поглощением конденсированных ароматических фрагментов молекул.

Результаты исследования показали (табл. 4), что за первые 24 ч настаивания отношение оптических плотностей D 440 : D 660 для всех водных экстрактов исследованных составов гранул КГУ снижалось с увеличением температуры сушки гранул. Это может свидетельствовать об увеличении систем полисопряжения в молекулах ГВ. За следующие 72 ч экспозиции отношения оптических плотностей еще снизились и колебались в диапазоне 8,29–6,00, что свидетельствует о переходе в раствор более конденсированных молекул ГВ при всех температурах сушки гранул. К 360 ч экспозиции эта тенденция сохранялась для экстрактов из образцов, полученных при температуре сушки 90–110 °C. Исключение составили образцы гранул КГУ с биошламом, льнотрестой и торфом, полученные при температуре сушки гранул 25 °C. Величина отношения оптических плотностей растворов для них составила 25,5; 24,5 и 121,5 соответственно, что может свидетельствовать об отсутствии химических реакций, приводящих к увеличению систем полисопряжения в молекулах ГВ.

На рис. 3 представлена зависимость влияния состава и температуры сушки гранул КГУ на содержание ГК в водных экстрактах.

Показано, что максимальное содержание ГК наблюдалось в водных экстрактах варианта гранул КГУ с компостом с соломой и составило 2,39 % на сухое вещество при температуре сушки гранул 90 °C. Почти такое же содержание ГК наблюдалось в водных экстрактах варианта гранул КГУ с компостом с льнотрестой и составило 2,20 % при температуре сушки гранул 110 °C. Самые низкие значения содержания ГК отмечены в варианте с опилками. В варианте с биошламом содержание ГК в водных экстрактах составило 1,37 и 1,85 % при температуре сушки гранул 90 и 110 °C соответственно. Следует отметить, что для всех исследованных составов КГУ, за исключением варианта с соломой, характерно увеличение содержания ГК в водных экстрактах с ростом температуры сушки гранул.

Максимальное значение энергии прорастания отмечено для вариантов с биошламом и льнотрестой при температуре сушки гранул 25 °C (на 5,4 и 2,3 % выше контроля соответственно), а для вариантов с опилками и соломой – при температуре сушки 110 °C. Причем в варианте с опилками энергия прорастания составила 97,0 % к контролю, а в варианте с соломой – 108,4 %.



**Рис. 3. Влияние состава органической части и температуры сушки гранул комплексных гранулированных удобрений на содержание гуминовых кислот в водных экстрактах**

**Fig. 3. Effect of the composition of the organic part and the drying temperature of granules of the complex granular fertilizers on the humic acid content in water extracts**

Стопроцентная всхожесть отмечена в вариантах с биошламом и соломой при температуре сушки гранул 25 °C, в варианте с опилками – 110 °C, а в варианте с льнотрестой – 90 °C.

Таким образом, введение в состав компостируемой торфоналивной смеси 20 % биошлама биогазовых установок не ухудшило агрофизические и агрохимические свойства полученных из них гранул КГУ, а также не оказало негативного влияния на их биологическую (ростстимулирующую) активность.

**Заключение.** Проведенные исследования показали, что в процессе ферментации смесей торфа и бесподстилочного навоза КРС с биошламом биогазовых установок, соломой, опилками и льнотрестой происходит трансформация органического вещества с получением биогумуса на основе вторичного сырья, применимого для производства гранулированных органоминеральных удобрений.

Показано, что групповой состав исследуемых смесей изменяется с увеличением содержания ГВ на 3,5–39,8 % и снижением содержания ТГВ на 35,0–79,9 % для всех исследованных композиций по сравнению с исходным. В процессе компостирования смесей происходит снижение содержания ВРВ в вариантах с опилками и соломой на 15,3 и 3,9 % соответственно, а в вариантах с биошламом и льнотрестой содержание ВРВ возрастает на 18,3 и 1,8 % соответственно.

Отмечено, что рост температуры сушки от 25 до 110 °C гранул на основе компостов для всех приготовленных составов сопровождается увеличением pH водных экстрактов с 4,08 до 5,77 за первые 24 ч экспозиции, что связано в первую очередь с разложением карбамида и образованием гуматов аммония. При этом также возрастают значения оптической плотности экстрактов – с 0,096 до 1,395, и снижается коэффициент цветности – с 15,92 до 9,02, что свидетельствует не только об образовании ВГВ и возрастании их концентраций в экстракте, но и об изменениях в их молекулярной структуре при нагревании, в результате которых увеличиваются системы полисопряжения в молекулах.

Для всех исследованных составов КГУ, за исключением варианта с соломой, характерно увеличение содержания ГК в водных экстрактах с ростом температуры сушки гранул. Максимальное содержание ГК наблюдается в водных экстрактах гранул КГУ с компостом с соломой и достигает 2,39 % на сухое вещество. Самые низкие значения содержания ГК отмечены в варианте с опилками. В варианте с биошламом содержание ГК в водных экстрактах составило 1,37 и 1,85 % при температуре сушки гранул 90 и 110 °C соответственно, что позволяет рекомендовать полученные биокомпосты на основе отходов для получения гранулированных органоминеральных удобрений.

### Список использованных источников

- Белюченко, И. С. Трофические аспекты формирования сложного компоста / И. С Белюченко // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 94(10). – С. 1–27.
- Белюченко, И. С. Сложный компост и его роль в улучшении почв / И. С Белюченко // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2012. – Т. 8, № 2. – С. 75–86.
- Белюченко, И. С. К вопросу о механизмах управления развитием сложных компостов / И. С Белюченко // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2012. – Т. 8, № 3. – С. 88–111.
- Белюченко, И. С. Применение органических и минеральных отходов для подготовки сложных компостов с целью повышения плодородия почв / И. С Белюченко // Труды КубГАУ. – 2012. – Т. 1, № 39. – С. 63–68.
- Получение биогаза из смесей биоотходов / Р. К. Нагорный, А. И. Лембович, Д. В. Шмыга, Н. А. Ванькевич // Биотехнологии микроорганизмов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 27–29 нояб. 2019 г. – Минск : БГУ, 2019. – С. 136–139.
- Яковчик С. Г. Опыт Беларуси по переработке навоза животных и помета птиц с использованием биогазовых технологий / С. Г. Яковчик, Н. Ф. Капустин // Экологически дружественное сельское и лесное хозяйство для будущих поколений : сб. науч. трудов Междунар. науч. конф. XXXVI CIOSTA CIGR V, Санкт-Петербург, 2015 г. / СПб. : Гос. агр. ун-т. – СПб., 2015. – С. 311–313.
- Бахов, Ж. К. Рациональные решения биотехнологической переработки сельскохозяйственных отходов / Ж. К. Бахов, Б. Ж. Муталиева, К. У. Коразбекова // Биотехнология. Взгляд в будущее : материалы II Междунар. науч. интернет-конф., Казань, 26–27 марта 2013 г. – Казань, 2013. – С. 16–19.
- Иовик, Л. Н. Использование сброшенного отхода биогазовой установки в качестве органического удобрения (аналитический обзор) / Л. Н. Иовик // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 1 (54). – С. 230–237.
- В РЭО заявили, что компостирование снизит объемы захоронения отходов на 11 млн тонн в год. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/16315411> (дата обращения: 19.12.2024).
- Плыщевский, С. В. Аэробное компостирование: теоретические основы / С. В. Плыщевский, А. Л. Ковш // Экология на предприятии. – 2021. – № 6. – С. 76–88.
- Белюченко, И. С. Влияние сложного компоста на физические свойства почвенного покрова / И. С Белюченко // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – № 95. – С. 275–294.
- Волин, К. С. Технология получения комплексных гранулированных гуматных удобрений и эффективность их применения / К. С. Волин, С. И. Жеребцов, И. П. Исмаилов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – № 6. – С. 24–35.
- Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск : Наука и техника, 1975. – 320 с.
- Научное обоснование методов получения экологически безопасных удобрений на основе органического сырья и способов эколого-экономического использования выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений до и после повторного заболачивания : отчет о НИР (заключ.) / НАН Беларуси, Ин-т природопользования ; рук. В. А. Ракович. – Минск, 2020. – 262 с. – № ГР 20181095.
- Орлов, Д. С. Практикум по биохимии гумуса / Д. С. Орлов, Л. А. Гришина, Н. Л. Ерошичева. – М. : МГУ, 1969. – 156 с.
- Физико-химические свойства гуминовых веществ торфа и бурого угля / Л. Г. Сивакова, Н. П. Лесникова, Н. М. Ким, Г. М. Ротова // Химия твердого топлива. – 2011. – № 1. – С. 3–8.
- Жданова, А. В. Изучение структурных компонентов и физико-химических свойств гуминовых веществ низкоминерализованных иловых сульфидных грязей как источника антиоксидантных лекарственных средств : автореф. дис. ... канд. фарм. наук / Жданова Алина Валитовна. – Самара, 2011. – 24 с.
- Проницаемость в ряду гумусовых кислот пелоидов / М. А. Кривопалова, Н. П. Аввакумова, М. Н. Глубокова, А. В. Жданова // Гуминовые вещества в биосфере : труды IV Всерос. конф. – СПб, 2007. – С. 51–54.
- Булатов, М. И. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа / М. И. Булатов, И. П. Калинкин. – Л. : Химия, 1986. – 432 с.
- Изучение систем полисопряжения гуминовых кислот торфа по генетическим рядам гумификации / В. П. Стригущий, Н. Н. Бамбалов, В. В. Марыганова, Л. Ю. Тычинская // Гуминовые вещества в биосфере : труды II Междунар. конф. – М., 2004. – С. 108–111.
- Орлов, Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д. С Орлов. – М. : Изд-во МГУ, 1990. – 324 с.

### References

- Belyuchenko I. S. *Troficheskie aspekty formirovaniya slozhnogo komposta* [Trophic aspects of complex compost formation]. *Nauchnyj zhurnal KubGAU* = *Scientific journal of KubSAU*, 2013, no. 94(10), pp. 1–27. (in Russian)
- Belyuchenko I. S. *Slozhnyj kompost i ego rol' v uluchshenii pochv* [Complex compost and its role in soil improvement]. *Ekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza* = *Ecological Bulletin of the North Caucasus*, 2012, vol. 8, no. 2, pp. 75–86. (in Russian)
- Belyuchenko I. S. *K voprosu o mekhanizmakh upravleniya razvitiem slozhnyh kompostov* [On the issue of mechanisms for managing the development of complex composts]. *Ekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza* = *Ecological Bulletin of the North Caucasus*, 2012, vol. 8, no. 3, pp. 88–111. (in Russian)

4. Belyuchenko I. S. *Primenenie organicheskikh i mineral'nyh othodov dlya podgotovki slozhnyh kompostov s cel'yu povysheniya plodorodiya pochv* [Use of organic and mineral waste for the preparation of complex composts in order to increase soil fertility]. *Trudy KubGAU = Papers KubSAU*, 2012, vol.1, no. 39. pp. 63–68. (in Russian)
5. Nagorny R. K., Lembovich A. I., Shmyga D. V., Vankevich N. A. *Poluchenie biogaza iz smesej bioothodov* [Obtaining biogas from mixtures of biowaste]. *Biotehnologii mikroorganizmov. Materiały Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii* [Biotechnology of microorganisms. Proceedings of the International scientific and practical conference]. Minsk, BSU Publ., 2019, pp. 136–139. (in Russian)
6. Yakovchik S. G., Kapustin N. F. *Opyt Belarusi po pererabotke navoza zhivotnyh i pometa ptic s ispol'zovaniem biogazovyh tekhnologij* [Experience of Belarus in processing animal manure and bird droppings using biogas technologies]. *Ekologicheski druzhestvennoe sel'skoe i lesnoe hozyajstvo dlya budushchih pokolenij. Sbornik nauchnyh trudov Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii XXXVI CIOSTA CIGR V* [Proc. of Int. sci. conf. XXXVI CIOSTA CIGR V "Environmentally friendly agriculture and forestry for future generations"]. St. Petersburg, State Agrarian University, 2015, pp. 311–313. (in Russian)
7. Bakhov Zh. K., Matalieva B. Zh., Korazbekova K. U. *Racional'nye resheniya biotehnologicheskoy pererabotki sel'skohozyajstvennyh othodov* [Rational solutions for biotechnological processing of agricultural waste]. *Materiały II Mezhdunarodnoj nauchnoj internet-konferencii «Biotehnologiya. Vzglyad v budushchee»* [Proc. of II Int. sci. internet-conf. "Biotechnology. A Look into the Future"]. Kazan, 2013, pp. 16–19. (in Russian)
8. Iovik L. N. *Ispol'zovanie sbrozhennogo othoda biogazovoj ustanovki v kachestve organicheskogo udobreniya (analiticheskij obzor)* [Use of fermented waste from a biogas plant as an organic fertilizer (analytical review)]. *Pochvovedenie i agrohimiya = Soil Science and Agrochemistry*, 2015, no. 1 (54), pp. 230–237. (in Russian)
9. VREO zayavili, chto kompostirovanie snizit ob'emy zahoroneniya othodov na 11 mln tonn v [REO stated that composting will reduce waste disposal volumes by 11 million tons per year]. Available at: <https://tass.ru/ekonomika/16315411> (accessed 19 December 2024).
10. Plyshevsky S. V., Kovsh A. L. *Aerobnoe kompostirovanie: teoretycheskie osnovy* [Aerobic composting. Theoretical foundations]. *Ekologiya na predpriyatiy = Ecology at the enterprise*, 2021, no. 6. pp. 76–88. (in Russian)
11. Belyuchenko I. S. *Vliyanie slozhnogo komposta na fizicheskie svojstva pochvennogo pokrova* [Effect of complex compost on the physical properties of the soil cover]. *Nauchnyj zhurnal KubGAU = Scientific journal of KubSAU*, 2014, no. 95, pp. 275–294. (in Russian)
12. Volin K. S. Zherebtsov S. I., Ismailov I. P. *Tekhnologiya polucheniya kompleksnyh granulirovannyh gumatnyh udobrenij i effektivnost' ih primeneniya* [Technology of obtaining complex granulated humate fertilizers and the efficiency of their application]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2016, no. 6, pp. 24–35. (in Russian)
13. Lishtvan I. I., Korol N. T. *Osnovnye svojstva torfa i metody ih opredeleniya* [Basic properties of peat and methods of their determination]. *Nauka i tekhnika = Science and Technology*, Minsk, 1975, pp 320. (in Russian)
14. *Nauchnoe obosnovanie metodov polucheniya ekologicheskogo bezopasnyh udobrenij na osnove organicheskogo syr'ya i sposobov ekologo-ekonomiceskogo ispol'zovaniya vybyvshih iz promyshlennoj eksploatacii torfyanyh mestorozhdenij do i posle povtornogo zabolachivaniya. Otchet o NIR (zaklyuchitel'nyj)* [Scientific substantiation of methods for obtaining environmentally friendly fertilizers based on organic raw materials and methods of ecological and economic use of peat deposits withdrawn from industrial exploitation before and after re-wetting. Research report (final)]. Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, supervisor V. A. Rakovich. Minsk, 2020, p. 262, St. Reg. no. 20181095. (in Russian)
15. Orlov D. S., Grishina L. A., Eroshicheva N. L. *Praktikum po biohimii gumusa* [Workshop on the biochemistry of humus]. Moscow, MSU, 1969. p. 156. (in Russian)
16. Sivakova L. G., Lesnikova N. P., Kim N. M., Rotova G. M. *Fiziko-himicheskie svojstva guminovyh veshchestv torfa i burogo uglya* [Physico-chemical properties of humic substances of peat and brown coal]. *Himiya tverdogo topliva = Solid Fuel Chemistry*, 2011, no. 1, pp. 3–8. (in Russian)
17. Zhdanova A. V. *Izuchenie strukturnykh komponentov i fiziko-himicheskikh svojstv guminovyh veshchestv nizkomineralizovannyh ilovyh sul'fidnyh gryazej kak istochnika antioksidantnyh lekarstvennyh sredstv* [Study of structural components and physicochemical properties of humic substances of low-mineralized sulfide silt muds as a source of antioxidant drugs]. *Avtoreferat dissertacii kandidata farmacevticheskikh nauk* [Abstract of the diss. of a cand. of pharmaceutical sci.]. Samara, 2011, p. 24. (in Russian)
18. Krivopalova M. A., Avvakumova N. P., Glubokova M. N., Zhdanova A. V. *Pronicaemost' v ryadu gumusovyh kislot peloidov* [Permeability in the series of humic acids of peloids]. *Guminovye veshchestva v biosfere. Trudy IV Vserossijskoj konferencii* [Proc. of the IV All-Russian conf. "Humic substances in the biosphere"]. St. Petersburg, 2007, pp. 51–54. (in Russian)
19. Bulatov M. I., Kalinkin I. P. *Prakticheskoe rukovodstvo po fotometricheskim metodam analiza* [Practical guide to photometric methods of analysis]. Leningrad, Chemistry, 1986, p. 432. (in Russian)
20. Strigutsky V. P., Bambalov N. N., Maryganova V. V., Tychinskaya L. Yu. *Izuchenie sistem polisopryazheniya guminovyh kislot torfa po geneticheskim ryadam gumifikacii* [Study of polyconjugation systems of peat humic acids according to genetic series of humification]. *Guminovye veshchestva v biosfere. Trudy II Mezhdunarodnoj konferencii* [Proc. of the 2nd Int. conf. "Humic substances in the biosphere"]. Moscow, 2004, pp. 108–111. (in Russian)
21. Orlov D. S. *Gumusovye kisloty pochv i obshchaya teoriya gumifikacii* [Humic acids of soils and the general theory of humification]. Moscow, Moscow State University Publ. House, 1990, p. 324. (in Russian)

**Информация об авторах**

*Сосновская Наталья Евгеньевна* – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: natalisosnov@mail.ru

*Ракович Вячеслав Александрович* – кандидат технических наук, заведующий лабораторией биогеохимии и агроэкологии, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: mire4@tut.by

*Красноберская Ольга Георгиевна* – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: olgakrasnoberskaya@gmail.com

*Добринец Елена Алексеевна* – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: kim\_re\_na@mail.ru

**Information about the authors**

*Natalia E. Sosnovskaya* – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Associate Professor, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Scoriny Str., 220076, Minsk, Belarus. E-mail: natalisosnov@mail.ru

*Vyacheslav A. Rakovich* – Ph. D. (Technical), Head of Lab. of Biogeochemistry and Agroecology, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Scoriny Str., 220076, Minsk, Belarus. E-mail: mire4@tut.by

*Olga G. Krasnoborskaya* – Ph. D. (Agricultural), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Scoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: olgakrasnoberskaya@gmail.com

*Elena A. Dobrinets* – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Scoriny Str., 220076, Minsk, Belarus. E-mail: kim\_re\_na@mail.ru