

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2023-115-160-198



Ссылки для цитирования:

Семенов М.В., Железова А.Д., Ксенофонтова Н.А., Иванова Е.А., Никитин Д.А. Куриный помет как органическое удобрение: технологии компостирования и влияние на почвенные свойства (обзор) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. Вып. 115. С. 160-198. DOI: 10.19047/0136-1694-2023-115-160-198

Cite this article as:

Semenov M.V., Zhelezova A.D., Ksenofontova N.A., Ivanova E.A., Nikitin D.A., Chicken manure as an organic fertilizer: composting technologies and impact on soil properties (a review), Dokuchaev Soil Bulletin, 2023, V. 115, pp. 160-198, DOI: 10.19047/0136-1694-2023-115-160-198

Благодарность:

Работа выполнена молодежной лабораторией Почвенного углерода и микробной экологии в рамках госзадания Министерства Образования и науки Российской Федерации “Исследование микробных драйверов секвестрации и депонирования органического углерода в почвах агроэкосистем” (№ 0439-2022-0018).

Acknowledgments:

The research was conducted by the Laboratory of Soil Carbon and Microbial Ecology within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation titled “The Study of Microbial Drivers of Sequestration and Storage of Organic Carbon in Soils of Agroecosystems” (No. 0439-2022-0018).

Куриный помет как органическое удобрение: технологии компостирования и влияние на почвенные свойства (обзор)

© 2023 г. М. В. Семенов*, А. Д. Железова**,
Н. А. Ксенофонтова***, Е. А. Иванова****, Д. А. Никитин*****

ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,

*<https://orcid.org/0000-0001-6811-5793>,

**<https://orcid.org/0000-0002-2086-299X>,

***<https://orcid.org/0000-0003-1317-5101>,

****<https://orcid.org/0000-0003-1589-9875>,
*****<https://orcid.org/0000-0002-8533-6536>, e-mail: dimnik90@mail.ru.

Поступила в редакцию 14.03.2023, после доработки 29.03.2023,
принята к публикации 27.06.2023

Резюме: Куриный помёт и компосты на его основе являются ценными органическими удобрениями, способными положительно влиять на плодородие почвы и значительно повышать урожайность сельскохозяйственных культур. Однако внесение свежего помёта может приводить к избыточным концентрациям азота и других питательных веществ в почве, а также заражению почвы микроорганизмами, патогенными для человека и животных. Поэтому перед использованием в земледелии рекомендуется предварительное компостирование куриного помёта. В обзоре рассмотрены состав и свойства куриного помёта, технологии его компостирования, а также его влияние на физические, химические и биологические свойства почвы. Применение компостированного помёта способствует увеличению в нем содержания органического углерода (в среднем на 1–1.5%), азота (на 0.1–0.2%) и других биофильных элементов. Кроме того, наблюдается улучшение таких физических свойств почвы, как пористость, аэрированность, снижается плотность почвы, а также происходит повышение pH (на 0.2–0.4), электропроводности (в 2–2.5 раза) и количества водостойких агрегатов (на 5–10%). Применение данных видов удобрений также способствует повышению биологической активности, микробного разнообразия, углерода микробной биомассы (на 25–75%) и ферментативной активности почвы (фосфатазы и каталазы – в 5–7 раз; уреазы – в 3–5 раз). При внесении куриного помёта в почву отмечается значительное (в 2–4 раза) увеличение численности бактерий филумов Firmicutes, Bacteroidetes и Actinobacteria. Обсуждается необходимость изучения влияния компостов на основе куриного помёта на химический состав и пулы почвенного органического вещества, поровое пространство и эколого-трофическую структуру почвенного микробиома.

Ключевые слова: плодородие почвы, почвенное органическое вещество, биологическая активность почвы, микроорганизмы.

Chicken manure as an organic fertilizer: composting technologies and impact on soil properties (a review)

© 2023 M. V. Semenov^{1*}, A. D. Zhelezova, N. A. Ksenofontova,
E. A. Ivanova, D. A. Nikitin

*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,*

**<https://orcid.org/0000-0001-6811-5793>,*

***<https://orcid.org/0000-0002-2086-299X>,*

****<https://orcid.org/0000-0003-1317-5101>,*

*****<https://orcid.org/0000-0003-1589-9875>,*

******<https://orcid.org/0000-0002-8533-6536>, e-mail: dimnik90@mail.ru.*

Received 14.03.2023, Revised 29.03.2023, Accepted 27.06.2023

Abstract: Chicken manure and composts derived from it are valuable organic fertilizers that have a positive impact on soil fertility and significantly enhance crop yields. However, the application of fresh manure can lead to excessive concentrations of nitrogen and other nutrients in the soil, as well as contamination of the soil with microorganisms that are pathogenic to humans and animals. Therefore, it is recommended to compost chicken manure prior to its use in agriculture. This review examines the composition and properties of chicken manure, the techniques involved in its composting, and its influence on the physical, chemical, and biological properties of the soil. The utilization of composted manure results in increased levels of organic carbon (on average by 1–1.5%), nitrogen (by 0.1–0.2%), and other biophilic elements. Moreover, it improves various physical properties of the soil, such as porosity, aeration, and density. Levels of pH increase (by 0.2–0.4), as well as electrical conductivity (by 2–2.5 times), and the quantity of water-resistant aggregates (by 5–10%). The application of these fertilizers also promotes biological activity, microbial diversity, microbial biomass carbon (by 25–75%), and soil enzymatic activity (phosphatase and catalase increase by 5–7 times, and urease by 3–5 times). When chicken manure is incorporated into the soil, a significant (2–4 times) increase in the population of bacteria from the phyla Firmicutes, Bacteroidetes, and Actinobacteria is observed. The necessity of investigating the effects of compost derived from chicken manure on the chemical composition and storage of soil organic matter, pore space, and the ecotrophic structure of the soil microbiome is also discussed.

Keywords: soil fertility, soil organic matter, soil biological activity, microorganisms.

ВВЕДЕНИЕ

Плодородие почв определяется суммой ее химических, физических и биологических характеристик. Значительное влияние на плодородие оказывает содержание и качественный состав почвенного органического вещества (ПОВ). Снижение запасов ПОВ

из-за интенсивного сельскохозяйственного использования и эрозионных процессов уменьшает плодородие и устойчивость почвы к различным стрессам ([Кирюшин, 2019](#)). Одним из способов увеличения содержания ПОВ и биологической активности почв является применение различных органических удобрений, в том числе коровьего или свиного навоза, куриного помета и компостов на их основе ([Васильев и др., 1984](#); [Мерзлая и др., 1991](#); [Еськов и др., 2001](#); [Сычев и др., 2018](#)).

Поголовье кур в России стремительно растет, и к 2019 г. оно достигло полумиллиона особей, увеличившись на 11% с 2014 г. ([Наумова, 2021](#)). Учитывая, что каждая тысяча цыплят производит 65 кг помета в день, а такое же число взрослых кур – 150 кг ([Urre et al., 2019](#); [Drózd et al., 2020](#)), проблема грамотной утилизации куриного помета встает все более остро. В то же время куриный помет и компосты на его основе являются ценными органическими удобрениями, богатыми питательными элементами и способными к подщелачиванию почвы ([Васильев и др., 1984](#); [Еськов и др., 2001](#); [Amanullah et al., 2007](#); [Фисинин и др., 2013](#); [Minkina et al., 2022](#)).

В конце 2022 г. была утверждена отраслевая программа “Применение вторичных ресурсов и вторичного сырья из отходов в сфере сельского хозяйства на 2022–2030 годы” в рамках реализации закона № 248-ФЗ от 14 июля 2022 г. “О побочных продуктах животноводства...” и Федерального проекта “Экономика замкнутого цикла”. Программой предусматривается обязательная переработка органических отходов сельскохозяйственного производства, включая куриный помет, для их обеззараживания согласно санитарно-эпидемиологическим требованиям и дальнейшего использования в качестве органических удобрений для обеспечения воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения. С целью устранения правовой неопределенности было принято специальное правовое регулирование обращения с навозом и пометом, в рамках которого допускается признавать их не как отходы, а как побочные продукты животноводства.

Таким образом, проблема утилизации и технологий компостирования куриного помета, а также его воздействия на физические, химические и биологические свойства почв в настоящее

время характеризуется особой актуальностью.

СОСТАВ И СВОЙСТВА КУРИНОГО ПОМЕТА

В курином помете содержится 60–75% воды, примерно по 2% азота и фосфора, 1.5% калия ([Васильев, Филиппова, 1988](#); [Ashworth et al., 2021](#); [Наумова, 2021](#)), железа 367–900, цинка 12–39, марганца 15–38, меди – 0.5, кобальта 1–1.2 мг/100 г сухого вещества ([Kelleher et al., 2002](#); [Теучеж, 2017](#)). Таким образом, на каждую тонну куриного помета приходится по 55 кг NPK, что превышает содержание азота, фосфора и калия в навозе коров и свиней, а также в помете гусей и уток ([Васильев, Филиппова, 1988](#); Oagile, Namasiku, 2010; [Фисинин и др., 2013](#)). Количество производимого свежего куриного помета и его точный химический состав зависят от многих факторов, таких как условия выращивания цыплят, используемые корма и подстилки ([Urta et al., 2019](#); [Ashworth et al., 2021](#)). Азот в помете находится в форме мочевиной кислоты, которая быстро разлагается с образованием аммиака ([Jiang et al., 2021](#)). В целом внесение куриного помета приводит к увеличению плодородия почвы и к лучшей доступности питательных элементов для растений ([Ojeniyi, 2008](#); [Фисинин и др., 2013](#)). Куриный помет отличается от других видов животноводческих отходов самой высокой скоростью минерализации органического вещества в следующей последовательности: помет птичий (куриный) – 0.158, навоз свиной – 0.122, навоз коровий – 0.068, навоз конский – 0.026 сут⁻¹ ([Васильев, Филиппова, 1988](#); [Ajwa, Tabatabai, 1994](#); [Еськов и др., 2001](#); [Фисинин и др., 2013](#)).

С другой стороны, некоторые свойства куриного помета ограничивают его использование ([Фисинин и др., 2013](#)). В первую очередь, куриный помет содержит значительное количество жизнеспособных яиц гельминтов, возбудителей инфекционных болезней (сальмонелл, стафилококков, энтерококков), а также семян сорняков ([Kelleher et al., 2002](#); [Hruby et al., 2018](#); [Chen, Jiang, 2014](#); [Guo et al., 2022](#)). По данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ), куриный помет может быть источником более 100 возбудителей инфекционных и инвазионных заболеваний ([Minkina et al., 2022](#)). Во-вторых, это непостоянство химического и микробиологического состава, а также отсутствие сертификации как на

сам помет, так и на материал подстилки ([Ashworth et al., 2021](#); [Gurmessia et al., 2021](#)). В-третьих, в свежем курином помете содержится относительно много воды, что делает нерентабельным его перевозку на большие расстояния ([Седых, Карауш, 2010](#)).

Помимо вышеперечисленных ограничений, существенным нежелательным эффектом применения куриного помета в качестве удобрения является распространение антибиотикорезистентных форм микроорганизмов и, соответственно, генов антибиотикорезистентности (Su et al., 2014; [Gurmessia et al., 2021](#)). Антибиотики, особенно тетрациклины и сульфаниламиды, широко используются в сельском хозяйстве в качестве ветеринарных препаратов для повышения иммунитета животных ([Zhao et al., 2017](#)). Известно, что более половины (52%) производимых антибиотиков идет на нужды животноводства, а не для лечения людей ([Yang et al., 2016](#)). Основная часть (до 90%) антибиотиков выводится из организма без существенных изменений ([Yang et al., 2016](#); [Zhao et al., 2017](#); [Subirats et al., 2021](#); [Wu et al., 2022](#)). При внесении куриного помета в почву есть вероятность попадания остаточных количеств антибиотиков из навоза на поля, что, в свою очередь, является одним из основных источников загрязнения сельскохозяйственных культур антибиотиками ([Zhao et al., 2017](#)). Куриный помет содержит большее количество остаточных количеств антибиотиков и может оказывать более сильное воздействие на генетический состав резистомы почвы по сравнению с навозом крупного рогатого скота ([Yang et al., 2016](#); [Urre et al., 2019](#); [Gurmessia et al., 2021](#)). Чрезмерное использование антибиотиков способствует их распространению в окружающей среде и повышет риски развития антибиотикорезистентности у почвенных микроорганизмов ([Zhao et al., 2017](#); [Wang et al., 2015](#); [Urre et al., 2019](#)). Гены антибиотикорезистентности могут передаваться и в микробиоту сельскохозяйственных растений ([Zhang et al., 2017](#); 2019; [Lacóni et al., 2021](#)). По-прежнему остается неясным, насколько хорошо выживают антибиотикорезистентные микроорганизмы помета в почве ([Yang et al., 2016](#)), однако имеются отдельные сведения, что кишечные бактерии и гены антибиотикорезистентности из куриного помета могут сохраняться в почве в течение как минимум нескольких недель после внесения ([Subirats et al., 2021](#)).

Исторически куриный помет использовался в качестве удобрения в малых объемах в личных подсобных хозяйствах и на небольших фермах. При увеличении объемов производства возникают проблемы утилизации и хранения куриного помета, его транспортировки к месту применения в качестве удобрения ([Еськов и др., 2001](#)). Транспортировка свыше 40 км становится нерентабельной ([Мерзлая и др., 1991](#); [Седых, Карауш, 2010](#)). Некоторые из этих проблем можно решить с помощью компостирования. Также компостирование значительно снижает количество патогенных микроорганизмов, семян сорняков, и в некоторой степени уменьшает распространение генов антибиотикорезистентности.

ТЕХНОЛОГИИ КОМПОСТИРОВАНИЯ КУРИНОГО ПОМЕТА

Компостирование – один из наиболее широко используемых способов улучшения качества помета, предполагающих при этом относительно быструю (обычно 4–6 недель) аэробную трансформацию органических отходов посредством микробиологических процессов ([Седых, Карауш, 2010](#); [Rynk et al., 2022](#)). Также для этой цели используют смешивание помета с подстилкой из растительных остатков (соломы, опилок, торфа и т. д.), которая в процессе микробиологической ферментации переводит макро- и микроэлементы в доступные для растений формы ([Kelleher et al., 2002](#); [Guerra- Rodríguez et al., 2003](#); [Wan et al., 2020](#)).

Компостирование куриного помета способствует уменьшению запаха, содержания воды и объема, уничтожению насекомых, гельминтов и семян сорных растений, гибели патогенных микроорганизмов ([Rynk et al., 2022](#)). В компостных продуктах уровни углерода и азота более стабильны ([Наумова, 2021](#)). Основными недостатками данной процедуры являются потеря части питательных веществ при минерализации, а также добавочная стоимость и трудозатраты в процессе переработки исходного материала ([Kelleher et al., 2002](#)).

Существует несколько технологий компостирования (рис. 1).

Биотермическое компостирование (рис. 2) заключается в 2–3-месячном выдерживании исходного продукта с добавлением

подстилки (солома, торф, опилки и т. д.) в закрытых буртах при температуре +60–70 °С ([Седых, Карауш, 2010](#); [Rynk et al., 2022](#)). Такие высокие температуры позволяют уничтожить семена сорных растений, вредных беспозвоночных животных и патогенные микроорганизмы ([Guerra- Rodríguez et al., 2003](#)). При биотермическом компостировании можно также использовать модификацию с добавлением культур микроорганизмов, которые позволяют проводить более быстрое и глубокое компостирование (рис. 2)

Термическое компостирование проводят при температуре +800 °С в вакуумных камерах. При этом выделяется значительное количество энергии, применяемой для обогрева птичников или выработки электричества. После сжигания компоста остается зола, которая химически стабильна, стерильна, а также проста в обращении и транспортировке ([Kelleher et al., 2002](#)). Однако данный способ весьма энергозатратен, и при его использовании теряются многие ценные питательные вещества. Альтернативным методом переработки куриного помета служит пиролиз при относительно невысоких температурах (обычно ниже +700 °С) в анаэробных условиях, в результате чего образуется биочар, который можно также вносить в почву ([Meier et al., 2017](#)).



Рис. 1. Технологии компостирования куриного помета.

Fig. 1. Technologies for chicken manure composting.

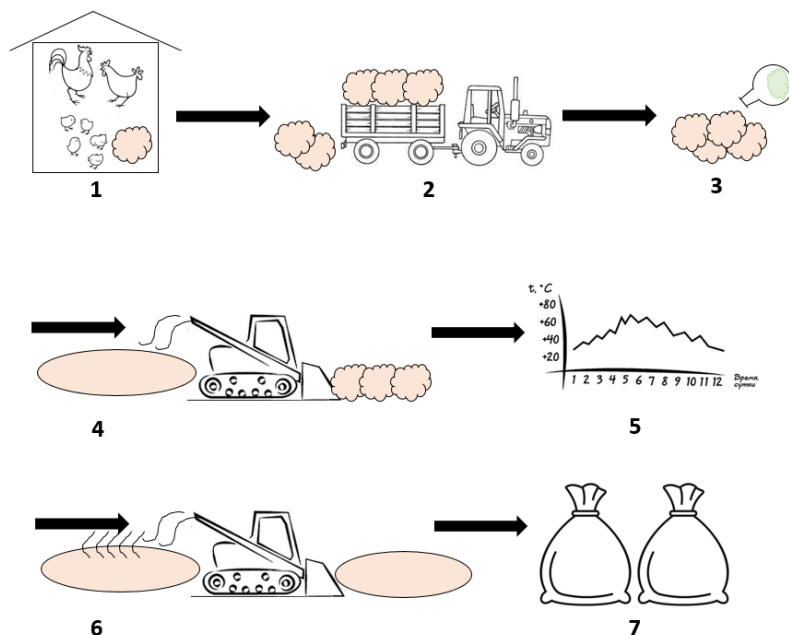


Рис. 2. Схема компостирования куриного помета с помощью биотермического метода в модификации с добавлением культур микроорганизмов. Цифрами обозначено: 1 – накопление помета в курятнике; 2 – доставка помета на площадку компостирования и формирование буртов; 3 – внесение в свежий помет биопрепаратов культур микроорганизмов (как дополнительная модификация метода); 4 – ворошение и перемешивание буртов помета для уничтожения патогенов; 5 – процесс термофильной ферментации помета; 6 – повторное ворошение и переворачивание помета для обогащения кислородом и выпаривания лишней влаги, созревание компоста; 7 – готовая продукция (зрелый компостированный помет).

Fig. 2. Scheme of chicken manure composting using the biothermal method. The numbers indicate: 1 – the accumulation of wastes in the chicken coop; 2 – delivery of manure to the composting site and formation of piles; 3 – introduction of biological preparations with cultures of microorganisms into fresh wastes (as an additional modification of the method); 4 – tedding and mixing piles of manure to kill pathogens; 5 – the process of thermophilic fermentation of manure; 6 – repeated tedding and turning of manure to enrich oxygen and evaporate excess moisture (maturation of compost); 7 – final product (mature composted manure).

Также существует компостирование помета путем гидролиза серной кислотой (*гидролитическое компостирование*) и последующим внесением в фугат биопрепаратов для ферментации ([Седых, Карауш, 2010](#); [Wan et al., 2020](#)). К сожалению, данный прием связан с большими рисками при несоблюдении техники безопасности и необходимостью подготовки квалифицированных кадров, имеющих разрешение на работу с опасными химическими реактивами.

Еще один способ компостирования заключается в обработке помета глинистым сорбентом (цеолит, морденит, вермикулит и др.) – *сорбентное компостирование* – для сокращения эмиссии аммиака, выделяющегося при минерализации, на 30–40% ([Jiang et al., 2021](#); [Kacprzak, Sobik-Szołtysek, 2022](#)). При определенной концентрации добавленной глины (2–4%) в компосте может происходить значительное снижение количества генов антибиотикорезистентности за счет сукцессионных изменений в бактериальном сообществе ([Awasthi et al., 2019](#)). Однако есть сведения о низкой эффективности данного метода при использовании такого компоста в качестве органического удобрения ([Еськов и др., 2001](#); [Kelleher et al., 2002](#)). В то же время основным недостатком перечисленных методов является большая длительность компостирования, а также наличие значительной территории ([Седых, Карауш, 2010](#)).

С учетом недостатков вышеупомянутых методик, а также благодаря развитию биотехнологий, для компостирования помета все чаще применяют *микробиологические* методы, основанные на использовании бактериальных препаратов и позволяющие не только уничтожать вредные микроорганизмы в исходном материале, но и накапливать в нем биофильные элементы в доступных для растений формах ([Мерзлая и др., 1991](#); [Wan et al., 2020](#); [Zainudin et al., 2022](#)). В качестве таких микроорганизмов используются бактерии родов *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Endomycopsis* и *Pseudomonas* ([Kelleher et al., 2002](#); [Gurmessa et al., 2021](#)). Представители перечисленных родов бактерий быстро размножаются, просты в культивировании, легко адаптируются к разнообразным условиям окружающей среды, ускоряют созревание компоста и ингибируют рост патогенных микроорганизмов, поэтому обычно

становятся доминантами в компостах ([Wu et al., 2022](#)). Для компостирования используют технологию анаэробного сбраживания, которое включает разложение и стабилизацию органического материала в бескислородных условиях. Анаэробное компостирование птичьего помета можно разделить на две стадии. На первом этапе (кислотное брожение) происходит микробиологическая ферментация и гидролиз сложных компонентов, включая жиры, белки и полисахариды, до органических кислот и спиртов с простомой новой микробной биомассы. Второй этап (метановое брожение) включает преобразование продуктов гидролиза в газы (в основном CH_4 и CO_2) несколькими видами облигатных анаэробных бактерий. В результате содержание метана в итоговой газовой смеси может достигать 60%, поэтому его можно использовать как топливо в качестве альтернативы природному газу ([Kelleher et al., 2002](#); [Rubežius et al., 2020](#); [Zainudin et al., 2022](#)).

Наряду с микробиологическим методом, эффективным способом переработки куриного помета в органическое удобрение является *вермикомпостирование*. Этот процесс включает симбиотическое взаимодействие между дождевыми червями (например, *Eisenia fetida*, *Eudrilus eugeniae* и *Perionyx excavatus*) и микроорганизмами для получения стабильного однородного гумусоподобного конечного продукта, иногда называемого “биогурусом” ([Lim et al., 2015](#)). Дождевые черви кондиционируют субстрат и увеличивают его биологическую активность для дальнейшего процесса биохимической трансформации органического вещества микроорганизмами ([Zhou et al., 2022](#)). Считается, что вермикомпост по многим физическим и химическим показателям лучше традиционного компоста благодаря высокой степени его гумификации ([Lim et al., 2015](#); [Zhou et al., 2022](#)). Другим преимуществом данного способа переработки помета является увеличение концентрации питательных элементов по сравнению с продуктами других способов компостирования ([Lim et al., 2015](#)). С другой стороны, чрезмерное количество вермикомпоста может привести к засолению почвы, поэтому данный вид органических удобрений следует вносить на сельскохозяйственные поля в умеренных дозах ([Еськов и др., 2001](#); [Lim et al., 2015](#); [Zhou et al., 2022](#)). Кроме того, техноло-

гия вермикомпостирования относительно сложна и нестабильна по сравнению с другими способами переработки помета.

Компостирование помета перед внесением в почву существенно (50–70%) снижает количество остаточных антибиотиков и генов антибиотикорезистентности, что уменьшает риск заражения сельскохозяйственных культур, животных и человека ([Subirats et al., 2021](#); [Wu et al., 2022](#)). Наиболее эффективным методом переработки куриного помета в данном контексте считается аэробное компостирование, поскольку наличие в его технологии высокотемпературной фазы приводит к деградации генов антибиотикорезистентности ([Wu et al., 2022](#); [Ezugworie et al., 2021](#)). В то же время исследования в области изучения влияния компостирования на долю антибиотикорезистентных форм микроорганизмов часто дают противоречивые результаты ([Ezugworie et al., 2021](#)). Поэтому для того, чтобы дать качественные рекомендации по компостированию как средству снижения риска заражения сельскохозяйственных культур патогенными микроорганизмами и генами антибиотической резистентности, важно выяснить состав и структуру микробиома куриного помета в ходе данного процесса ([Wu et al., 2022](#)). При этом подобные исследования предпочтительнее проводить в условиях реальных полевых опытов, чем в лабораторных условиях ([Subirats et al., 2021](#)).

Обычно в составе бактериального сообщества куриного помета доминируют классы *Bacilli*, *Actinobacteria* и *Clostridia* ([Chen, Jiang, 2014](#); [Crippen et al., 2021](#)). При длительном хранении (более 10 недель) на открытом воздухе относительное обилие класса *Bacilli* снижается, увеличивается обилие классов Alpha- и Gammaproteobacteria ([Crippen et al., 2021](#)). Компостированный куриный помет содержит существенно меньшее разнообразие вредных микроорганизмов, но стимулирует развитие бактерий родов *Thermicanus* и *Tepidimicrobium*, синтезирующих органические соединения, химически близкие гуминовым и фульвокислотам ([Li et al., 2021](#)). За 60 дней компостирования куриного помета количество грибов-патогенов животных снижалось с 12.5% до 1.2%, в то время как численность грибов-сапротрофов значительно возросла ([Gurmessa et al., 2021](#)). *Clostridiales* Family XI, доминировавшая на первых этапах компостирования, сменилась представителями

семейства *Bacillaceae* на высокотемпературной стадии ([Mao et al., 2020](#)).

В целом компостирование является эффективным способом переработки и обеззараживания птичьего помета. Единственным существенным минусом компостирования является потеря азота, что снижает коммерческую и практическую ценность удобрения, а также может приводить к увеличению эмиссии парниковых газов и эвтрофикации водоемов. Для правильного выбора технологии компостирования важно учитывать ряд параметров: соотношение углерода и азота (C/N), биологическую (микробиологическую) активность, активность прорастания семян сорных растений, емкость катионного обмена компоста, содержание гуминовых веществ, концентрацию водорастворимого углерода, количество лабильного органического вещества ([Еськов и др., 2001](#); [Azim et al., 2017](#)). Наибольшая эффективность компостирования достигается путем мониторинга баланса питательных веществ, влажности и аэрации субстрата. Например, во время фаз аэробного брожения соотношение C/N не должно превышать 25–30, а низкие его значения приводят к существенным потерям азота в форме аммиака. Содержание влаги существенно зависит от физической структуры и изменения размера частиц во время компостирования, поэтому влажность и аэрация компоста взаимосвязаны ([Gigliotti et al., 2012](#)). Для правильной технологии компостирования важно следить за содержанием кислорода в сырье, которое зависит от пористости, размера и формы частиц компоста. Потребность в кислороде крайне высока (15–20% от объема компоста) на первом этапе компостирования из-за экспоненциального роста биомассы микроорганизмов. На более поздних стадиях компостирования потребность в кислороде уменьшается до 5–10%, а при достижении фазы созревания – до 2–3% ([Razmjoo et al., 2015](#)).

Весь процесс компостирования происходит при повышенных температурах благодаря гидролизу углеродных связей в процессе микробиологической ферментации. Поэтому высокие значения данного показателя косвенно свидетельствуют об успешном ходе компостирования ([Panda et al., 2019](#)). Первая фаза компостирования проходит при температурах +30–50 °C, когда осуществляется инициация ферментации мезофильными микроорганизма-

ми ([Tuomela, 2000](#)). Затем наступает термофильная фаза, когда температура компоста колеблется в диапазоне +50–60 °С ([Panda et al., 2019](#)). После этого компост созревает при температурах ниже +50 °С. Контроль температуры является одним из критических факторов технологии компостирования куриного помета, поскольку необходимо поддерживать баланс между относительно высокими (обеззараживание субстрата, но одновременное обезвоживание и уничтожение полезных микроорганизмов) и низкими значениями (сохранение влаги, но высокая частота загнивания компоста) ([Tuomela, 2000](#)). Температуру компоста регулируют с помощью аэрации и перемешивания.

В зависимости от технологии, куриный помет компостируют в широком диапазоне pH от 3 до 11, однако оптимальными являются значения от 5.5 до 8 ([Tripetchkul et al., 2012](#)). Допустимо снижение pH на первой стадии компостирования, поскольку при ферментации субстрата выделяется много органических кислот. На второй (термофильной) стадии компостирования pH растет благодаря разложению белков до аммиака ([Herbert, 2010](#); [Tripetchkul et al., 2012](#)). Для последних стадий компостирования характерно повторное снижение pH ввиду активной нитрификации ([Herbert, 2010](#)). Созревший компост имеет нейтральную реакцию среды.

Существует 2 подхода к определению зрелости компоста. Первый основан на оценке лабильности/стабильности органического вещества (если органическое вещество стабильно, то компост зрелый), а второй – на степени повреждения компостом растений (если компост не повреждает растения, то он зрелый). В целом зрелый компост не имеет аммиачного запаха, структурирован, его pH варьирует от 7 до 9, соотношение C/N менее 15–20, соотношение $C_{тк}/C_{фк}$ увеличено ([Еськов и др., 2001](#); [Wichuk and McCartney, 2013](#)).

ВЛИЯНИЕ КУРИНОГО ПОМЕТА/КОМПОСТА НА ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Длительное внесение куриного помета и компоста на его основе значительно улучшает физические свойства почв ([Васильев и др., 1984](#); [Потапов, Фролов, 2021](#); [Amanullah et al.,](#)

[2007](#); [Ojeniyi, 2008](#); [Wang et al., 2022](#)). В первую очередь повышается ее структурная устойчивость, пористость, содержание доступной воды, гидравлическая проводимость и аэрация (табл. 1). Плотность сложения почвы при этом снижается ([Feng et al., 2019](#); [Потапов, Фролов, 2021b](#)). По сравнению с куриным пометом, использование высоких доз компоста (2–4% от массы почвы) приводит к большей насыщенности основаниями, пористости (с 18 до 30%) и числу водостойких агрегатов (с 52 до 72%), но к снижению доступной воды (с 16 до 11%). Внесение в почву обоих видов данного удобрения улучшает структуру, агрегированность, водно-воздушные (в первую очередь водопроницаемость) и теплофизические свойства почвы, и, как следствие, повышает плодородие ([Васильев и др., 1984](#); [Islam et al., 2021](#)). При применении пеллетизированного куриного помета в течение 4 лет на легкосуглинистой почве увеличилась ее водоудерживающая способность и уменьшилась плотность ([Feng et al., 2019](#)).

Внесение куриного помета и компоста значительно улучшает химические свойства почв (табл. 1). При применении куриного помета в качестве удобрения повышается содержание доступного фосфора ([Мерзлая и др., 1991](#); [Azeez, Van Averbek, 2010](#); [Ashworth et al., 2021](#); [Chen et al., 2022](#)). Куриный помет в большей степени, по сравнению с другими органическими удобрениями, увеличивает содержание разных форм неорганического и органического фосфора ([Васильев и др., 1984](#); [Фисинин и др., 2013](#); [Wei et al., 2022](#)). Помимо этого, внесение куриного помета способствует увеличению содержания обменного калия и суммы поглощенных оснований ([Чекаев, 2009](#); [Качикаев и др., 2020](#)). Однако последствие этих эффектов может не наблюдаться, что, по видимому, связано с процессами минерализации органического вещества, внесенного с куриным пометом, а также выносом кальция и магния с урожаем.

Куриный помет и компост на его основе увеличивают количество органического углерода и азота в почве ([Васильев и др., 1984](#)).

Таблица 1. Влияние куриного помета и компоста на его основе на функции и свойства почв

Table 1. Effect of chicken manure and its compost on soil functions and properties

Почвенная функция/свойство	Куриный помет	Компост на основе куриного помета
Питательная	+	++
С _{орг} , %	↑	↑↑
N, %	↑↑	↑
P, %	↑↑	↑
K, %	↑↑	↑
pH	↑	↑
Засоление	↑	↑
Санитарная	--	+ / 0
Патогенные микроорганизмы	↑↑	↑
Семена сорняков	↑ / 0	0
Гены антибиотикорезистентности	↑↑	↑
Супрессивность почв	↑ / 0	↑
Биоресурсная	++	+
Разнообразие микробиома	↑	↑
Биомасса микроорганизмов	↑↑	↑
Углеродтрансформирующая	+	++
Биологическая активность	↑↑	↑
Секвестрация углерода	↑	↑↑
Эмиссия парниковых газов	↑↑	↑
Опорная (средообразующая)	+	++
Пористость	↑	↑↑
Аэрированность	↑	↑↑
Плотность	↓	↓

Примечание. Влияние данных органических удобрений на почву оценено качественно в баллах от двух минусов (заметное ухудшение возможности почвы поддерживать функцию) до двух плюсов (существенное улучшение функционирования почвы). Свойства охарактеризованы с точки зрения значительного и очень значительного

увеличения/уменьшения.

Note. The effect of these organic fertilisers on the soil was qualitatively assessed with scores ranging from two minuses (marked deterioration in the soil's ability to maintain function) to two pluses (significant improvement in soil function). Properties are characterised in terms of significant and very significant increases/decreases.

По мере увеличения доз внесения (от 0 до 4%) этих удобрений возрастает содержание органического углерода (с 0.94% до 2.5%), общего азота (с 0.15% до 0.3%), pH (с 7.60 до 7.87) и электропроводности (с 0.7 до 2.6 дСм/м) в почве ([Ashworth et al., 2021](#); [Потапов, Фролов, 2021a](#)). Компост на основе куриного помета повышает содержание органического углерода в большей мере, чем чистый помет ([Islam et al., 2021](#)). При внесении низких доз (до 2%) обоих типов удобрения доля общего азота и значения pH выше в вариантах с компостом, а при заделывании относительно высоких доз (3–4%) – в почвах со свежим пометом.

Также по сравнению с компостом свежий куриный помет в 2–2.5 раза больше увеличивает электропроводность почв ([Потапов, Фролов, 2021a](#)). Длительное применение компоста куриного помета в качестве удобрения приводит к значительному увеличению содержания и устойчивости ПОВ в микроагрегатах ([Мерзлая и др., 1991](#); [Ashworth et al., 2021](#)). За 10 лет применения компоста в дозе 12 т/га увеличение запасов органического углерода выросло на 110% в почве отвалов ([Huang et al., 2019](#)).

Несмотря на положительное влияние куриного помета и компоста на содержание общего углерода в почве, остается открытым вопрос, как внесение этого органического удобрения сказывается на качестве ПОВ, а именно на величине и соотношении структурных и процессных пулов ПОВ – ОВ твердых органических частиц, минерально-связанном ОВ и потенциально-минерализуемом ОВ, которые ответственны за секвестрирующую, депонирующую и эмиссионную функции почвы ([Семенов и др., 2023](#)). Научный и практический интерес представляют вопросы изменения химического состава соединений, входящих в состав ПОВ, которые определяются методами ИК-спектроскопии, пиролиза, термохимического анализа и масс-спектрометрии. Не рассмотрены во-

просы влияния куриного помета и компоста на гидрологическую функцию почв, архитектуры и связанности порового пространства.

ВЛИЯНИЕ КУРИНОГО ПОМЕТА/КОМПОСТА НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

При удобрении куриным пометом или компостом на его основе происходит привнесение большого количества доступного органического вещества и микроорганизмов, что оказывает многостороннее влияние на нативный микробиом почвы ([Фисинин и др., 2013](#); [Urra et al., 2019](#)). Многие микроорганизмы, находящиеся в почве в покое, могут быть активированы поступлением органического вещества и могут конкурировать с микробиотой, привнесенной с навозом или пометом ([Semenov et al., 2021](#); [Minkina et al., 2022](#)). Кроме того, внесение органических удобрений оказывает ключевое влияние на таксономический состав ризосферного бактериома и микобиома, перекрывая фактор самого растения, и тем самым определяя не только качество почвы, но и здоровье и развитие растений ([Семенов и др., 2019](#); [Semenov et al., 2022](#)). Согласно двум метаанализам, удобрение почвы свежим или компостированным куриным пометом приводит к увеличению углерода микробной биомассы на 25–75% ([Ren et al., 2019](#); [Guo et al., 2022](#)). Во многих исследованиях отмечается повышение α -разнообразия микробного сообщества при применении куриного помета и компоста на его основе ([Yang et al., 2019](#); [Gurmessa et al., 2021](#); [Zhu et al., 2022](#)). После заделывания куриного помета в почву наблюдается рост ферментативной активности: щелочной (с 0.38 до 4.94 мг/г почвы) и кислой фосфатаз (с 0.42 до 3.02 мг/г почвы), каталаз (с 1.32 до 6.77 мг/г почвы) и уреаз (0.72 до 3.90 мг/г почвы) ([Minkina et al., 2022](#)).

В компостах на основе куриного помета и удобренных им почвах доминируют бактерии филумов Firmicutes (роды *Cerasibacillus*, *Atopostipes* и *Bacillus*) и Actinobacteria (роды *Thermobifida*, *Actinomadura* и *Nocardiopsis*), а обилие патогенных родов *Helicobacter*, *Staphylococcus*, *Acinetobacter*, *Streptococcus*, *Mycobacterium* и *Enterococcus* составляет менее 1% ([Wan et al., 2020](#); [Wang et al., 2020](#); [Zainudin et al., 2022](#)). Тем не менее в насто-

ящее время недостаточно данных о разных эколого-трофических группах бактерий и грибов (например, сахаролитических, копрофильных, эпифитных и фитопатогенных видов) в составе микробиома куриного помета, в том числе в процессе его компостирования. Необходимо изучение токсинообразующих, аллергенных и термофильных видов грибов, представляющих опасность для здоровья человека, возможности оценки готовности компоста для внесения в почву в качестве биоудобрения с учетом данных по микобиоте, которые выполняются, например, для коровьего навоза ([Кураков, Биланенко, 2023](#)).

При заделывании куриного помета в почву отмечается значительное увеличение (на 60–100%) в верхнем 20-сантиметровом слое численности бактерий филумов Firmicutes, Bacteroidetes и Actinobacteria; родов *Bacillus*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Eubacterium*, *Prevotella*, *Pseudomonas*, *Selenomonas*, *Streptococcus*, *Megasphaera*, *Fusobacterium*; видов *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens* ([Barbour et al., 2002](#); [Iqbal et al., 2020](#); [Наумова, 2021](#); [Zhang et al., 2021](#); [Minkina et al., 2022](#)). В трехлетних опытах на двух полях с контрастными по физико-химическим свойствам почвами при выращивании спаржи было выявлено, что в почве после внесения компостированного куриного помета в 2–4 раза выросло обилие филума Bacteroidetes, в том числе классов Flavobacteriia (роды *Fluviicola* и *Flavobacteriia*) и Sphingobacteriia (род *Pedobacter*) ([Наумова и др., 2021](#)). Применение ферментированного куриного помета (совместно с коровьим навозом) изменило микробиом ризосферы арбуза, значительно повысив микробное разнообразие, а также снизив обилие грибов рода *Fusarium*, многие из которых являются патогенами растений ([Zhao et al., 2017](#)).

В удобренной куриным пометом почве нередко обнаруживаются такие патогенные для животных и человека бактерии, как *Clostridium* spp., *Escherichia coli*, *Campylobacter* spp. и *Salmonella* spp., а также патогенные вирусы, микромицеты, простейшие и гельминты, которые способны длительное время сохраняться в почве ([Gurmessa et al., 2021](#); [Наумова, 2021](#)). Например, сальмонеллы способны выживать в удобренной куриным пометом почве более ста дней ([Hrubý et al., 2018](#)). Ввиду возможной конкуренции

между нативным почвенным микробиомом и привнесенными с куриным пометом/компостом микроорганизмами следует внимательно оценивать риски негативных последствий (в т. ч. попадания патогенных микроорганизмов в сельскохозяйственную продукцию), особенно для почв с низкой биологической активностью.

Изучение влияния куриного помета на биологические свойства почв ограничивается, главным образом, исследованиями по изменению таксономического разнообразия прокариот. На данный момент не рассмотрено воздействие куриного помета и компоста на его основе на разнообразие и эколого-трофическую структуру микробиома и протистов почв, а также на соотношение представителей микробного сообщества с разными экологическими стратегиями, например, г- и К-стратегиями ([Semenov et al., 2019](#); [Li et al., 2021](#); [Yang et al., 2022](#)). Проведение таких исследований позволит получить полноценное представление о влиянии компостов на основе куриного помета на таксономическое и функциональное разнообразие почв, а также на микробные драйверы секвестрации углерода.

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ КУРИНОГО ПОМЕТА И КОМПОСТОВ НА ЕГО ОСНОВЕ

Дозы внесения свежего помета варьируют от 4 до 20 т/га, компостированного помета – от 2 до 70 т/га ([Лазарев и др., 2018](#); [Лысенко и др., 2018](#); [Мерзлая и др., 2018](#); [Наумова и др., 2021](#); [Ненайденко, 2010](#); [Потапов, Фролов, 2021](#); [Сопельченко и др., 2018](#); [Турчин и др., 2017](#); [Чекаев и др., 2017](#); [Cayci et al., 2017](#); [Dani et al., 2021](#)). Куриный помет обычно используется в производстве зерновых, кормовых и технических культур в качестве органических удобрений ([Васильев и др., 1984](#)). Избыточное внесение куриного помета может привести к ряду негативных последствий: эвтрофикации и засолению почвы, усилению эмиссии парниковых газов (метан, аммиак, углекислый газ), химическим ожогам растений, а также к загрязнению окружающей среды кишечной микрофлорой ([Kelleher et al., 2002](#); [Barbour et al., 2002](#); [Amanullah et al., 2007](#); [Ojeniyi, 2008](#); Oagile, Namasiku, 2010; [Jiang et al., 2021](#); Liu et al., 2020; [Minkina et al., 2022](#)). В целом, нормы использования куриного помета и удобрений на его основе недо-

статочно хорошо разработаны ([Kelleher et al., 2002](#); [Седых, Караш, 2010](#); [Фисинин и др., 2013](#)).

В России действует международный ГОСТ 33830-2016 о стандартах органических удобрений на основе отходов животноводства, к которым относятся компостированный, свежий, подстилочный и бесподстилочный птичий помет. Вносимые удобрения по показателям безопасности должны соответствовать следующим требованиям: содержание свинца – не более 130 мг/кг сухого вещества, кадмия – не более 2.0 мг/кг, ртути – не более 2.1 мг/кг, мышьяка – не более 10 мг/кг. Остаточные количества пестицидов (ГХЦГ, ДДТ) должны составлять менее 0.1 мг/кг сухого вещества. Не допускается присутствие патогенных и болезнетворных микроорганизмов, в том числе энтеробактерий (патогенных серовариантов кишечной палочки, сальмонелл, протеи), энтерококков, стафилококков, клостридий, бацилл, энтеровирусов; жизнеспособных яиц и личинок гельминтов, в том числе нематод (аскаридат, трихоцефалов, стронгилят, стронгилоидов), трематод, цестод; цист кишечных патогенных простейших, личинок и куколок синантропных мух.

В странах Европейского союза обращение с птичьим пометом и подстилкой регулируют несколько регламентов ([Regulation \(EC\) No 1069/2009](#)). Для этих субстратов рекомендуется минимизировать время хранения перед применением, хранить на специальных площадках вдали от возможного стока в водоемы, не допускать доступа животных. При применении в качестве удобрения следует создавать буферные зоны у водоемов (5–10 м), не использовать свежий помет под культуры, употребляемые в пищу в сыром виде, и обязательно запахивать удобрение в почву с использованием вспашки с оборотом пласта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Куриный помет и компосты на его основе являются ценными органическими удобрениями, которые повышают плодородие почв и значительно повышают урожаи сельскохозяйственных культур. Внесение этих удобрений в почву благоприятно сказывается на ее структуре, способствуя удержанию влаги и улучшению воздухообмена, повышает содержание органического вещества, а

также увеличивает биологическую активность почвы. Использование компостированного куриного помета в качестве удобрения позволяет решить проблему его утилизации с птицефабрик. Однако необходима разработка технологий компостирования и внесения данного удобрения на сельскохозяйственные поля, чтобы не допустить пересыщения почвы азотом и другими питательными веществами, а также ее заражения патогенами человека и животных.

Помимо решения технологических вопросов применения компостов на основе куриного помета необходимо более детальное изучение воздействия этого удобрения на физические, химические и биологические свойства почвы. По-прежнему остается неизученным влияние внесения куриного помета на величины и соотношение структурных и процессных пулов ПОВ, химический состав ПОВ, архитектуру порового пространства почвы. Также необходимо более детальное исследование воздействия помета и компостов на его основе на эколого-трофическую структуру и функциональный потенциал почвенного микробиома, что будет способствовать секвестрации углерода и повышению плодородия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобренко И.А., Кормин В.П., Гоман Н.В. Эффективность применения органического удобрения на основе куриного помета под капусту белокочанную // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (28). С. 13–19.
2. Васильев В.А., Лукьяненко И.И., Минеев В.Г. Органические удобрения в интенсивном земледелии. М.: Колос, 1984. 303 с.
3. Васильев В.А., Филиппова Н.В. Справочник по органическим удобрениям. М.: Россельхозиздат, 1988. 255 с.
4. ГОСТ 33830-2016. Межгосударственный стандарт. Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия; введен 2018-01-01. М.: Стандартинформ, 2016. 23 с.
5. Еськов А.И., Мерзлая Г.Е. и др. Справочная книга по производству и применению органических удобрений. Владимир: РАСХН, ВНИПТИОУ, 2001. 495 с.
6. Качикаев Р.Р., Фирсова А.С., Лечицкая Т.В. Влияние разных доз куриного помета на физико-химические свойства чернозема выщелоченного. Сборник материалов Всероссийской (национальной)

научно-практической конференции. Том I. Пенза, 2020. С. 90–94.

7. *Кирюшин В.И.* Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1130–1139.

8. *Кураков А.В., Биланенко Е.Н.* Динамика микобиоты при компостировании коровьего навоза и соломы // Почвоведение. 2023. № 4. С. 464–481.

9. *Лазарев В.И., Стифеев А.И., Черников П.П.* Эффективность гранулированного компоста из куриного помета на посевах ярового ячменя в условиях черноземных почв Курской области // Научное обеспечение агропромышленного производства. 2018. С. 76–80.

10. *Лысенко В.П., Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А.* Биопрепараты для компостирования птичьего помета // Птицеводство. 2014. № 3. С. 39–44.

11. *Мерзлая Г.Е., Володарская Н.И., Полунин С.Ф.* и др. Научные основы и рекомендации по эффективному применению органических удобрений. М.: ВАСХНИЛ, ВИУА, 1991. 216 с.

12. *Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А., Кирсанов Г.А., Коваленко А.А., Степанов А.И.* Эффективное применение органических удобрений на основе птичьего помета // Научно-технологическое развитие АПК как драйвер экономического роста ЕАЭС. 2018. С. 212–221.

13. *Наумова Н.Б., Ручко Е.Н., Савенков О.А., Плевакова В.И.* Микробиом почвы и сельскохозяйственных культур при внесении компоста куриного помета // Почвы и окружающая среда. 2021. № 4 (1). С. 35–49.

14. *Ненайденко Г.Н., Рябов Д.А., Тарасов А.Л.* Агрохимическая оценка куриного опилочного компоста // Владимирский земледелец. 2010. № 4. С. 31–33.

15. *Потапов М.А., Фролов Д.И.* Внесение куриного помета и компоста на его основе на химический состав почвы // Инновационная техника и технология. 2021a. № 8 (4). С. 60–64.

16. *Потапов М.А., Фролов Д.И.* Влияние куриного помета на физические характеристики почвы // Инновационная техника и технология. 2021b. № 8 (3). С. 56–60.

17. *Седых В.А., Карауш П.Ю.* Перспективы создания органических удобрений с заданными свойствами на основе птичьего помета (обзор) // Плодородие. 2010. № 6. С. 14–16.

18. *Семенов В.М., Лебедева Т.Н., де Гереню В.О.Л., Овсепян Л.А., Семенов М.В., Курганова И.Н.* Пулы и фракции органического углерода в почве: структура, функции и методы определения // Почвы и окружающая среда. 2023. Т. 6. № 1. e199–e199.

19. *Семенов М.В., Никитин Д.А., Степанов А.Л., Семенов В.М.* Структура бактериальных и грибных сообществ ризосферного и внекорневого

локусов серой лесной почвы // Почвоведение. 2019. № 3. С. 355–369.

20. Сопельченко О.А., Каменев Р.А., Турчин В.В. Экономическая оценка применения компоста из куриного помета под кукурузу на черноземе южном Ростовской области // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2018. № 2. С. 98–103.

21. Сычев В.Г., Мерзлая Г.Е., Петрова Г.В., Филиппова А.В., Попов В.И., Мищенко В.Н. Эколого-агрохимические свойства и эффективность верми- и биокomпостов. М.: ВНИИА, 2017. 276 с.

22. Сычев В.Г., Соколов О.А., Завалин А.А., Шмырева Н.Я. Экология применения органических удобрений. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии Д.Н. Прянишникова, 2017. 336 с.

23. Теучеж А.А. Применение птичьего помета в качестве органического удобрения // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 128. С. 914–931.

24. Турчин В.В., Сисин А.В., Баленко Е.Г. Действие компоста из куриного помета на урожайность и качество семян подсолнечника // Вестник Мичуринского ГАУ. 2017. № 4. С. 14.

25. Фисинин В.И., Сычев В.Г., Афанасьев Р.А., Лысенко В.П., Мерзлая Г.Е. и др. Использование птичьего помета в земледелии (научно-методическое руководство). М.: ООО НИПКЦ Восход-А, 2013. 272 с.

26. Чекаев Н.П. Агроэкологическая оценка применения куриного помета в качестве удобрения // Плодородие. 2009. № 3. С. 13–14.

27. Чекаев Н.П., Куликова Е.Г., Леснов А.В. Действие птичьего помета и известкового мелиоранта на кислотно-основные свойства чернозема выщелоченного и урожайность сельскохозяйственных культур // Нива Поволжья. 2020. № 3 (56). С. 65–72.

28. Ajwa H.A., Tabatabai M.A. Decomposition of different organic materials in soils // Biol. Fertil. Soils. 1994. Vol. 18. No. 3. P. 175–182.

29. Amanullah M.M., Somasundaram E., Vaiyapuri K., Sathyamoorthi K. Poultry manure to crops: A Review // Agricultural reviews-agricultural research communications centre India. 2007. Vol. 28 (3). P. 216.

30. Ashworth A.J., Chastain J.P., Moore P.A. Nutrient characteristics of poultry manure and litter // Animal manure: production, characteristics, environmental concerns, and management. 2020. Vol. 67. P. 63–87. DOI: [10.2134/asaspecpub67.c5](https://doi.org/10.2134/asaspecpub67.c5).

31. Awasthi M.K., Liu T., Chen H., Verma S., Duan Y., Awasthi S.K., Wang Q., Ren X., Zhao J., Zhang Z. The behavior of antibiotic resistance genes and their associations with bacterial community during poultry manure composting // Bioresour. Technol. 2019. Vol. 280. P. 70–78. DOI:

[10.1016/j.biortech.2019.02.030](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.030).

32. Azeez J.O., Van Averbeke W. Fate of manure phosphorus in a weathered sandy clay loam soil amended with three animal manures // *Bioresour. Technol.* 2010. Vol. 101. P. 6584–6588. DOI: [10.1016/j.biortech.2010.03.073](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.03.073).

33. Azim K., Soudi B., Boukhari S., Perissol C., Roussos S., Thami Alami I. Composting parameters and compost quality: a literature review // *Organic agriculture*. 2018. Vol. 8. P. 141–158. DOI: [10.1007/s13165-017-0180-z](https://doi.org/10.1007/s13165-017-0180-z).

34. Barbour E.K., Hussein S.A., Farran M.T., Itani D.A., Houalla R.H., Hamadeh S.K. Soil solarization: a sustainable agriculture approach to reduce microorganisms in chicken manure-treated soil // *Journal of Sustainable Agriculture*. 2002. Vol. 19 (4). P. 95–104. DOI: [10.1300/J064v19n04_09](https://doi.org/10.1300/J064v19n04_09).

35. Cayci G., Temiz C., Sozudogru O.S. The effects of fresh and composted chicken manures on some soil characteristics // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2017. Vol. 48 (13). P. 1528–1538. DOI: [10.1080/00103624.2017.1373794](https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1373794).

36. Chang R., Li Y., Chen Q., Gong X., Qi Z. Effects of carbon-based additives and ventilation rate on nitrogen loss and microbial community during chicken manure composting // *PloS one*. 2020. Vol. 15 (9). P. e0229880. DOI: [10.1371/journal.pone.0229880](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229880).

37. Chen Z.; Jiang X. Microbiological Safety of Chicken Litter or Chicken Litter-Based Organic Fertilizers: A Review // *Agric.* 2014. Vol. 4. P. 1–29. DOI: [10.3390/agriculture4010001](https://doi.org/10.3390/agriculture4010001).

38. Chen G., Yuan J., Chen H., Zhao X., Wang S., Zhu Y., Wang Y. Animal manures promoted soil phosphorus transformation via affecting soil microbial community in paddy soil // *Sci. Total Environ.* 2022. Vol. 831. P. 154917. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.154917](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154917).

39. Crippen T.L., Sheffield C.L., Singh B., Byrd J.A., Beier R.C., Anderson R.C. Poultry litter and the environment: Microbial profile of litter during successive flock rotations and after spreading on pastureland // *Sci. Total Environ.* 2021. Vol. 780. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.146413](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146413).

40. Dani U., Budiarti A.N.S., Wijaya A.A. Application of Chicken manure Dosage and Plant Growth Promoting *Rhizobacteria* on the Growth and Yield of Shallot Plants (*Allium ascalonicum* L.) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 748 (1). P. 012044. DOI: [10.1088/1755-1315/748/1/012044](https://doi.org/10.1088/1755-1315/748/1/012044).

41. Dikinya O., Mufwanzala N. Chicken manure-enhanced soil fertility and productivity: Effects of application rates // *Journal of soil science and environmental management*. 2010. Vol. 1 (3). P. 46–54.

42. Drózd D., Wysłowska K., Malińska K., Groszer A., Grobelak A., Kacprzak M. Management of poultry manure in Poland – Current state and future perspectives // *J. Environ. Manage.* 2020. Vol. 264. P. 110327. DOI:

[10.1016/j.jenvman.2020.110327](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110327).

43. Ezugworie F.N., Igbokwe V.C., Onwosi C.O. Proliferation of antibiotic-resistant microorganisms and associated genes during composting: An overview of the potential impacts on public health, management and future // *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 784. P. 147191. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.147191](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147191).

44. Feng G., Adeli A., Read J., McCarty J., Jenkins J. Consequences of pelletized poultry litter applications on soil physical and hydraulic properties in reduced tillage, continuous cotton system // *Soil Tillage Res*. 2019. Vol. 194. P. 104309. DOI: [10.1016/j.still.2019.104309](https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104309).

45. Guo Z., Lv L., Liu D., He X., Wang W., Feng Y., Islam M.S., Wang Q., Chen W., Liu Z.; Wu S., Abied A. A global meta-analysis of animal manure application and soil microbial ecology based on random control treatments // *PLoS One*. 2022. Vol. 17. P. 1–17. DOI: [10.1371/journal.pone.0262139](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262139).

46. Herbert. Bases of composting National Engineering Handbook // *Environmental Engineering Chapter 2 Composting*. 2010. P. 637.

47. Hruby C.E., Soupier M.L., Moorman T.B., Pederson C., Kanwar R. *Salmonella* and Fecal Indicator Bacteria Survival in Soils Amended with Poultry Manure // *Water, Air, Soil Pollut*. 2018. Vol. 229. P. 1–14. DOI: [10.1007/s11270-017-3667-z](https://doi.org/10.1007/s11270-017-3667-z).

48. Huang X., Jia Z., Guo J., Li T., Sun D., Meng H., Yu G., He X., Ran W., Zhang S., Hong J., Shen Q. Ten-year long-term organic fertilization enhances carbon sequestration and calcium-mediated stabilization of aggregate-associated organic carbon in a reclaimed Cambisol // *Geoderma*. 2019. Vol. 355. P. 113880. DOI: [10.1016/j.geoderma.2019.113880](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113880).

49. Gigliotti G., Proietti P., Said-Pullicino D., Nasini L., Pezzolla D., Rosati L., Porceddu P.R. Co-composting of olive husks with high moisture contents: organic matter dynamics and compost quality // *International biodeterioration & biodegradation*. 2012. Vol. 67. P. 8–14. DOI: [10.1016/j.ibiod.2011.11.009](https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.11.009).

50. Guerra-Rodríguez E., Vázquez M., Díaz-Raviña M. Dynamics of the co-composting of barley waste with liquid poultry manure // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2003. Vol. 83 (3). P. 166–172. DOI: [10.1002/jsfa.1302](https://doi.org/10.1002/jsfa.1302).

51. Gurmessa B., Ashworth A. J., Yang Y., Savin M., Moore P.A., Ricke S.C., ... & Cocco S. Variations in bacterial community structure and antimicrobial resistance gene abundance in cattle manure and poultry litter // *Environmental Research*. 2021. Vol. 197. P. 111011. DOI: [10.1016/j.envres.2021.111011](https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111011).

52. Guo Z., Lv L., Liu D., He X., Wang W., Feng Y., Islam M.S., Wang Q., Chen W., Liu Z. *et al*. A global meta-analysis of animal manure application and soil microbial ecology based on random control treatments // *PLoS One*. 2022. Vol. 17. P. 1–17. DOI: [10.1371/journal.pone.0262139](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262139).

53. *Islam M.S., Kasim S., Alam K.M., Amin A.M., Geok Hun T., Haque M.A.* Changes in chemical properties of banana pseudostem, mushroom media waste, and chicken manure through the co-composting process // *Sustainability*. 2021. Vol. 13 (15). P. 8458. DOI: [10.3390/su13158458](https://doi.org/10.3390/su13158458).
54. *Iqbal Y., Cottrell J.J., Suleria H.A.R., Dunshea F.R.* Gut Microbiota-Polyphenol Interactions in Chicken: A Review // *Animals*. 2020. Vol. 10 (8). P. 1391. DOI: [10.3390/ani10081391](https://doi.org/10.3390/ani10081391).
55. *Jiang J., Stevenson D.S., Uwizye A., Tempio G., Sutton M.A.* A climate-dependent global model of ammonia emissions from chicken farming // *Biogeosciences*. 2021. Vol. 18 (1). P. 135–158. DOI: [10.5194/bg-18-135-2021](https://doi.org/10.5194/bg-18-135-2021).
56. *Kacprzak M.J., Sobik-Szolysek J.* The opoka-rock in N and P of poultry manure management according to circular economy // *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 316. P. 115262. DOI: [10.1016/j.jenvman.2022.115262](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115262).
57. *Kelleher B.P., Leahy J.J., Henihan A.M., O'dwyer T.F., Sutton D., Leahy M.J.* Advances in poultry litter disposal technology – a review // *Bioresource technology*. 2002. Vol. 83 (1). P. 27–36. DOI: [10.1016/S0960-8524\(01\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00133-X).
58. *Li H., Yang S., Semenov M.V., Yao F., Ye J., Bu R., Ma R., Lin J., Kurganova I., Wang X., Deng Y., Kravchenko I., Jiang Y., Kuzyakov Y.* Temperature sensitivity of SOM decomposition is linked with a K- selected microbial community // *Global Change Biology*. 2021. Vol. 27 (12). P. 2763–2779.
59. *Li M.X., He X.S., Tang J., Li X., Zhao R., Tao Y.Q., Wang C., Qiu Z.P.* Influence of moisture content on chicken manure stabilization during microbial agent-enhanced composting // *Chemosphere*. 2021. Vol. 264 (2). P. 128549. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2020.128549](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128549).
60. *Lim S.L., Wu T.Y., Lim, P.N., Shak K.P.Y.* The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015. Vol. 95 (6). P. 1143–1156. DOI: [10.1002/jsfa.6849Awasthia](https://doi.org/10.1002/jsfa.6849Awasthia).
61. *Mao H., Wang K., Wang Z., Peng J., Ren N.* Metabolic function, trophic mode, organics degradation ability and influence factor of bacterial and fungal communities in chicken manure composting // *Bioresour. Technol.* 2020. Vol. 302. P. 122883. DOI: [10.1016/j.biortech.2020.122883](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122883).
62. *Meier S., Curaqueo G., Khan N., Bolan N., Cea M., Eugenia G. M., Cornejo P., Ok Y.S., Borie F.* Chicken-manure-derived biochar reduced bioavailability of copper in a contaminated soil // *Journal of Soils and Sediments*. 2017. Vol. 17. P. 741–750.
63. *Minkina T., Sushkova S., Delegan Y., Bren A., Mazanko M.,*

- Kocharovskaya Y., Filonov A., Rajput V.D., Mandzhieva S., Rudoy D., Prazdnova E.V., Vereshak E., Zelenkova G., Ranjan A. Effect of chicken manure on soil microbial community diversity in poultry keeping areas // *Environmental Geochemistry and Health*. 2022. P. 1–17. DOI: [10.1007/s10653-022-01447-x](https://doi.org/10.1007/s10653-022-01447-x).
64. Neher D.A., Limoges M.A., Weicht T.R., Sharma M., Millner P.D., Donnelly C. Bacterial Community Dynamics Distinguish Poultry Compost from Dairy Compost and Non-Amended Soils Planted with Spinach // *Microorganisms*. 2020. Vol. 8. P. 1601. DOI: [10.3390/microorganisms8101601](https://doi.org/10.3390/microorganisms8101601).
65. Ojeniyi S.O. Effect of poultry manure on selected soil physical and chemical properties, growth, yield and nutrient status of tomato. *African Journal of Agricultural Research*. 2008. Vol. 3 (9). P. 612–616.
66. Panda A.K., Bisht S.S., De Mandal S., Kumar N.S. Microbial diversity of thermophiles through the lens of next generation sequencing / Microbial diversity in the genomic era. Academic Press. 2019. P. 217–226. DOI: [10.1016/B978-0-12-814849-5.00013-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814849-5.00013-7).
67. Razmjoo P., Pourzamani H., Teiri H., Hajizadeh Y. Determination of an empirical formula for organic composition of mature compost produced in Isfahan-Iran composting plant in 2013. *International Journal of Environmental Health Engineering*. 2015. Vol. 4 (1). P. 3. DOI: [10.4103/2277-9183.153988](https://doi.org/10.4103/2277-9183.153988).
68. Regulation (EC) No 1069/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 laying down health rules as regards animal by-products and derived products not intended for human consumption and repealing Regulation (EC) No 1774/2002 (Animal by-products Regulation).
69. Ren F., Sun N., Xu M., Zhang X., Wu L., Xu M. Changes in soil microbial biomass with manure application in cropping systems: A meta-analysis // *Soil Tillage Res*. 2019. Vol. 194. P. 104291. DOI: [10.1016/j.still.2019.06.008](https://doi.org/10.1016/j.still.2019.06.008).
70. Rubežius M., Bleizgys R., Venslauskas K., Navickas K. Influence of biological pretreatment of poultry manure on biochemical methane potential and ammonia emission // *Biomass and Bioenergy*. 2020. P. 142. DOI: [10.1016/j.biombioe.2020.105815](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105815).
71. Rynk R., Cooperband L., Oshins C., Wescott H., Bonhotol J., Schwarz M., Sherman R., Brown S. Why compost? // *The Composting Handbook*. Academic Press. 2022. P. 1–26. DOI: [10.1016/B978-0-323-85602-7.00001-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85602-7.00001-7).
72. Semenov M.V., Krasnov G.S., Semenov V.M., van Bruggen A.H. Long-term fertilization rather than plant species shapes rhizosphere and bulk soil prokaryotic communities in agroecosystems // *Applied Soil Ecology*. 2020. Vol. 154. P. 103641.
73. Semenov M.V., Krasnov G.S., Semenov V.M., Ksenofontova N.A., Zinyakova N.B., van Bruggen A.H.C. Does fresh farmyard manure introduce

- surviving microbes into soil or activate soil-borne microbiota? // J. Environ. Manage. 2021. Vol. 294. P. 113018. DOI: [10.1016/j.jenvman.2021.113018](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113018).
74. *Semenov M. V., Krasnov G. S., Semenov V. M., van Bruggen A.* Mineral and organic fertilizers distinctly affect fungal communities in the crop rhizosphere // Journal of Fungi. Vol. 8 (3). P. 251.
75. *Subirats J., Murray R., Yin X., Zhang T., Topp E.* Impact of chicken litter pre-application treatment on the abundance, field persistence, and transfer of antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes to vegetables // Science of the Total Environment. 2021. Vol. 801. P. 149718. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.149718](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149718).
76. *Tripetchkul S., Pundee K., Koonsrisuk S., Akeprathumchai S.* Co-composting of coir pith and cow manure: initial C/N ratio vs physico-chemical changes // International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. 2012. Vol. 1. P. 1–8. DOI: [10.1186/2251-7715-1-15](https://doi.org/10.1186/2251-7715-1-15).
77. *Tuomela M., Vikman M., Hatakka A., Itävaara M.* Biodegradation of lignin in a compost environment: a review // Bioresource technology. 2000. V. 72(2). P. 169-183. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00104-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00104-2)
78. *Urra J., Alkorta I., Lanzén A., Mijangos I., Garbisu C.* The application of fresh and composted horse and chicken manure affects soil quality, microbial composition and antibiotic resistance // Applied Soil Ecology. 2019. Vol. 135. P. 73–84. DOI: [10.1016/j.apsoil.2018.11.005](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.11.005).
79. *Wan L., Wang X., Cong C., Li J., Xu Y., Li X., Hou F., Wu Y., Wang L.* Effect of inoculating microorganisms in chicken manure composting with maize straw // Bioresour Technol. 2020. Vol. 301. P. 122730. DOI: [10.1016/j.biortech.2019.122730](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122730).
80. *Wang Y., Gong J., Li J., Xin Y., Hao Z., Chen C., Li H., Wang B., Ding M., Li W., Zhang Z., Xu P., Xu T., Ding G.C., Li J.* Insights into bacterial diversity in compost: Core microbiome and prevalence of potential pathogenic bacteria // Sci. Total Environ. 2020. Vol. 718. P. 137304. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.137304](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137304).
81. *Wang D., Lin J.Y., Sayre J.M., Schmidt R., Fonte S.J., Rodrigues J.L.M., Scow K.M.* Compost amendment maintains soil structure and carbon storage by increasing available carbon and microbial biomass in agricultural soil – A six-year field study // Geoderma. 2022. Vol. 427. P. 116117. DOI: [10.1016/j.geoderma.2022.116117](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116117).
82. *Wei L.L., Chen S., Cui J., Ping H., Yuan C., Chen Q.* A meta-analysis of arable soil phosphorus pools response to manure application as influenced by manure types, soil properties, and climate // J. Environ. Manage. 2022. Vol. 313. P. 115006. DOI: [10.1016/j.jenvman.2022.115006](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115006).
83. *Wichuk K.M., McCartney D.* Compost stability and maturity evaluation – a literature review // Journal of Environmental Engineering and Science. 2013.

Vol. 8 (5). P. 601–620. DOI: [10.1139/L10-101](https://doi.org/10.1139/L10-101).

84. Wu Z., Zhang L., Lin H., Zhou S. Enhanced removal of antibiotic resistance genes during chicken manure composting after combined inoculation of *Bacillus subtilis* with biochar // Journal of Environmental Sciences. 2022. Vol. 135. P. 274–284. DOI: [10.1016/j.jes.2022.12.002](https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.12.002).

85. Yang Q., Zhang H., Guo Y., Tian T. Influence of chicken manure fertilization on antibiotic-resistant bacteria in soil and the endophytic bacteria of pakchoi // International journal of environmental research and public health. Vol. 13 (7). P. 662. DOI: [10.3390/ijerph13070662](https://doi.org/10.3390/ijerph13070662).

86. Yang S., Wu H., Wang Z., Semenov M.V., Ye J., Yin L., Wang X., Kravchenko I., Semenov V., Kuzyakov Y., Jiang Y., Li H. Linkages between the temperature sensitivity of soil respiration and microbial life strategy are dependent on sampling season // Soil Biology and Biochemistry. 2022. Vol. 172. P. 108758.

87. Zainudin M.H.M., Zulkarnain A., Azmi A.S., Muniandy S., Sakai K., Shirai Y., Hassan M.A. Enhancement of agro-industrial waste composting process via the microbial inoculation: a brief review // Agronomy. 2022. Vol. 12 (1). P. 198. DOI: [10.3390/agronomy12010198](https://doi.org/10.3390/agronomy12010198).

88. Zhang D., Cheng H., Hao B., Li Q., Wu J., Zhang Y., Cao A. Fresh chicken manure fumigation reduces the inhibition time of chloropicrin on soil bacteria and fungi and increases beneficial microorganisms // Environmental Pollution. 2021. Vol. 286. P. 117460. DOI: [10.1016/j.envpol.2021.117460](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117460).

89. Zhao X., Wang J., Zhu L., Ge W., Wang J. Environmental analysis of typical antibiotic-resistant bacteria and ARGs in farmland soil chronically fertilized with chicken manure // Science of the Total Environment. 2017. Vol. 593. P. 10–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.062>.

90. Zhou Y., Xiao R., Klammsteiner T., Kong X., Yan B., Mihai F.C., Liua T., Zhanga Z., Kumar M., Awasthi M.K. Recent trends and advances in composting and vermicomposting technologies: A review // Bioresource Technology. 2022. P. 127591. DOI: [10.1016/j.biortech.2022.127591](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127591).

91. Zhu L., Lian Y., Lin D., Huang D., Yao Y., Ju F., Wang M. Insights into microbial contamination in multi-type manure-amended soils: The profile of human bacterial pathogens, virulence factor genes and antibiotic resistance genes // J. Hazard. Mater. 2022. Vol. 437. P. 129356. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2022.129356](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129356).

REFERENCES

1. Bobrenko I.A., Kormin V.P., Goman N.V., Effektivnost' primeneniya organicheskogo udobreniya na osnove kurinogo pometa pod kapustu belokochannuyu (The effectiveness of the use of organic fertilizer based on

- chicken manure for white cabbage), *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, Vol. 4 (28), pp. 13–19.
2. Vasiliev V.A., Lukyanenko I.I., Mineev V.G., *Organicheskie udobreniya v intensivnom zemledelii* (Organic fertilizers in intensive farming), Moscow: Kolos, 1984, 303 p.
3. Vasiliev V.A., Filippova N.V., *Spravochnik po organicheskim udobreniyam* (Handbook of organic fertilizers), Moscow: Rosselkhozizdat, 1988, 255 p.
4. GOST 33830-2016, Interstate standard. Organic fertilizers based on animal waste. Specifications; input. 2018–01–01, Moscow: Standartinform, 2016. 23 p.
5. Eskov A.I., Merzlaya G.E., *Spravochnaya kniga po proizvodstvu i primeneniyu organicheskikh udobrenii* (Reference book on the production and use of organic fertilizers), Vladimir: RAAS, VNIPTIOU, 2001, 495 p.
6. Kachikaev R.R., Firsova A.S., Lechitskaya T.V., Vliyanie raznykh doz kurinogo pometa na fiziko-khimicheskie svoystva chernozema vyshchelochennogo (Influence of different doses of chicken manure on the physicochemical properties of leached chernozem), *Proc. of the All-Russian (national) Sci. and Pract. Conf.*, 2020, Vol. I, Penza, pp. 90–94.
7. Kiryushin V.I., The management of soil fertility and productivity of agroecosystems in adaptive-landscape farming systems, *Eurasian Soil Science*, 2019, Vol. 52, pp. 1137–1145.
8. Kurakov A.V., Bilanenko E.N., Dynamics of mycobiota during composting of cow manure and straw, *Eurasian Soil Science*, 2023, Vol. 4, pp. 464–481.
9. Lazarev V.I., Stifeev A.I., Chernikov P.P., Effektivnost' granulirovannogo komposta iz kurinogo pometa na posevakh yarovogo yachmenya v usloviyakh chernozemnykh pochv Kurskoi oblasti (Efficiency of granulated compost from chicken manure on spring barley crops in the conditions of chernozem soils of the Kursk region), *Nauchnoye obespecheniye agropromyshlennogo proizvodstva*, 2018, pp. 76–80.
10. Lysenko V.P., Merzlaya G.E., Afanasiev R.A., Biopreparaty dlya kompostirovaniya ptich'ego pometa (Biological products for composting bird droppings), *Ptitsevodstvo*, 2014, Vol. 3, pp. 39–44.
11. Merzlaya G.E., Volodarskaya N.I., Polunin S.F. et al., *Nauchnye osnovy i rekomendatsii po effektivnomu primeneniyu organicheskikh udobrenii* (Scientific bases and recommendations for the effective use of organic fertilizers), Moscow: VASKhNIL, VIUA, 1991, 216 p.
12. Merzlaya G.E., Afanasiev R.A., Kirsanov G.A., Kovalenko A.A., Stepanov A.I., Effektivnoe primeneniye organicheskikh udobrenii na osnove ptich'ego pometa (Effective use of organic fertilizers based on bird droppings),

Nauchno-tekhnologicheskoye razvitiye APK kak drayver ekonomicheskogo rosta YEAEs, 2018, pp. 212–221.

13. Naumova N.B., Ruchko E.N., Savenkov O.A., Pleshakova V.I., *Mikrobiom pochvy i sel'skokhozyaistvennykh kul'tur pri vnesenii komposta kurinogo pometa* (Microbiome of soil and agricultural crops during the application of chicken manure compost), *Pochvy i okruzhayushchaya sreda*, 2021, Vol. 4 (1), pp. 35–49.

14. Nenaidenko G.N., Ryabov D.A., Tarasov A.L., *Agrokhimicheskaya otsenka kurinogo opilochnogo komposta* (Agrochemical assessment of chicken sawdust compost), *Vladimirskiy zemledelets*, 2010, Vol. 4, pp. 31–33.

15. Potapov M.A., Frolov D.I., *Vnesenie kurinogo pometa i komposta na ego osnove na khimicheskii sostav pochvy* (The introduction of chicken manure and compost based on it on the chemical composition of the soil), *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya*, 2021a, Vol. 8 (4), pp. 60–64.

16. Potapov M.A., Frolov D.I., *Vliyanie kurinogo pometa na fizicheskie kharakteristiki pochvy* (Influence of chicken manure on the physical characteristics of the soil), *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya*, 2021b, Vol. 8 (3), pp. 56–60.

17. Sedykh V.A., Karaush P.Yu., *Perspektivy sozdaniya organicheskikh udobrenii s zadannymi svoystvami na osnove ptich'ego pometa (obzor)* (Prospects for the creation of organic fertilizers with desired properties based on bird droppings (review)), *Fertility*, 2010, Vol. 6, pp. 14–16.

18. Semenov V.M., Lebedeva T.N., de Gerenyu V.O.L., Ovsepyan L.A., Semenov M.V., Kurganova I.N., *Puly i fraktsii organicheskogo ugleroda v pochve: struktura, funktsii i metody opredeleniya* (Pools and fractions of organic carbon in soil: structure, functions and methods of determination), *The Journal of Soils and Environment*, 2023, Vol. 6 (1), e199–e199.

19. Semenov M.V., Nikitin D.A., Stepanov A.L., Semenov V.M., *The structure of bacterial and fungal communities in the rhizosphere and root-free loci of gray forest soil*, *Eurasian Soil Science*, 2019, Vol. 52, pp. 319–332.

20. Sopolchenko O.A., Kamenev R.A., Turchin V.V., *(Economic evaluation of the use of compost from chicken manure for corn on the southern chernozem of the Rostov region)*, *Bulletin of Michurinsky State Agrarian University*, 2018, Vol. 2, pp. 98–103.

21. Sychev V.G., Merzlaya G.E., Petrova G.V., Filippova A.V., Popov V.I., Mishchenko V.N., *Ekonomicheskaya otsenka primeneniya komposta iz kurinogo pometa pod kukuruzu na chernozeme yuzhnom Rostovskoi oblasti* (Ecological and agrochemical properties and efficiency of vermi- and biocomposts), Moscow: VNIIA, 2017, 276 p.

22. Sychev V.G., Sokolov O.A., Zavalin A.A., Shmyreva N.Ya., *Ekologo-agrokhimicheskie svoystva i effektivnost' vermi- i biokompostov* (Ecology of

the use of organic fertilizers), Moscow: All-Russian Research Institute of Agrochemistry D.N. Pryanishnikova, 2017, 336 p.

23. Teuchezh A.A., *Ekologiya primeneniya organicheskikh udobrenii* (The use of bird manure as an organic fertilizer), *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, Vol. 128, pp. 914–931.

24. Turchin V.V., Sisin A.V., Balenko E.G., *Deistvie komposta iz kurinogo pometa na urozhainost' i kachestvo semyan podsolnechnika* (The effect of compost from chicken manure on the yield and quality of sunflower seeds), *Vestnik Michurinskogo GAU*, 2017, Vol. 4, p. 14.

25. Fisinin V.I., Sychev V.G., Afanasiev R.A., Lysenko V.P., Merzlaya G.E. et al., *Ispolzovanie ptich'ego pometa v zemledelii (nauchno-metodicheskoe rukovodstvo)* (The use of bird droppings in agriculture (scientific and methodological guide)), Moscow: OOO NIPKTS Voskhod-A, 2013, 272 p.

26. Chekaev N.P., *Agroekologicheskaya otsenka primeneniya kurinogo pometa v kachestve udobreniya* (Agroecological assessment of the use of chicken manure as a fertilizer), *Plodorodiye*, 2009, Vol. 3, pp. 13–14.

27. Chekaev N.P., Kulikova E.G., Lesnov A.V., *Deistvie ptich'ego pometa i izvestkovogo melioranta na kislотно-osnovnye svoystva chernozema vyshchelochennogo i urozhainost' sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* (The effect of bird droppings and lime ameliorant on the acid-base properties of leached chernozem and the productivity of agricultural crops), *Niva Povolzh'ya*, 2020, Vol. 3 (56), pp. 65–72.

28. Ajwa H.A., Tabatabai M.A., *Decomposition of different organic materials in soils*, *Biol. Fertil. Soils*, 1994, Vol. 18, No. 3, pp. 175–182.

29. Amanullah M.M., Somasundaram E., Vaiyapuri K., Sathyamoorthi K., *Poultry manure to crops: A Review*, *Agricultural reviews-agricultural research communications centre India*, 2007, Vol. 28 (3), p. 216.

30. Ashworth A.J., Chastain J.P., Moore P.A., *Nutrient characteristics of poultry manure and litter*, *Animal manure: production, characteristics, environmental concerns, and management*, 2020, Vol. 67, pp. 63–87, DOI: [10.2134/aspectpub67.c5](https://doi.org/10.2134/aspectpub67.c5).

31. Awasthi M.K., Liu T., Chen H., Verma S., Duan Y., Awasthi S.K., Wang Q., Ren X., Zhao J., Zhang Z., *The behavior of antibiotic resistance genes and their associations with bacterial community during poultry manure composting*, *Bioresour. Technol.*, 2019, Vol. 280, pp. 70–78, DOI: [10.1016/j.biortech.2019.02.030](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.030).

32. Azeez J.O., Van Averbek W., *Fate of manure phosphorus in a weathered sandy clay loam soil amended with three animal manures*, *Bioresour. Technol.*, 2010, Vol. 101, pp. 6584–6588, DOI: [10.1016/j.biortech.2010.03.073](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.03.073).

33. Azim K., Soudi B., Boukhari S., Perissol C., Roussos S., Thami Alami I., Composting parameters and compost quality: a literature review, *Organic agriculture*, 2018, Vol. 8, pp. 141–158, DOI: [10.1007/s13165-017-0180-z](https://doi.org/10.1007/s13165-017-0180-z).
34. Barbour E.K., Hussein S.A., Farran M.T., Itani D.A., Houalla R.H., Hamadeh S.K., Soil solarization: a sustainable agriculture approach to reduce microorganisms in chicken manure-treated soil, *Journal of Sustainable Agriculture*, 2002, Vol. 19 (4), pp. 95–104, DOI: [10.1300/J064v19n04_09](https://doi.org/10.1300/J064v19n04_09).
35. Cayci G., Temiz C., Sozudogru O.S., The effects of fresh and composted chicken manures on some soil characteristics, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2017, Vol. 48 (13), pp. 1528–1538, DOI: [10.1080/00103624.2017.1373794](https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1373794).
36. Chang R., Li Y., Chen Q., Gong X., Qi Z., Effects of carbon-based additives and ventilation rate on nitrogen loss and microbial community during chicken manure composting, *PloS one*, 2020, Vol. 15 (9), pp. e0229880, DOI: [10.1371/journal.pone.0229880](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229880).
37. Chen, Z.; Jiang, X., Microbiological Safety of Chicken Litter or Chicken Litter-Based Organic Fertilizers: A Review, *Agric.*, 2014, Vol. 4, pp. 1–29, DOI: [10.3390/agriculture4010001](https://doi.org/10.3390/agriculture4010001).
38. Chen G., Yuan J., Chen H., Zhao X., Wang S., Zhu Y., Wang Y., Animal manures promoted soil phosphorus transformation via affecting soil microbial community in paddy soil, *Sci. Total Environ.*, 2022, Vol. 831, pp. 154917, DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.154917](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154917).
39. Crippen T.L., Sheffield C.L., Singh B., Byrd J.A., Beier R.C., Anderson R.C., Poultry litter and the environment: Microbial profile of litter during successive flock rotations and after spreading on pastureland, *Sci. Total Environ.*, 2021, Vol. 780, DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.146413](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146413).
40. Dani U., Budiarti A.N.S., Wijaya A.A., Application of Chicken manure Dosage and Plant Growth Promoting Rhizobacteria on the Growth and Yield of Shallot Plants (*Allium ascalonicum* L.), *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 748 (1), pp. 012044, DOI: [10.1088/1755-1315/748/1/012044](https://doi.org/10.1088/1755-1315/748/1/012044).
41. Dikinya O., Mufwanzala N., Chicken manure-enhanced soil fertility and productivity: Effects of application rates, *Journal of soil science and environmental management*, 2010, Vol. 1 (3), pp. 46–54.
42. Drózd D., Wystalska K., Malińska K., Grosser A., Grobelak A., Kacprzak M., Management of poultry manure in Poland - Current state and future perspectives, *J. Environ. Manage*, 2020, Vol. 264, pp. 110327, DOI: [10.1016/j.jenvman.2020.110327](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110327).
43. Ezugworie F.N., Igbokwe V.C., Onwosi C.O., Proliferation of antibiotic-resistant microorganisms and associated genes during composting: An overview of the potential impacts on public health, management and future,

Science of The Total Environment, 2021, Vol. 784, pp. 147191, DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.147191](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147191).

44. Feng G., Adeli A., Read J., McCarty J., Jenkins J., Consequences of pelletized poultry litter applications on soil physical and hydraulic properties in reduced tillage, continuous cotton system, *Soil Tillage Res.*, 2019, Vol. 194, pp. 104309, DOI: [10.1016/j.still.2019.104309](https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104309).

45. Guo Z., Lv L., Liu D., He X., Wang W., Feng Y., Islam M.S., Wang Q., Chen W., Liu Z.; Wu S., Abied A., A global meta-analysis of animal manure application and soil microbial ecology based on random control treatments, *PLoS One*, 2022, Vol. 17, pp. 1–17, DOI: [10.1371/journal.pone.0262139](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262139).

46. Herbert, Bases of composting National Engineering Handbook, *Environmental Engineering*, Chapter 2, Composting, 2010, 637 p.

47. Hruby C.E., Soupier M.L., Moorman T.B., Pederson C., Kanwar R., Salmonella and Fecal Indicator Bacteria Survival in Soils Amended with Poultry Manure, *Water. Air. Soil Pollut.*, 2018, Vol. 229, pp. 1–14, DOI: [10.1007/s11270-017-3667-z](https://doi.org/10.1007/s11270-017-3667-z).

48. Huang X., Jia Z., Guo J., Li T., Sun D., Meng H., Yu G., He X., Ran W., Zhang S., Hong J., Shen Q., Ten-year long-term organic fertilization enhances carbon sequestration and calcium-mediated stabilization of aggregate-associated organic carbon in a reclaimed Cambisol, *Geoderma*, 2019, Vol. 355, pp. 113880, DOI: [10.1016/j.geoderma.2019.113880](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113880).

49. Gigliotti G., Proietti P., Said-Pullicino D., Nasini L., Pezzolla D., Rosati L., Porceddu P.R., Co-composting of olive husks with high moisture contents: organic matter dynamics and compost quality, *International biodeterioration & biodegradation*, 2012, Vol. 67, pp. 8–14, DOI: [10.1016/j.ibiod.2011.11.009](https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.11.009).

50. Guerra-Rodríguez E., Vazquez M., Díaz-Raviña M., Dynamics of the co-composting of barley waste with liquid poultry manure, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2003, Vol. 83 (3), pp. 166–172, DOI: [10.1002/jsfa.1302](https://doi.org/10.1002/jsfa.1302).

51. Gurmessa B., Ashworth A. J., Yang Y., Savin M., Moore P.A., Ricke S.C., et al., Variations in bacterial community structure and antimicrobial resistance gene abundance in cattle manure and poultry litter, *Environmental Research*, 2021, Vol. 197, pp. 111011, DOI: [10.1016/j.envres.2021.111011](https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111011).

52. Guo Z., Lv L., Liu D., He X., Wang W., Feng Y., Islam M.S., Wang Q., Chen W., Liu Z. et al., A global meta-analysis of animal manure application and soil microbial ecology based on random control treatments, *PLoS One*, 2022, Vol. 17, pp. 1–17, DOI: [10.1371/journal.pone.0262139](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262139).

53. Islam M.S., Kasim S., Alam K.M., Amin A.M., Geok Hun T., Haque M.A., Changes in chemical properties of banana pseudostem, mushroom media waste, and chicken manure through the co-composting process,

Sustainability, 2021, Vol. 13 (15), pp. 8458, DOI: [10.3390/su13158458](https://doi.org/10.3390/su13158458).

54. Iqbal Y., Cottrell J.J., Suleria H.A.R., Dunshea F.R., Gut Microbiota-Polyphenol Interactions in Chicken: A Review, *Animals*, 2020, Vol. 10 (8), pp. 1391, DOI: [10.3390/ani10081391](https://doi.org/10.3390/ani10081391).

55. Jiang J., Stevenson D.S., Uwizeye A., Tempio G., Sutton M.A., A climate-dependent global model of ammonia emissions from chicken farming, *Biogeosciences*, 2021, Vol. 18 (1), pp. 135–158, DOI: [10.5194/bg-18-135-2021](https://doi.org/10.5194/bg-18-135-2021).

56. Kacprzak M.J., Sobik-Szołtysek J., The opoka-rock in N and P of poultry manure management according to circular economy, *Journal of Environmental Management*, 2022, Vol. 316, pp. 115262, DOI: [10.1016/j.jenvman.2022.115262](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115262).

57. Kelleher B.P., Leahy J.J., Henihan A.M., O'dwyer T.F., Sutton D., Leahy M.J., Advances in poultry litter disposal technology – a review, *Bioresource technology*, 2002, Vol. 83 (1), pp. 27–36, DOI: [10.1016/S0960-8524\(01\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00133-X).

58. Li H., Yang S., Semenov M.V., Yao F., Ye J., Bu R., Ma R., Lin J., Kurganova I., Wang X., Deng Y., Kravchenko I., Jiang Y., Kuzyakov Y., Temperature sensitivity of SOM decomposition is linked with a K- selected microbial community, *Global Change Biology*, 2021, Vol. 27 (12), pp. 2763–2779.

59. Li M.X., He X.S., Tang J., Li X., Zhao R., Tao Y.Q., Wang C., Qiu Z.P., Influence of moisture content on chicken manure stabilization during microbial agent-enhanced composting, *Chemosphere*, 2021, Vol. 264 (2), pp. 128549, DOI: [10.1016/j.chemosphere.2020.128549](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128549).

60. Lim S.L., Wu T.Y., Lim P.N., Shak K.P.Y., The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2015, Vol. 95 (6), pp. 1143–1156, DOI: [10.1002/jsfa.6849Awasthia](https://doi.org/10.1002/jsfa.6849Awasthia).

61. Mao H., Wang K., Wang Z., Peng J., Ren N., Metabolic function, trophic mode, organics degradation ability and influence factor of bacterial and fungal communities in chicken manure composting, *Bioresour. Technol.*, 2020, Vol. 302, pp. 122883, DOI: [10.1016/j.biortech.2020.122883](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122883).

62. Meier S., Curaqueo G., Khan N., Bolan N., Cea M., Eugenia G. M., Cornejo P., Ok Y.S., Borie F., Chicken-manure-derived biochar reduced bioavailability of copper in a contaminated soil, *Journal of Soils and Sediments*, 2017, Vol. 17, pp. 741–750.

63. Minkina T., Sushkova S., Delegan Y., Bren A., Mazanko M., Kocharovskaya Y., Filonov A., Rajput V.D., Mandzhieva S., Rudoy D., Prazdnova E.V., Vereshak E., Zelenkova G., Ranjan A., Effect of chicken manure on soil microbial community diversity in poultry keeping areas,

Environmental Geochemistry and Health, 2022, pp. 1–17, DOI: [10.1007/s10653-022-01447-x](https://doi.org/10.1007/s10653-022-01447-x).

64. Neher D.A., Limoges M.A., Weicht T.R., Sharma M., Millner P.D., Donnelly C., Bacterial Community Dynamics Distinguish Poultry Compost from Dairy Compost and Non-Amended Soils Planted with Spinach, *Microorganisms*, 2020, Vol. 8, pp. 1601, DOI: [10.3390/microorganisms8101601](https://doi.org/10.3390/microorganisms8101601).

65. Ojeniyi S.O., Effect of poultry manure on selected soil physical and chemical properties, growth, yield and nutrient status of tomato, *African Journal of Agricultural Research*, 2008, Vol. 3 (9), pp. 612–616.

66. Panda A.K., Bisht S.S., De Mandal S., Kumar N.S., Microbial diversity of thermophiles through the lens of next generation sequencing, *Microbial diversity in the genomic era. Academic Press*, 2019, pp. 217–226, DOI: [10.1016/B978-0-12-814849-5.00013-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814849-5.00013-7).

67. Razmjoo P., Pourzamani H., Teiri H., Hajizadeh Y., Determination of an empirical formula for organic composition of mature compost produced in Isfahan-Iran composting plant in 2013, *International Journal of Environmental Health Engineering*, 2015, Vol. 4 (1), pp. 3, DOI: [10.4103/2277-9183.153988](https://doi.org/10.4103/2277-9183.153988).

68. Regulation (EC) No 1069/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 laying down health rules as regards animal by-products and derived products not intended for human consumption and repealing Regulation (EC) No 1774/2002 (Animal by-products Regulation).

69. Ren F., Sun N., Xu M., Zhang X., Wu L., Xu M., Changes in soil microbial biomass with manure application in cropping systems: A meta-analysis, *Soil Tillage Res.*, 2019, Vol. 194, pp. 104291, DOI: [10.1016/j.still.2019.06.008](https://doi.org/10.1016/j.still.2019.06.008).

70. Rubežius M., Bleizgys R., Venslauskas K., Navickas K., Influence of biological pretreatment of poultry manure on biochemical methane potential and ammonia emission, *Biomass and Bioenergy*, 2020, pp. 142, DOI: [10.1016/j.biombioe.2020.105815](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105815).

71. Rynk R., Cooperband L., Oshins C., Wescott H., Bonhotal J., Schwarz M., Sherman R., Brown S., Why compost? In: *The Composting Handbook*, Academic Press, 2022, pp. 1–26, DOI: [10.1016/B978-0-323-85602-7.00001-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85602-7.00001-7).

72. Semenov M.V., Krasnov G.S., Semenov V.M., van Bruggen A.H., Long-term fertilization rather than plant species shapes rhizosphere and bulk soil prokaryotic communities in agroecosystems, *Applied Soil Ecology*, 2020, Vol. 154, pp. 103641.

73. Semenov M.V., Krasnov G.S., Semenov V.M., Ksenofontova N.A., Zinyakova N.B., van Bruggen A.H.C., Does fresh farmyard manure introduce surviving microbes into soil or activate soil-borne microbiota? *J. Environ.*

- Manage.*, 2021, Vol. 294, pp. 113018, DOI: [10.1016/j.jenvman.2021.113018](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113018).
74. Semenov M.V., Krasnov G.S., Semenov V.M., van Bruggen A., Mineral and organic fertilizers distinctly affect fungal communities in the crop rhizosphere, *Journal of Fungi*, Vol. 8 (3), pp. 251.
75. Subirats J., Murray R., Yin X., Zhang T., Topp E., Impact of chicken litter pre-application treatment on the abundance, field persistence, and transfer of antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes to vegetables, *Science of the Total Environment*, 2021, Vol. 801, pp. 149718, DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.149718](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149718).
76. Tripetchkul S., Pundee K., Koonsrisuk S., Akeprathumchai S., Co-composting of coir pith and cow manure: initial C/N ratio vs physico-chemical changes, *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2012, Vol. 1, pp. 1–8, DOI: [10.1186/2251-7715-1-15](https://doi.org/10.1186/2251-7715-1-15).
77. Tuomela M., Vikman M., Hatakka A., Itävaara M., Biodegradation of lignin in a compost environment: a review, *Bioresource technology*, 2000, Vol. 72 (2), pp. 169–183, DOI: [10.1016/S0960-8524\(99\)00104-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00104-2).
78. Urrea J., Alkorta I., Lanzén A., Mijangos I., Garbisu C., The application of fresh and composted horse and chicken manure affects soil quality, microbial composition and antibiotic resistance, *Applied Soil Ecology*, 2019, Vol. 135, pp. 73–84, DOI: [10.1016/j.apsoil.2018.11.005](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.11.005).
79. Wan L., Wang X., Cong C., Li J., Xu Y., Li X., Hou F., Wu Y., Wang L., Effect of inoculating microorganisms in chicken manure composting with maize straw, *Bioresour Technol.*, 2020, Vol. 301, pp. 122730, DOI: [10.1016/j.biortech.2019.122730](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122730).
80. Wang Y., Gong J., Li J., Xin Y., Hao Z., Chen C., Li H., Wang B., Ding M., Li W., Zhang Z., Xu P., Xu T., Ding G.C., Li J., Insights into bacterial diversity in compost: Core microbiome and prevalence of potential pathogenic bacteria, *Sci. Total Environ.*, 2020, Vol. 718, pp. 137304, DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.137304](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137304).
81. Wang D., Lin J.Y., Sayre J.M., Schmidt R., Fonte S.J., Rodrigues J.L.M., Scow K.M., Compost amendment maintains soil structure and carbon storage by increasing available carbon and microbial biomass in agricultural soil – A six-year field study, *Geoderma*, 2022, Vol. 427, pp. 116117, DOI: [10.1016/j.geoderma.2022.116117](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116117).
82. Wei L.L., Chen S., Cui J., Ping H., Yuan C., Chen Q., A meta-analysis of arable soil phosphorus pools response to manure application as influenced by manure types, soil properties, and climate, *J. Environ. Manage.*, 2022, Vol. 313, pp. 115006, DOI: [10.1016/j.jenvman.2022.115006](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115006).
83. Wichuk K.M., McCartney D., Compost stability and maturity evaluation – a literature review, *Journal of Environmental Engineering and Science*, 2013, Vol. 8 (5), pp. 601–620, DOI: [10.1139/L10-101](https://doi.org/10.1139/L10-101).

84. Wu Z., Zhang L., Lin H., Zhou S., Enhanced removal of antibiotic resistance genes during chicken manure composting after combined inoculation of *Bacillus subtilis* with biochar, *Journal of Environmental Sciences*, 2022, Vol. 135, pp. 274–284, DOI: [10.1016/j.jes.2022.12.002](https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.12.002).
85. Yang Q., Zhang H., Guo Y., Tian T., Influence of chicken manure fertilization on antibiotic-resistant bacteria in soil and the endophytic bacteria of pakchoi, *International journal of environmental research and public health*, Vol. 13 (7), pp. 662, DOI: [10.3390/ijerph13070662](https://doi.org/10.3390/ijerph13070662).
86. Yang S., Wu H., Wang Z., Semenov M.V., Ye J., Yin L., Wang X., Kravchenko I., Semenov V., Kuzyakov Y., Jiang Y., Li H., Linkages between the temperature sensitivity of soil respiration and microbial life strategy are dependent on sampling season, *Soil Biology and Biochemistry*, 2022, Vol. 172, pp. 108758.
87. Zainudin M.H.M., Zulkarnain A., Azmi A.S., Muniandy S., Sakai K., Shirai Y., Hassan M.A., Enhancement of agro-industrial waste composting process via the microbial inoculation: a brief review, *Agronomy*, 2022, Vol. 12 (1), pp. 198, DOI: [10.3390/agronomy12010198](https://doi.org/10.3390/agronomy12010198).
88. Zhang D., Cheng H., Hao B., Li Q., Wu J., Zhang Y., Cao A., Fresh chicken manure fumigation reduces the inhibition time of chloropicrin on soil bacteria and fungi and increases beneficial microorganisms, *Environmental Pollution*, 2021, Vol. 286, pp. 117460, DOI: [10.1016/j.envpol.2021.117460](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117460).
89. Zhao X., Wang J., Zhu L., Ge W., Wang J., Environmental analysis of typical antibiotic-resistant bacteria and ARGs in farmland soil chronically fertilized with chicken manure, *Science of the Total Environment*, 2017, Vol. 593, pp. 10–17, DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.03.062](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.062).
90. Zhou Y., Xiao R., Klammsteiner T., Kong X., Yan B., Mihai F.C., Liua T., Zhanga Z., Kumar M., Awasthi M.K., Recent trends and advances in composting and vermicomposting technologies: A review, *Bioresource Technology*, 2022, pp. 127591, DOI: [10.1016/j.biortech.2022.127591](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127591).
91. Zhu L., Lian Y., Lin D., Huang D., Yao Y., Ju F., Wang M., Insights into microbial contamination in multi-type manure-amended soils: The profile of human bacterial pathogens, virulence factor genes and antibiotic resistance genes, *J. Hazard. Mater.*, 2022, Vol. 437, pp. 129356, DOI: [10.1016/j.jhazmat.2022.129356](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129356).