

Влияние микробной конверсии отходов птицеводства на содержание соединений азота и показатели интегральной токсичности компостируемого материала

Г. В. Ильина[✉], Д. Ю. Ильин, А. А. Гришина, А. Р. Дашкина

Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

[✉]E-mail: ilyina.g.v@pgau.ru

Аннотация. Цель настоящего исследования – оценка влияния приемов биоконверсии отходов птицеводства микробным комплексом, объединенным с минеральным носителем, на содержание азота в компостируемом материале и на показатели интегральной токсичности. **Методы.** Использовались методы компостирования органического субстрата – побочного продукта птицеводства культурами бактерий, мицелиальных грибов и актиномицетов, обладающих ферментативным потенциалом, обеспечивающим конверсию пометно-подстилочных материалов в компост. Инокуляция микроорганизмов-деструкторов в субстрат осуществлялась на минеральном носителе глауконите. Показатели интегральной токсичности материалов на разных стадиях деструкции изучены при помощи методик биотестирования, включенных в федеральный реестр. **Результаты.** Изучена роль коррекции реакции среды на разных этапах процесса компостирования, при этом установлено, что данные приемы способствуют наиболее полной реализации физиологического потенциала групп микроорганизмов и повышению биодоступности биогенных элементов за счет перехода в подвижные соединения. Сохранность общего азота возрастает в 1,5 и 2,2 раза по сравнению с естественной деструкцией при хранении в течение полугода и года соответственно, а пропорции различных форм изменяются в пользу аммонийных и нитратных. Содержание суммы аммонийной и нитратной форм азота в компосте превышает таковое в исходном пометно-подстилочном материале в 2,8 раза, а в отходах после полугода и года хранения – соответственно в 1,6 и 2,5 раза. Установлено снижение интегральной токсичности полученного компоста по сравнению с отходами, хранящимися на полигонах, а также снижение класса опасности материалов с IV до V. **Научная новизна.** Впервые комплексно изучено влияние микробного комплекса, интегрированного с минеральным носителем, на превращения соединений азота и показатели интегральной токсичности материалов. Описанные приемы позволяют снизить экологическую нагрузку на объекты окружающей среды. Полученный компост может быть использован в качестве доступного удобрения в секторе растениеводства и кормопроизводства при замкнутом цикле производства.

Ключевые слова: азот, конверсия отходов птицеводства, экологическая безопасность, интегральная токсичность, агроэкология

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-10059, <http://rscf.ru/project/23-26-10059/>

Для цитирования: Ильина Г. В., Ильин Д. Ю., Гришина А. А., Дашкина А. Р. Влияние микробной конверсии отходов птицеводства на содержание соединений азота и показатели интегральной токсичности компостируемого материала // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 449–458. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-449-458>.

Дата поступления статьи: 15.10.2024, **дата рецензирования:** 20.12.2024, **дата принятия:** 17.02.2025.

Effect of microbial conversion of poultry waste on the content of nitrogen compounds and indices of integral toxicity of composted material

G. V. Ilyina[✉], D. Yu. Ilyin, A. A. Grishina, A. R. Dashkina

Penza State Agrarian University, Penza, Russia

[✉]E-mail: ilyina.g.v@pgau.ru

Abstract. The purpose of this study was to evaluate the influence of bioconversion of poultry waste by microbial complexes combined with mineral carrier on the nitrogen content of composted material, as well as indicators of integral toxicity. **Methods** of composting of organic substrate – by-product of poultry farming by cultures of bacteria, mycelial fungi and actinomycetes with enzymatic potential providing conversion of litter into compost were used. Inoculation of microorganisms-destroyers into the substrate was carried out on a mineral carrier – glauconite. Indicators of integral toxicity of materials at different stages of degradation were studied using biotesting methods included in the federal register. **Results.** The role of correcting the reaction of the medium at different stages of the composting process was studied, and it was found that these methods contribute to the full-realization of the physiological potential of microorganism groups and increase the bioavailability of nutrients by their transfer into mobile compounds. Preservation of total nitrogen increases 1.5 and 2.2 times compared to natural destruction during storage for six months and a year, respectively, and the proportions of different forms change in favor of ammonium and nitrate. The content of the sum of ammonium and nitrate forms of nitrogen in the compost exceeds that in the initial litter and bedding material by 2.8 times, and in the waste after six months and a year of storage by 1.6 and 2.5 times, respectively. The reduction of integral toxicity of the obtained compost in comparison with wastes stored in landfills, as well as the reduction of hazard class of materials from IV to V was established. **Scientific novelty.** For the first time the influence of microbial complex integrated with mineral carrier on the transformation of nitrogen compounds and indices of integral toxicity of materials has been studied comprehensively. The described methods will allow to reduce the ecological load on environmental objects. The obtained compost can be used as an affordable fertilizer in the crop and fodder production sector under a closed cycle of production.

Keywords: nitrogen, poultry waste conversion, environmental safety, integral toxicity, agroecology

Acknowledgements. The research was supported by the Russian Science Foundation Grant No. 23-26-10059, <http://rscf.ru/project/23-26-10059/>

For citation: Ilyina G. V., Ilyin D. Yu., Grishina A. A., Dashkina A. R. Effect of microbial conversion of poultry waste on the content of nitrogen compounds and indices of integral toxicity of composted material. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 449–458. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-449-458>. (In Russ.)

Date of paper submission: 15.10.2024, **date of review:** 20.12.2024, **date of acceptance:** 17.02.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Одним из основных источников опасных для объектов окружающей среды отходов было и остается сельскохозяйственное производство, масштабы деятельности и технологический потенциал которого ежегодно увеличиваются [1–4]. При этом до 90 % объемов выбросов аммиака могут составлять испарения от навоза и помета сельскохозяйственных животных. Признана потенциальная опасность птичьего помета для тех территорий, где накапливается этот доминирующий в отрасли птицеводства отход, и необходимость его утилизации [5]. Размещение отходов производства непременно связано с финансовыми потерями предприятий [6]. В связи с этим инвестиции в переработку отходов позволят

увеличить прибыль предприятия за счет исключения выплаты штрафов за нарушение требований по охране окружающей среды. В настоящее время активно проводятся исследования, связанные с поиском путей экологизации сельскохозяйственного производства. В частности, рассматриваются возможности получения удобрений из отходов животноводства. Птичий помет традиционно рассматривается как потенциальное удобрение. Попытки использовать помет и навоз животных в качестве удобрения для сельскохозяйственных растений в неизменном виде продемонстрировали негативные результаты [7]. Микрофлора почвы нередко страдает от избытка неферментированных пометных

масс, а снижение активности почвенной микробиоты крайне нежелательно и лимитирует почвообразовательные процессы. В связи с этим в практике использования подобного рода материалов, как правило, прибегают к различным приемам частичной ферментации или предварительного компостирования [8]. Разработка новых экологически обоснованных путей утилизации свежих подстилочных масс и других пометных отходов позволит найти альтернативные варианты использования подобных материалов [9–11]. Проблема образования парниковых газов на сегодняшний день является дискуссионной, однако не теряет своей актуальности. Сдерживание эмиссии аммиака, диоксида углерода за счет сорбции и хемосорбции в ходе микробных процессов деструкции материалов, содержащих конечные продукты азотистого обмена животных, может стать частичным решением этой проблемы [12]. Пассивация ферментативной активности микроорганизмов-деструкторов может определяться высокими концентрациями ионов аммония, аммиака и сероводорода [13]. Применение сорбирующих материалов природного происхождения успешно практикуется для снижения токсического эффекта указанных соединений, причем такие материалы, как фосфогипс, бентонитовая глина и другие, служат, помимо прочего, и источником ценных минеральных элементов [14–16].

Реакция среды и температура материалов, находящихся в процессе компостирования, – динамические показатели, на уровень которых влияют как экзогенные (климатические условия, антропогенное влияние), так и эндогенные (обусловленные деятельностью самих микроорганизмов) факторы. Нередко это приводит к смещению химических параметров среды (в частности, накоплению аммиака) и повышению токсичности материалов для почвенной микробиоты. Использование процедуры биотестирования в целях оценки уровня интегральной токсичности объектов окружающей среды, а также вытяжек из разного рода отходов используется в системе государственного экологического контроля. Степень токсичности определяется согласно существующим методикам на основании реакций тест-объектов, причем не менее двух, а тест-параметрами могут служить различные физиологические реакции [17; 18]. Подобные приемы используются в сфере как фундаментальных, так и прикладных исследований состояния объектов окружающей среды, а также в сфере государственного экологического контроля [19; 20].

Цель настоящего исследования – оценка влияния приемов биоконверсии отходов птицеводства микробным комплексом, объединенным с минеральным носителем, на содержание азота в компостируемом материале, а также показатели интегральной токсичности.

Методология и методы исследования (Methods)

Эксперименты, положенные в основу настоящей работы, осуществлялись на базе лаборатории биотехнологии и ускоренной селекции Пензенского государственного аграрного университета. Для исследования были отобраны образцы пометно-подстилочных масс индейки, находящейся на откорме и выращивании в условиях производственных площадок крупного птицеводческого предприятия ООО «ПензаМолИнвест». В качестве образцов для изучения были взяты пробы следующих материалов: свежие пометно-подстилочные массы, удаленные непосредственно с производственной площадки; частично деструктированные пометно-подстилочные массы, размещенные на полигоне хранения и депонированные там в течение полугода в естественных условиях; отходы, хранящиеся на полигоне в течение года с момента размещения. Образцы отличались друг от друга органолептически, имели различную плотность. В качестве альтернативного образца был изучен материал компоста, полученного в лабораторных условиях путем последовательной микробной ферментации. Для осуществления микробного компостирования использовали ранее изученный и поддерживаемый комплекс культур бактерий, мицелиальных грибов и актиномицетов-почвообразователей. Согласно разработанной ранее технологии компостирования, в качестве культуры – триггера нитрификационных процессов использовали представителей рода *Nitrosomonas*. Для внесения указанной культуры в компостируемый субстрат осуществляли ее культивирование в глубинных условиях до достижения необходимого титра клеток. В качестве материального носителя для микробной культуры применяли природный материал глауконит. Последний предварительно измельчали до порошка, который пропитывали культуральной жидкостью с клетками микроорганизма в количестве 0,5 млн на 1 г минерала. Впоследствии, после состоявшейся стадии нитрификации субстрата, внедряли культуры грибов родов *Thelavia* и *Myceliophthora*. После деструкции трудноразлагающихся целлюлозных и лигниновых компонентов для активизации гумусообразования применяли культуры актиномицетов родов *Nocardia* и *Cellulomonas*. Реакцию среды доводили до значений pH на уровне 6,2–6,5 путем добавления 10-процентного раствора серной кислоты. Содержание общего азота определяли по методу Кьельдаля, содержание аммонийного и нитратного азота определяли при помощи прибора «Капель-104 м» методом капиллярного электрофореза.

Оценка интегральной токсичности проводилась с использованием методик биотестирования в условиях лаборатории технологического контроля очистных сооружений канализации ООО «Горводоканал» (г. Пенза), аккредитованной в системе Фе-

деральной службы по аккредитации (Росаккредитации) и имеющей уникальный номер RA.RU 518137. Тест-объектами биотестирования служили рачки *Daphnia magna* Straus и водоросли *Scenedesmus quadricauda*, а тест-параметрами, соответственно, смертность и изменение плодовитости рачков и изменение уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей.

Различия в ходе экспериментов рассматривали как достоверные при уровне значимости $p \leq 0,05$. Для статистической оценки использовали традиционные инструменты и программный пакет Statistica.

Результаты (Results)

Отработанные пометно-подстилочные материалы, удаляемые с производственных площадок, представляют собой неоднородную массу, содержащую помет птицы, опилочные и солоmistые материалы, примесь пера и комбикорма. Материал имеет разную степень плотности и влажности, а также характерный специфический запах с преобладанием запаха аммиака (рис. 1).

Вторая партия отходов была получена после шести месяцев (с января по июль) хранения на полигоне в условиях естественной деструкции. Третья партия отходов отобрана после хранения на полигоне в течение года (с июля по июль). После отбора средних проб был проведен анализ полученных образцов отходов на содержание общего, аммонийного и нитратного азота (рис. 2, таблица 1).

Установлено, что содержание общего азота в материалах отходов, полученных непосредственно с производственных площадок, довольно значительно и составляет 3,6 % от сухой массы.

Известно, что интенсивный прирост биомассы птицы, обеспечивающий целый ряд экономических преимуществ отрасли птицеводства, обеспечивается за счет быстрой и эффективной конверсии корма. В рационе птицы на откорме важное место занимают белковые компоненты и премиксы, необходимые для обеспечения продуктивности. Физио-

логические процессы, сопровождающие азотистый обмен в организме птиц, идут весьма интенсивно, в соответствии со спецификой работы выделительной системы в экскретах птицы присутствует соединения аммония, которые образуются путем химических превращений мочевой кислоты в кишечнике. Однако в условиях интенсивного откорма и возросшей нагрузки на выделительную систему именно у продуктивной птицы в экскретах около 50 % азота содержится в форме мочевой кислоты [21]. Содержание в таком материале 1,27 % от массы аммонийного азота объясняется процессами разложения мочевой кислоты помета, нитратный же азот присутствует в следовых количествах (на уровне 0,01 %). Хранение на полигоне в течение полугода приводит к сокращению содержания общего азота (на 22,2 %). Содержание аммонийных форм возрастает на 36,2 % относительно исходного, что может объясняться формированием динамического равновесия между непрерывно протекающими процессами аммонификации и нитрификации. Суммарные потери происходят за счет эмиссии в атмосферу аммиака и летучих аминов. Доля нитратного азота возрастает на 55,0 %. По истечении года хранения пометно-подстилочных масс содержание общего азота в материалах снижается до 1,85 %, доля аммонийного азота сокращается за счет улетучивания и окисления (нитрификации) до 1,1 %, а доля нитратного снижается до 0,41 % от сухой массы субстрата. Такие значения могут объясняться завершением процессов аммонификации, состоявшейся нитрификацией материалов отходов, частичной денитрификацией и вымыванием нитратных форм.

Отходы, полученные непосредственно с производственных площадок, после перемешивания до однородной массы и доведения влажности до 60 % в условиях лаборатории подвергались микробному компостированию. С этой целью при помешивании и перебивках в субстрат поочередно добавляли функциональные комплексы микроорганизмов. Для стимуляции процессов нитрификации и опосредованно аммонификации в компостируемом материале в первую очередь использовали культуру хемоавтотрофной бактерии рода *Nitrosomonas*. Хемоавтотрофная бактерия способствовала протеканию нитрификационных и аммонификационных процессов, которые в естественных условиях непременно сопровождаются эмиссией летучих форм азота. В нашем случае сорбционные свойства материала глауконита, на котором была иммобилизована инокулируемая культура в субстрат, препятствовали эмиссионным потерям. Органолептически это было заметно по снижению выраженности характерного аммиачного запаха от субстрата. Помимо экскрементов птицы, подстилочные материалы содержат в своем составе солому, опилки, щепу, которые медленно подвергаются деструкции. Использование



Рис. 1. Общий вид образца отработанной птичьей подстилки, подготовленного для анализа
Fig. 1. Overall view of a sample of waste poultry litter prepared for analysis

культур грибов *Thelavia* и *Myceliophthora*, обладающих лигно- и целлюлозолитическим потенциалом, способствовало ускорению деградации таких компонентов. Разогрев компоста (термофаза) сопровождается процессом деструкции на данном этапе, поэтому использование именно термофильных культур грибов является оправданным. На фоне деструкции углеродсодержащих материалов происходит активное улетучивание диоксида углерода. Сорбционные свойства глауконита могут препятствовать эмиссии газа, что будет способствовать удержанию углерода в почве. О состоявшейся деструкции целлюлозных и лигниновых компонентов говорят разрыхление субстрата, потемнение и легкий разрыв соломистых частиц, хрупкость и сыпучесть щепы. Для активизации процессов гумусообразования использованы культуры актиномицетов родов *Nocardia* и *Cellulomonas*. Щелочная среда субстрата, которая формируется за счет присутствия связанного аммиака, лимитирует жизнедеятельность указанных микроорганизмов. Некоторая коррекция реакции среды в сторону закисления (до pH порядка 6,5) способствует реализации их физиологического потенциала, а также связыванию остаточных количеств аммиака. При этом, как показывает опыт, реакция среды по итогам процесса компостирования возвращается к нейтральным значениям. При визуальном сопоставлении образцов компоста, полученного в ходе биоконверсии пометно-подстилочных масс по разработанной технологии, с исходными образцами отходов с производственной площадки заметна разница в плотности, консистенции, цвет изменился от серого до буро-коричневого, резкий аммиачный за-

пах сменился характерным почвенным (за счет деятельности актиномицетов).

Анализ компоста, полученного путем ускоренной ферментации указанным комплексом микроорганизмов, позволил установить положительное влияние процесса микробного компостирования на содержание общего азота (за счет существенной убыли углеродсодержащих компонентов субстрата), а также его аммонийной и нитратной форм в полученном материале (рис. 3, таблица 2).

Отмечено увеличение доли общего азота на 13,9 % по сравнению с его содержанием в исходном материале (свежего пометно-подстилочного материала, полученного непосредственно с производственной площадки). Это связано с потерями относительной массы субстрата и разными темпами убыли азота и углерода при микробном компостировании. Удержание аммонийных форм азота происходит за счет связывания аммиака в процессах адсорбции и хемосорбции, благодаря сорбционным свойствам минерала глауконита и дополнительного закисления среды в целях создания оптимальных условий для жизнедеятельности функциональных микроорганизмов. В пользу данного заключения свидетельствует отсутствие запаха аммиака на фоне типичного запаха почвы, характерного для материала готового микробного компоста, при этом содержание аммонийных форм азота в последнем превышает таковое в исходном материале в 2,2 раза. Сумма аммиачного и нитратного азота как основных форм подвижных соединений в полученном компосте возросла в 2,8 раза, причем доля нитратного азота возросла в 9,2 раза.

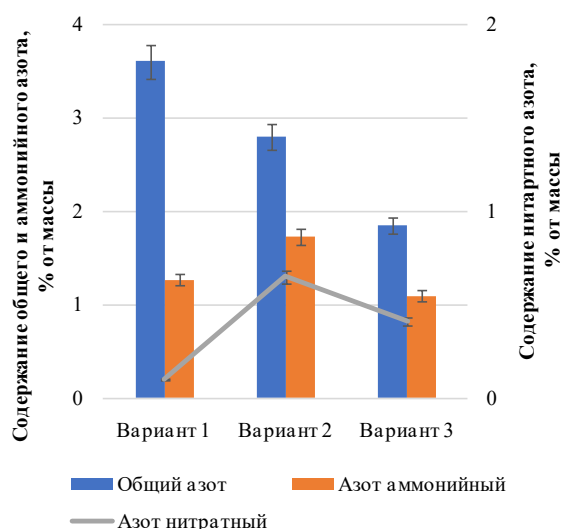


Рис. 2. Содержание различных форм азота в сухой массе отходов, % от сухой массы: вариант 1 – пометно-подстилочные массы, удаленные с производственной площадки; вариант 2 – отходы после 6 месяцев хранения на полигоне; вариант 3 – отходы после 12 месяцев хранения на полигоне ($p < 0,05$, $n = 3$)

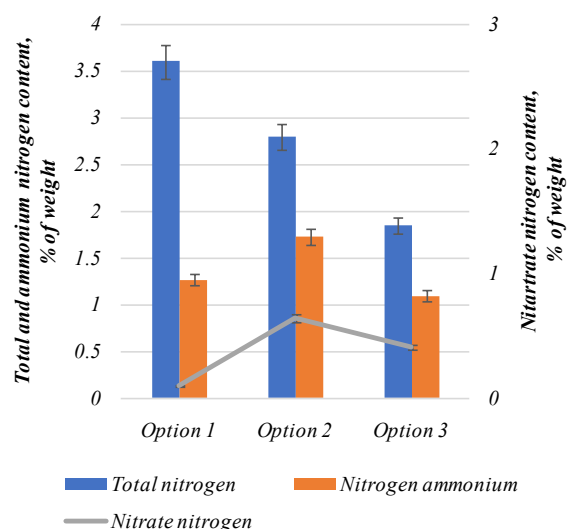


Fig. 2. Content of different forms of nitrogen in dry mass of waste, % of dry weight: option 1 – litter removed from the production site; option 2 – waste after 6 months of storage at the landfill; option 3 – waste after 12 months of storage at the landfill ($p < 0.05$, $n = 3$)

Содержание суммы аммиачной и нитратной форм азота в микробном компосте, полученном в ходе реализации описанной технологии, в 1,6 раза превышает ее содержание в отходах, депонируемых в течение полугода, и в 3,1 раза – в течение года в естественных условиях, где происходят интенсивные потери за счет эмиссии летучих соединений и вымывания и денитрификации минеральных.

Использование микробных культур именно в комплексе с глауконитом не только обеспечило стимуляцию нитрификационных процессов, но и сократило долю летучих форм азота за счет хемосорбции и сорбции частицами минерала. Сохранение азота в материале, потенциально пригодном для использования в качестве удобрения, является важным аргументом в пользу разработанной технологии как в экологическом, так и в экономическом аспектах.

Таблица 1
Содержание различных химических форм азота в отходах птицеводства, % от массы сухого вещества

Показатели	Вид материала		
	Пометно-подстилочные массы, удаленные с производственной площадки	Отходы после 6 месяцев хранения на полигоне	Отходы после 12 месяцев хранения на полигоне
Исходная влажность материала, %	48,3 ± 1,3	40,7 ± 1,7	38,9 ± 0,9
pH материала	8,2 ± 0,1	7,5 ± 0,1	6,9 ± 0,1
Общий азот	3,6 ± 0,7	2,8 ± 0,3	1,85 ± 0,01
Аммонийный азот	1,27 ± 0,1	1,73 ± 0,3	1,1 ± 0,01
Нитратный азот	0,1 ± 0,01	0,65 ± 0,01	0,41 ± 0,01

Table 1
Content of different chemical forms of nitrogen in poultry waste, % of dry matter weight

Indicators	Type of material		
	Litter removed from the production site	Waste after 6 months of landfill storage	Waste after 12 months of landfill storage
Initial sample moisture content, %	48.3 ± 1.3	40.7 ± 1.7	38.9 ± 0.9
pH of material	8.2 ± 0.1	7.5 ± 0.1	6.9 ± 0.1
Total nitrogen	3.6 ± 0.7	2.8 ± 0.3	1.85 ± 0.1
Ammonium nitrogen	1.27 ± 0.1	1.73 ± 0.3	1.1 ± 0.01
Nitrate nitrogen	0.1 ± 0.01	0.65 ± 0.01	0.41 ± 0.01

Таблица 2
Содержание форм азота в пометно-подстилочных массах индейки и компосте, полученном при их биоконверсии, % от массы сухого вещества

Показатели	Пометно-подстилочные массы, удаленные с производственной площадки	Компост, полученный путем микробной ферментации отходов
Исходная влажность материала, %	48,3 ± 1,3	51,2 ± 1,7
pH материала	8,2 ± 0,1	6,8 ± 0,1
Общий азот	3,6 ± 0,7	4,1 ± 0,3
Аммонийный азот	1,27 ± 0,1	2,9 ± 0,03
Нитратный азот	0,1 ± 0,01	0,92 ± 0,01

Table 2
Nitrogen forms content in turkey litter and compost obtained during its bioconversion, % of dry matter weight

	Litter removed from the production site	Compost obtained by microbial fermentation of wastes
Initial sample moisture content, %	48.3 ± 1.3	51.2 ± 1.7
pH of material	8.2 ± 0.1	6.8 ± 0.1
Total nitrogen	3.6 ± 0.7	4.1 ± 0.3
Ammonium nitrogen	1.27 ± 0.1	2.9 ± 0.03
Nitrate nitrogen	0.1 ± 0.01	0.92 ± 0.01

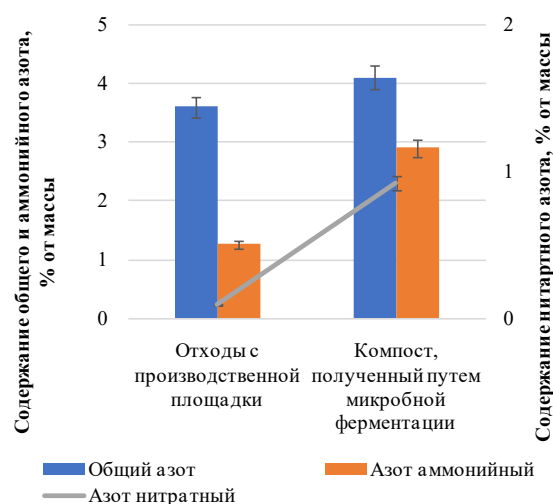


Рис. 3. Содержание общего, аммонийного и нитратного азота в изученных образцах, % от сухой массы ($p < 0,05$, $n = 3$)

На следующем этапе исследований изучено влияние микробного компостирования на показатели интегральной токсичности материалов. Согласно Приказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 4 декабря 2014 г. № 536, класс опасности отхода устанавливается на основании кратности разведения водной вытяжки из отхода [19; 20]. Результаты оценки интегральной токсичности (биотестирования) образцов отходов, полученных как с производственной площадки, так и с полигонов хранения, а также материалов микробного компоста отражены в протоколах испытаний № 243–252 от 12.09.2024 лаборатории, аккредитованной в системе Росаккредитации (уникальный номер RA.RU 518137).

Испытания позволили установить отсутствие острого токсического действия вытяжек из проб отходов с производственной площадки и полигонов хранения на тест-объекты *Daphnia magna* Straus и *Scenedesmus quadricauda* только при разбавлении в 100 раз. Это свидетельствует об отнесении данных партий отходов к IV классу опасности (малоопасные отходы). Некоторая степень токсичности может объясняться присутствием мочевой кислоты и промежуточных продуктов аммонификации, в частности аминов, а также индола в субстрате. Оценка интегральной токсичности проб компоста, полученного по описанной технологии компостирования, показала отсутствие острого токсического действия на указанные выше тест-объекты вытяжек

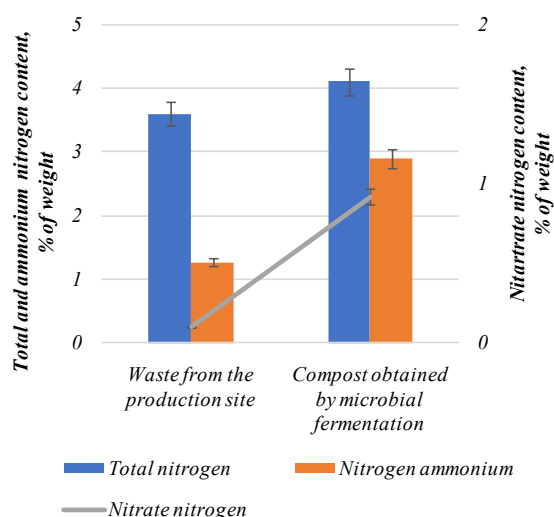


Fig. 3. Content of total, ammonium and nitrate nitrogen in the studied samples, % of dry weight ($p < 0.05$, $n = 3$)

без разведения. Таким образом, ферментированный материал, согласно классификации, может быть отнесен к V классу опасности (практически неопасные отходы). Полученные результаты согласуются с установленными закономерностями динамики соединений азота в процессах реализации микробной технологии компостирования и свидетельствуют в ее пользу как экологически обоснованной и потенциально экономически привлекательной.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Оценка содержания подвижных форм азота в материале, полученном путем ферментации отходов птицеводства функциональным микробным комплексом на минеральном носителе, свидетельствует о целесообразности описанной технологии биоконверсии в плане обеспечения биодоступности элемента для растений при использовании полученного материала в качестве удобрений для сельскохозяйственных культур. Сокращение выбросов в атмосферу летучих соединений азота и диоксида углерода за счет сорбционных и хемосорбционных процессов, с одной стороны, обеспечивает сохранность ценного биогенного элемента в составе компоста, а с другой стороны, служит приемом экологизации отрасли. Понижение класса опасности материалов, иллюстрируемое достоверно установленным снижением интегральной токсичности, свидетельствует о перспективах получения экологически безопасного органоминерального удобрения путем реализации предлагаемой технологии.

Библиографический список

1. Ямалиев Т. Ш., Бочарова А. А. Экологические проблемы птицеводства // Мир Инноваций. 2021. № 4. С. 40–43.
2. Uktam T., Shafoat N., Akhmed R. Animal waste processing technology and poultry farming in organomineral fertilizers // International Journal of Psychosocial Rehabilitation. 2020. Vol. 24, No. 6. Pp. 7263–7274.

3. Iljina G. V., Iljin D. Yu., Zimnyakov V. M., Sashenkova S. A. Influence of organomineral fertilizer based on fermented poultry waste on the physico-chemical parameters of agricultural soils // *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2022. Vol. 65, No. 2. Pp. 91–96.
4. Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года (Извлечение) // *Вестник ветеринарии*. 2023. № 1 (104). С. 12–18.
5. Плотникова Т. В., Сидорова Н. В., Егорова Е. В. Результаты применения отходов производства: табачной пыли и птичьего помета в качестве удобрительного средства // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2020. № 3. С. 21–27.
6. Тю Л. В. К вопросу об эффективности инвестирования сельского хозяйства // *АПК: экономика, управление*. 2023. № 11. С. 69–77.
7. Ганиев А. С., Сибгатуллин Ф. С., Зиганшин Б. Г., Халиуллина З. М., Гайфуллин И. Х. Использование удобрений из куриного помета для выращивания органической продукции // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*, 2022. Т. 17, № 1 (65). С. 9–14. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-9-14.
8. Таскаев М. В., Гарифьянова Л. А., Свалова М. В., Гринько Е. А. Применение полученных биоматериалов в ходе утилизации осадка с очистных сооружений в строительстве // *Выставка инноваций – 2020 (осенняя сессия): сборник материалов XXX Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов*. Ижевск, 2021. С. 201–206.
9. Sigurnjak I., Brienza C., Snauwaert E. Production and performance of bio-based mineral fertilizers from agricultural waste using ammonia (stripping-) scrubbing technology // *Waste Management*. 2019. Vol. 89. Pp. 265–274.
10. Ravindran B., Karmegam N., Awasthi M. K. Valorization of food waste and poultry manure through co-composting amending saw dust, biochar and mineral salts for value-added compost production // *Bioresource Technology*. 2022. Vol. 346. Article number 126442. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126442.
11. Pereira A. S., De Paula A., Castro J. Organomineral fertilizers pastilles from microalgae grown in wastewater: Ammonia volatilization and plant growth // *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 779. Article number 146205. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146205
12. Ильина Г. В., Ильин Д. Ю., Гришина А. А., Дашкина А. Р. Функциональный комплекс микроорганизмов на минеральном носителе для каскадной ферментативной деструкции отходов птицеводства // *Аграрный вестник Урала*. 2024. Т. 24, № 05. С. 670–681.
13. Ильина Г. В., Ильин Д. Ю., Гришина А. А., Дашкина А. Р. Возможности регулирования потоков биогенных элементов в агроэкосистемах путем использования органоминерального удобрения на основе ферментированных отходов птицеводства // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2023. Т. 16, № 4. С. 73–84. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_4_73.
14. Климов К. К., Лизунова Е. Ф., Любомудров Б. Э. Очистка биогаза с помощью *Chlorella vulgaris* // *Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика. Даниловские чтения – 2020: сборник научных трудов*. Екатеринбург, 2021. С. 360–363.
15. Sun A., Cao W., Banks C.J., Heaven S., Liu R. Biogas production from undiluted chicken manure and maize silage: a study of ammonia inhibition in high solids anaerobic digestion // *Bioresource Technology*. 2016. No. 218. Pp. 1215–1223.
16. Druzyanova V. P., Petrova S. A., Khiterkheeva N. S. The use of zeolites for biogas purification in agricultural production // *E3S Web of Conferences*, 2020. Vol. 175. Article number 105077. DOI: 10.1051/e3sconf/202017512012.
17. Marcin S., Aleksander A. Acute toxicity assessment of nine organic UV filters using a set of biotests // *Toxicology Research*. 2023. Vol. 12, No. 39. Pp. 649–667. DOI: 10.1007/s43188-023-00192-2.
18. Marcelo G. A., Galhano J., Duarte M. P. Validation of a Standard Luminescence Method for the Fast Determination of the Antimicrobial Activity of Nanoparticles in *Escherichia coli* // *Nanomaterials (Basel)*. 2022. Vol. 23, No. 12. Article number 2164. DOI: 10.3390/nano12132164.
19. Мониторинг документов. Документы и комментарии // *Экология производства*. 2021. № 2. С. 4–17.
20. Панфиленко Е. В. Изменения законодательства в области охраны окружающей среды // *Форум СНИ-ПИ: сборник тезисов докладов научно-технического форума ООО «СамараНИПИнефть»*. Самара, 2021. С. 142.
21. Ruiz-Barrera O., Ontiveros-Magadan M., Anderson R. C., Byrd J. A., Hume M. E., Latham E. A., Nisbet D. J., Arzola-Alvarez C., Salinas-Chavira J., Castillo-Castillo Y. Nitro-treatment of composted poultry litter; effects on *Salmonella*, *E. coli* and nitrogen metabolism // *Bioresource Technology*. 2020. Vol. 310. Article number 123459. DOI: 10.1016/j.biortech.2020.123459.

Об авторах:

Галина Викторовна Ильина, доктор биологических наук, профессор кафедры биологии, биологических технологий и ветеринарно-санитарной экспертизы, Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0000-0002-2583-6029, AuthorID 161274. *E-mail: ilyina.g.v@pgau.ru*

Дмитрий Юрьевич Ильин, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, биологических технологий и ветеринарно-санитарной экспертизы Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0000-0001-8379-5811, AuthorID 1622117. *E-mail: ilyin.d.u@pgau.ru*

Анна Андреевна Гришина, преподаватель кафедры биологии, биологических технологий и ветеринарно-санитарной экспертизы, Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0009-0009-6224-7758, AuthorID 1135512. *E-mail: grishina.a.a@pgau.ru*

Альбина Рафаэлевна Дашкина, аспирант кафедры почвоведения, агрохимии и химии, Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0009-0003-2387-8027, AuthorID 1119857. *E-mail: dashkina.a.r@pgau.ru*

References

1. Yamaliev T. S., Bocharova A. A. Environmental problems of poultry farming. *World of Innovation*, 2021; 4: 40–43. (In Russ.)
2. Uktam T., Shafoat N., Akhmed R. Animal waste processing technology and poultry farming in organomineral fertilizers. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*. 2020; 24 (6): 7263–7274.
3. Ilyina G. V., Ilyin D. Yu., Zimnyakov V. M., Sashenkova S. A. Influence of organomineral fertilizer based on fermented poultry waste on the physico-chemical parameters of agricultural soils. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 2022; 65 (2): 91–96. (In Russ.)
4. Strategy for the development of the industry for the treatment, utilization and neutralization of production and consumption waste for the period up to 2030 (Extract). *Veterinary Bulletin*, 2023; 1 (104): 12–18. (In Russ.)
5. Plotnikova T. V., Sidorova N. V., Egorova E. V. Results of utilizing industrial wastes: tobacco dust and poultry manure as fertilizer. *Agrochemistry and Ecology Problems*, 2020; 3: 21–27. (In Russ.)
6. Tiu L. V. On the issue of efficiency of agricultural investment. *AIC: Economics, Management*, 2023; 11: 69–77. (In Russ.)
7. Ganiev A. S., Sibagatullin F. S., Ziganshin B. G., Khaliullina Z. M., Gayfullin I. Kh. Use of chicken manure fertilizer for growing organic products. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*, 2022; 1 (65): 9–14. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-9-14. (In Russ.)
8. Taskaev M. V., Garifyanova L. A., Svalova M. A. V., Grinko E. A. Application of obtained biomaterials in the course of sludge disposal from sewage treatment plants in construction. *Innovation Exhibition – 2020: proceedings of the XXX Republican exhibition-session of student innovation projects*, Izhevsk, 2021. Pp. 201–206. (In Russ.)
9. Sigurnjak I., Brienza C., Snauwaert E. Production and performance of bio-based mineral fertilizers from agricultural waste using ammonia (stripping-) scrubbing technology. *Waste Management*. 2019; 89: 265–274.
10. Ravindran B., Karmegam N., Awasthi M. K. Valorization of food waste and poultry manure through co-composting amending saw dust, biochar and mineral salts for value-added compost production. *Bioresource Technology*, 2022; 346: 126442. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126442.
11. Pereira A. S., De Paula A., Castro J. Organomineral fertilizers pastilles from microalgae grown in wastewater: Ammonia volatilization and plant growth. *Science of The Total Environment*. 2021; 779: 146205. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146205.
12. Ilyina G. V., Ilyin D. Yu., Grishina A. A., Dashkina A. R. Functional complex of microorganisms on mineral carrier for cascade enzymatic destruction of poultry waste. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (05): 670–681. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-05-670-681. (In Russ.)
13. Ilyina G. V., Ilyin D. Yu., Grishina A. A., Dashkina A. R. Possibilities of regulation of biogenic element fluxes in agroecosystems by using organomineral fertilizer based on fermented poultry waste. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023; 16 (4): 73–84. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_4_73. (In Russ.)
14. Klimov K. K., Lizunova E. F., Lubomudrov B. E., Bezmaternykh M. A., Volkova M. V. Biogas purification with chlorella vulgaris. *Energy and resource saving. power supply. Non-traditional and renewable energy sources. nuclear energy. Danilov readings – 2020*. Ekaterinburg, 2021. Pp. 360–363. (In Russ.)
15. Sun A., Cao W., Banks C.J., Heaven S., Liu R. Biogas production from undiluted chicken manure and maize silage: a study of ammonia inhibition in high solids anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 2016; 218: 1215–1223. DOI: 10.1051/e3sconf/202017512012.
16. Druzyanova V. P., Petrova S. A., Khiterkheeva N. S. The use of zeolites for biogas purification in agricultural production. *E3S Web of Conferences 13*. 2020; 161: 105077.

17. Marcin S., Aleksander A. Acute toxicity assessment of nine organic UV filters using a set of biotests. *Toxicology Research*. 2023; 12 (39): 649–667. DOI: 10.1007/s43188-023-00192-2.
18. Marcelo G. A., Galhano J., Duarte M. P. Validation of a Standard Luminescence Method for the Fast Determination of the Antimicrobial Activity of Nanoparticles in *Escherichia coli*. *Nanomaterials (Basel)*. 2022; 23 (12): 2164.
19. Document monitoring. Documents and comments. *Production Ecology*, 2021; 2: 4–17. (In Russ.)
20. Panfilenko E. V. Changes in legislation in the field of environmental protection. *SNIP Forum: collection of abstracts of reports of the scientific and technical forum of LLC "SamaraNIPIneft"*. Samara, 2021. P. 142. (In Russ.)
21. Ruiz-Barrera O., Ontiveros-Magadan M., Anderson R. C., Byrd J. A., Hume M. E., Latham E. A., Nisbet D. J., Arzola-Alvarez C., Salinas-Chavira J., Castillo-Castillo Y. Nitro-treatment of composted poultry litter; effects on *Salmonella*, *E. coli* and nitrogen metabolism. *Bioresource Technology*, 2020; 310: 123459. DOI: 10.1016/j.biortech.2020.123459.

Authors' information:

Galina V. Ilyina, doctor of biological sciences, professor of the department of biology, biological technologies and veterinary and sanitary expertise, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0000-0002-2583-6029, AuthorID 161274. *E-mail: ilyina.g.v@pgau.ru*

Dmitriy Yu. Ilyin, candidate of biological sciences, associate professor of the department of biology, biological technologies and veterinary and sanitary expertise, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0000-0001-8379-5811, AuthorID 1622117. *E-mail: ilyin.d.u@pgau.ru*

Anna A. Grishina, lecturer of the department of biology, biological technologies and veterinary and sanitary expertise, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0009-0009-6224-7758, AuthorID 1135512. *E-mail: grishina.a.a@pgau.ru*

Albina R. Dashkina, postgraduate of the department of soil science, agrochemistry and chemistry, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0009-0003-2387-8027, AuthorID 1119857. *E-mail: dashkina.a.r@pgau.ru*