



Научная статья/Research Article

УДК 631.81.095.337

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-3-15

Владимир Владимирович Голембовский¹, Андрей Анатольевич Коровин^{2✉},Наталья Владимировна Сергеева³^{1,2,3}Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Ставропольский край, Россия¹vvh26@yandex.ru²abv20korovin@yandex.ru³sergeeva.rok@yandex.ru

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ БИОТЕХНОЛОГИИ КОНВЕРСИИ ОРГАНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ВЕРМИКУЛЬТУРОЙ

Цель исследования – изучение агрохимического состава отходов сельскохозяйственного производства и иловых осадков сточных вод коммунальных очистных сооружений, а также полученного на их основе вермикомпоста. Исследование проводилось в 2023 г. в ВНИИОК – филиале ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». При производстве вермикомпоста в течение 2 месяцев при влажности субстрата 60–80 % и температуре окружающей среды 18–25 °С использованы черви семейства Lumbricidae: *Dendrobaena Veneta* и *Eisenia fetida*, хорошо зарекомендовавшие себя в качестве производителей вермикомпоста и адаптированные к погоднo-климатическим условиям на большей части европейской территории России. В качестве субстрата для вермикомпостирования использовали сельскохозяйственные отходы: навоз бесподстилочный крупного (КРС) (I) и мелкого (МРС) рогатого скота (овец) (II), куриный помет (III), навоз подстилочный КРС (смесь навоза КРС – 60 мас.% и соломы озимой пшеницы – 40 мас.%) (IV), и иловые осадки сточных вод коммунальных очистных сооружений МУП «Водоканал» г. Ставрополя, выдержанные на открытых площадках около 1,5–3 лет (V). Агрохимические исследования были выполнены в условиях аттестованных лабораторий стандартными методами. Выявлено, что для вермикомпостирования пригодны все изученные виды отходов с высоким содержанием органического вещества. Содержание в вермикомпосте основных питательных веществ (азот, фосфор, калий) и минералов превышает таковое в исходном субстрате и может существенно различаться в зависимости от исходного сырья. Результаты исследования показали соответствие полученных видов вермикомпоста требованиям ГОСТ, предъявляемым к органическим и минеральным удобрениям, что дает возможность рекомендовать технологию вермикомпостирования не только в целях переработки отходов производства и жизнедеятельности, но и получать пригодные к использованию в растениеводстве комплексные органоминеральные удобрения.

Ключевые слова: навоз крупного рогатого скота, навоз мелкого рогатого скота, куриный помет, осадок сточных вод, вермикомпостирование, агрохимический состав вермикомпоста, дождевые черви

Для цитирования: Голембовский В.В., Коровин А.А., Сергеева Н.В. Перспективность внедрения биотехнологии конверсии органосодержащих отходов вермикulturой // Вестник КрасГАУ. 2025. № 4. С. 3–15. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-3-15.

Vladimir Vladimirovich Golembovsky¹, Andrey Anatolyevich Korovin^{2✉},
Natalia Vladimirovna Sergeeva³

^{1,2,3}North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, Mikhailovsk, Stavropol Region, Russia

¹vvh26@yandex.ru

²abv20korovin@yandex.ru

³sergeeva.rok@yandex.ru

PROSPECTS OF IMPLEMENTING BIOTECHNOLOGY FOR ORGANIC WASTE CONVERSION BY VERMICULTURE

The aim of the study is to investigate the agrochemical composition of agricultural waste and sludge from municipal wastewater treatment plants, as well as vermicompost obtained on their basis. The studies were conducted in 2023 at VNIIOK – a branch of the North Caucasus Federal Scientific Center. In the production of vermicompost for 2 months at a substrate moisture content of 60–80 % and an ambient temperature of 18–25 °C, worms of the Lumbricidae family were used: Dendrobaena Veneta and Eisenia fetida, which have proven themselves well as vermicompost producers and are adapted to the weather and climatic conditions in most of the European territory of Russia. The following agricultural wastes were used as a substrate for vermicomposting: litterless manure of cattle (I) and small cattle (sheep) (II), chicken manure (III), littered manure of cattle (a mixture of cattle manure – 60 wt.% and winter wheat straw – 40 wt.%) (IV), and sludge sediments of wastewater from municipal treatment facilities of the MUP Vodokanal of Stavropol, aged in open areas for about 1.5–3 years (V). Agrochemical studies were carried out in certified laboratories using standard methods. It was found that all studied types of waste with a high content of organic matter are suitable for vermicomposting. The content of basic nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium) and minerals in vermicompost exceeds that in the original substrate and can vary significantly depending on the original raw material. The results of the study showed that the obtained types of vermicompost comply with the GOST requirements for organic and mineral fertilizers, which makes it possible to recommend vermicomposting technology not only for the purpose of processing production and life waste, but also to obtain complex organomineral fertilizers suitable for use in plant growing.

Keywords: cattle manure, small cattle manure, chicken manure, sewage sludge, vermicomposting, agrochemical composition of vermicompost, earthworms

For citation: Golembovskii VV, Korovin AA, Sergeeva NV. Prospects of implementing biotechnology for organic waste conversion by vermiculture. *Bulletin of KSAU*. 2025;(4):3-15. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-3-15.

Введение. Кумулятивный эффект недостаточно изученных в плане глобальных последствий климатических, геополитических, научно-технических процессов и резко возросшего негативного антропогенного влияния на окружающую среду настойчиво требует смены экономической, экологической и продовольственной парадигм дальнейшего развития цивилизации [1, 2].

Широкое использование экологически небезопасных технологий способствовало загрязнению почвы, угнетению ее естественных восстановительных функций и, как следствие, снижению плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур. Пытаясь сгладить негативный эффект, аграрии стали вносить все большее количество удобрений и агрохимика-

тов. Однако это только способствовало ускорению деградации почв за счет гибели почвенной биоты и дисбаланса органических компонентов, макро- и микроэлементов [3–5].

В последнее десятилетие сельское хозяйство уверенно вошло в пул опасных экологических производств. Рост поголовья сельскохозяйственных животных и птицы в хозяйствах всех форм собственности сопровождается образованием и накоплением значительного количества оказывающих негативное воздействие на состояние окружающей среды и здоровье населения токсичных отходов. При этом только на территории России ежегодно образуется около 372 млн т навоза крупного рогатого скота, 45 млн т навоза свиней, с которыми в окружающую среду попа-

дает порядка 43 млн т органических веществ; 1 млн т связанного азота; 970 тыс. т P_2O_5 , 1,5 млн т K_2O , а также широкий спектр других химических элементов, входящих в состав кормов и витаминно-минеральных премиксов [6].

Утилизация побочных продуктов животноводства с получением удобрений на основе механических, физических и химических методов показала недостаточную экономическую эффективность.

Способы утилизации органосодержащих отходов, основанные на применении биотехнологий, продемонстрировали хорошие результаты в условиях экспериментов и показали свою перспективность, но до настоящего времени не нашли широкого применения в сельхозпроизводстве, так как для этого требуется пересмотреть и внести существенные изменения в сложившиеся технологические процессы [7, 8].

В настоящее время сельхозтоваропроизводители вынужденно возвращаются к использованию в качестве удобрений различных видов органоминеральных веществ природного (торф, донные отложения), производственного (навоз, помет, отходы лесной, деревообрабатывающей и пищевой промышленности) и жилищно-коммунального происхождения (иловые осадки сточных вод, пищевые отходы и т. д.), прошедших естественное и технологически поддерживаемое компостирование для восполнения почвенного гумуса, который является для сельскохозяйственных растений кладовой всего спектра питательных веществ и микроэлементов, ареалом жизнедеятельности почвенной биоты, в то же время выполняя функции сорбента пестицидов и тяжелых металлов [9–12].

Однако естественное компостирование имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, на его осуществление требуется достаточно длительный промежуток времени, в течение которого содержание полезных органических и минеральных веществ существенно снижается. Во-вторых, потребность внесения компоста в почву может достигать десятков тонн на гектар, что с учетом логистических затрат для многих сельхозпроизводителей является экономически нецелесообразным.

Вермикомпостирование – известная природная технология переработки отходов, которая позволяет в сжатые сроки получить экологически чистое сбалансированное органоминеральное удобрение.

Учитывая, что побочные продукты животноводства и осадки сточных вод очистных комму-

нальных сооружений содержат целый комплекс органоминеральных веществ и являются постоянными спутниками технологических процессов и жизнедеятельности человека и животных, данные виды отходов могут выступать ценнейшим сырьем для выработки удобрений.

При этом вермитехнологии являются технологически простыми и малозатратными, что позволяют их использовать для утилизации органических отходов и выработки органоминеральных удобрений на предприятиях любой мощности [13, 14]. Широкое внедрение вермитехнологий в нынешней сложной экономической обстановке позволяет достаточно быстро не только избавиться от токсичных отходов, но и восстановить плодородие почв [15, 16]. Использование переработанных отходов, которые на сегодняшний день выбрасываются или используются неэффективно, позволит предприятиям приступить к экологизации производства и повысить конкурентоспособность за счет экономии средств на закупку удобрений.

В состав вырабатываемого из отходов животного и растительного происхождения вермикомпоста входят все необходимые для здорового роста растений органические и минеральные компоненты. Кроме того, дождевые черви вместе с копролитами насыщают почву биологически активными веществами, что способствует возрождению, поддержанию и оптимизации жизнедеятельности видового состава почвенной биоты.

Основными факторами при прогнозировании повышения урожайности сельскохозяйственных культур принято считать комплекс агрохимических свойств почв, включающий потребность в органических и минеральных веществах, необходимых для восполнения потенциала плодородия, и специфические биохимические особенности сельскохозяйственных культур растений [17, 18].

Поддержание оптимальных показателей содержания в почве микроэлементов и органических кислот является одной из основных проблем растениеводства и почвоведения, в то время как восстановление содержания азота, фосфора и калия путем внесения удобрений не представляет сложностей. Ведь именно микроэлементы отвечают за регулирование биохимических процессов, ответственных за рост и развитие растения, его устойчивость к заболеваниям и неблагоприятным факторам окружающей среды, что в конечном этапе определяет урожайность и товарные свойства продукции. Однако производителями удобрений в настоящее время

уделяется недостаточное внимание сбалансированному составу микроэлементов в предлагаемой на рынок продукции, а высокая стоимость современных комплексных органоминеральных удобрений делает их малодоступными для средних и мелких сельхозпроизводителей, что только усугубляет ситуацию.

Цель исследования – изучение агрохимического состава отходов сельскохозяйственного производства и иловых осадков сточных вод коммунальных очистных сооружений, а также полученного на их основе вермикомпоста.

Объекты и методы. Исследования по обозначенной теме проходили в 2023 г. в ВНИИОК – филиале ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». При производстве вермикомпоста использованы черви семейства Lumbricidae: *Dendrobaena Veneta* и *Eisenia fetida*, хорошо зарекомендовавшие себя в качестве производителя вермикомпоста и адаптированные к погоднo-климатическим условиям на большей части европейской территории России. В качестве субстрата для вермикомпостирования использовали сельскохозяйственные отходы: навоз бесподстилочный крупного (КРС) (I) и мелкого (МРС) рогатого скота (овец) (II), куриный помет (III), навоз подстилочный КРС (смесь навоза КРС – 60 мас.% и соломы озимой пшеницы – 40 мас.%) (IV) и иловые осадки сточных вод коммунальных очистных сооружений МУП «Водоканал» г. Ставрополя, выдержанные на открытых площадках около 1,5–3 лет (V) (далее соответственно: I, II, III, IV, V).

Для производства вермикомпоста использовали хорошо зарекомендовавшие себя в практике производства вермикомпоста в непромышленных объемах 2 вида вермиреакторов: вертикальный, состоящий из пластиковой тары, и двухъярусный стеллажный. Плотность заселения компостной массы дождевыми червями производилась из расчета 3,0 тыс. особей на 1 м².

Вермикомпостирование проводилось при температуре окружающей среды в пределах 18–25 °С и влажности субстрата – от 60 до 80 % в течение 2 месяцев при высоте субстрата не более 35 см, что исключало потребность в аэрации путем ворошения и способствовало наиболее быстрому процессу вермикомпостирования.

Очистка готового вермикомпоста от червей, непереваренных остатков субстрата и технологического мусора осуществлялась путем кавитации на вибростоле и барабанном сепараторе.

Забор проб вермикомпоста осуществлялся однократно спустя 2 месяца от начала экспери-

мента по результатам полного вермикомпостирования субстрата и покидания его червями.

Отбор показателей при агрохимических исследованиях производился с учетом их включения в технические требования ГОСТ Р 56004-2014.

Агрохимические анализы вермикомпоста, выработанного из побочных продуктов животноводства, были выполнены в условиях аттестованных лабораторий ФГБУ «Государственный центр агрохимической службы «Ставропольский» согласно требованиям, отраженным в ГОСТ Р 56004-2014, ГОСТ 27980-88, ГОСТ 26717-85, М-МВИ-80-2008, ГОСТ 27979-88, «Методических указаниях по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства» (ЦИНАО. М., 1992) и «Методических указаниях по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом». (МСХ., ЦИНАО. М., 1993).

Исследования вермикомпоста, полученного в результате переработки иловых осадков, были выполнены в условиях специализированной лаборатории МУП «Водоканал» г. Ставрополя согласно требованиям, отраженным в ГОСТ 26213-91, ГОСТ Р 58596-2019, ГОСТ 26261-84 и ПНДФ 16.1:2.2.2:2.3.63-09.

В качестве объектов исследования, характеризующих состояние иловых осадков, были выбраны показатели, утвержденные природоохранными нормативными документами федерального уровня и рекомендованные к использованию в условиях лабораторий предприятий жилищно-коммунального комплекса в целях государственного экологического контроля.

В качестве агрохимических характеристик полученного вермикомпоста исследовали наиболее значимые для растениеводства показатели, которые бы позволили характеризовать полученный продукт как комплексное органоминеральное удобрение: азот общий (%), фосфор (валовое содержание) (%), калий общий (%), кальций (%), магний (%), марганец (мг/кг), медь (мг/кг), цинк (мг/кг), из токсичных элементов: кадмий (мг/кг), мышьяк (мг/кг) и свинец (мг/кг).

Полученные результаты содержания микроэлементов в вермикомпосте соотносили с такими, отнесенными ГОСТ к «примесям загрязняющих веществ (мышьяк, свинец, медь, цинк) с целью соответствия удобрениям с улучшенными экологическими характеристиками, а также сравнивали с требованиями к химическому составу органических (ГОСТ Р 56004-2014, ГОСТ

Р 53117- 2008) и минеральных удобрений (ГОСТ Р 51520-99).

Результаты и их обсуждение. Используемые в качестве субстрата для вермикомпостирования побочные продукты животноводства: навоз бесподстилочный крупного и мелкого рогатого скота, куриный помет, навоз подстилочный КРС и иловые осадки сточных вод коммунальных очистных сооружений – оказались пригодными в качестве сырья для производства вермикомпоста. Черви продемонстрировали быструю адаптированность к субстрату в виде

зарываемости без последующего выхода на поверхность, хорошую приживаемость и плодovitость, высокую производительность и низкую летальность.

Предусмотренные для проведения эксперимента температурный режим (18–25 °С) и влажность субстрата (от 60 до 80 %) оказались оптимальными для жизнедеятельности и продуктивности червей.

Результаты агрохимических исследований показали взаимозависимость содержания макроэлементов в субстрате и вермикомпосте (рис. 1).

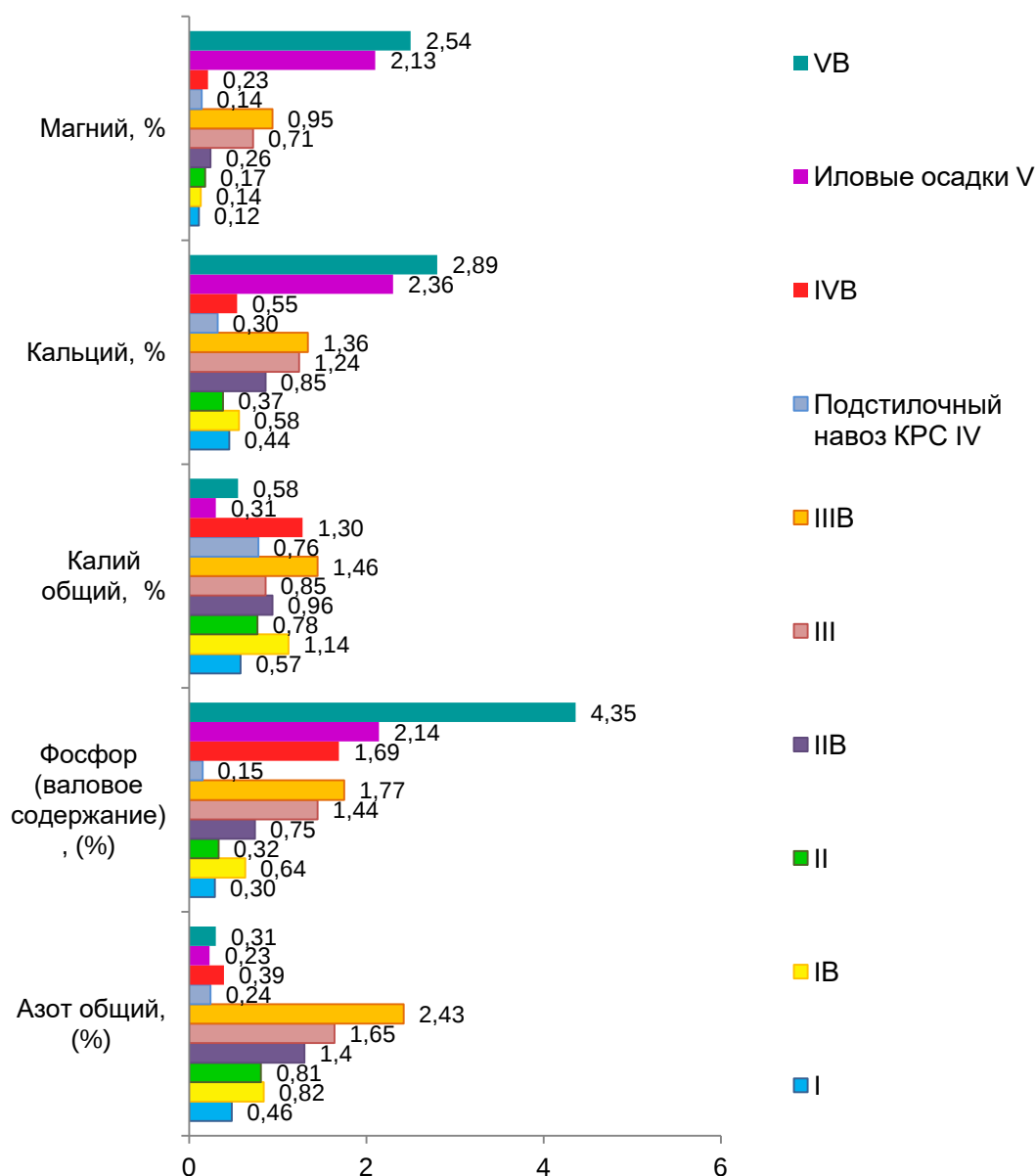


Рис. 1. Содержание макроэлементов в субстрате (I, II, III, IV, V) и вермикомпосте (IB, IIB, IIIB, IVB, VB)

Content of macroelements in the substrate (I, II, III, IV, V) and vermicompost (IB, IIB, IIIB, IVB, VB)

По результатам исследования образцов сырья содержание азота общего в иловых осадках сточных вод составило $0,23 \pm 0,05$ %, что оказалось в 1,04 раза ниже показателя в навозе подстилочном КРС ($0,24 \pm 0,05$ %) – минимального значения показателя среди побочных продуктов животноводства, в сравнении с которым его содержание азота в навозе бесподстилочном КРС было выше в 2,0 раза ($0,48 \pm 0,02$ %), навозе бесподстилочном мелкого рогатого скота – в 3,38 раза ($0,81 \pm 0,11$ %), в курином помете – в 6,83 раза ($1,64 \pm 0,15$ %).

Для показателя «фосфор (валовое содержание)» были характерны следующие характеристики. Максимальное содержание фосфора было выявлено в иловых осадках сточных вод – $2,14 \pm 0,52$ %. Минимальное содержание фосфора выявлено в навозе подстилочном КРС ($0,15 \pm 0,01$ %), в сравнении с которым содержание фосфора в навозе бесподстилочном КРС ($0,29 \pm 0,05$ %) было больше в 1,93 раза, в навозе бесподстилочном мелкого рогатого скота – выше в 2,2 раза ($0,33 \pm 0,09$ %), курином помете – в 9,67 раза ($1,45 \pm 0,04$ %). Высокое содержание фосфора в иловых осадках объясняется попаданием в сточные воды большого количества фосфорсодержащих продуктов бытовой химии, особенно моющих средств.

В исследованных образцах субстрата для вермикомпостирования минимальное содержание калия общего было выявлено в иловых осадках сточных вод ($0,31 \pm 0,05$ %), что оказалось в 1,84 раза ниже минимального показателя среди побочных продуктов животноводства – в навозе бесподстилочном КРС ($0,57 \pm 0,12$ %). Содержания калия общего в навозе подстилочном КРС превысило минимальный показатель в 1,31 раза ($0,76 \pm 0,08$ %), навозе бесподстилочном мелкого рогатого скота – в 1,37 раза ($0,78 \pm 0,11$ %), курином помете – в 1,49 раза ($0,85 \pm 0,12$ %), что было максимальным среди отходов животноводства.

По результатам агрохимического исследования образцов сырья максимальное содержание кальция было выявлено в иловых осадках сточных вод – $2,36 \pm 0,85$ %. Среди показателей содержания кальция в отходах животноводства минимальное его значение выявлено в навозе подстилочном КРС – $0,30 \pm 0,05$ %. Содержание кальция в навозе бесподстилочном мелкого рогатого скота превысило минимальный показатель в 1,23 раза ($0,37 \pm 0,05$ %), навозе беспод-

стилочном КРС – в 1,47 раза ($0,44 \pm 0,11$ %), курином помете – в 4,13 раза ($1,24 \pm 0,41$ %).

Содержание магния было максимальным в иловых осадках сточных вод – $2,13 \pm 0,34$ %. В навозе бесподстилочном КРС показатель содержания магния был минимальным и составил $0,12 \pm 0,05$ %. Содержание магния в навозе подстилочном КРС превысило минимальный показатель в 1,17 раза ($0,14 \pm 0,05$ %), навозе бесподстилочном мелкого рогатого скота – в 1,42 раза ($0,17 \pm 0,03$ %) и в курином помете – в 5,92 раза ($0,71 \pm 0,06$ %).

По результатам агрохимического исследования минимальное содержание азота общего было выявлено в образцах вермикомпоста, полученного из иловых осадков сточных вод, – $0,31 \pm 0,04$ %, за которым следовал вермикомпост, выработанный из подстилочного навоза КРС, – $0,24 \pm 0,06$ %. Показатели содержания азота общего в остальных образцах вермикомпоста, полученных из отходов животноводства, были распределены в следующей последовательности: навоз бесподстилочный КРС – $0,84 \pm 0,12$ %, навоз бесподстилочный мелкого рогатого скота – $1,39 \pm 0,45$ % и куриный помет – $2,42 \pm 0,73$ %.

Для показателя «фосфор (валовое содержание)» были характерны следующие характеристики. Максимальное содержание фосфора было выявлено в образцах вермикомпоста, полученных из иловых осадков сточных вод, – $4,35 \pm 1,15$ %. Показатели содержания фосфора в образцах вермикомпоста, полученных из отходов животноводства, были следующими. Минимум содержания фосфора пришелся на навоз бесподстилочный КРС – $0,63 \pm 0,03$ %. Показатель содержания фосфора в навозе бесподстилочном мелкого рогатого скота был выше в 1,17 раза ($0,74 \pm 0,05$ %), навозе подстилочном КРС – в 2,68 раза ($1,69 \pm 0,05$ %), курином помете – в 2,81 раза ($1,77 \pm 0,24$ %).

Содержание калия общего было минимальным в образцах вермикомпоста, полученных из иловых осадков сточных вод ($0,58 \pm 0,06$ %). В образцах вермикомпоста, выработанного из отходов животноводства, показатель минимума содержания калия общего был зафиксирован в навозе бесподстилочном мелкого рогатого скота – $0,96 \pm 0,21$ %, который в свою очередь превысил показатели в навозе бесподстилочном КРС в 1,19 раза ($1,14 \pm 0,18$ %), навозе подсти-

лочном КРС – в 1,35 раза ($1,30 \pm 0,25$ %), курином помете – в 1,52 раза ($1,46 \pm 0,34$ %).

По результатам исследования образцов вермикомпоста максимальное содержание кальция было выявлено в образцах, полученных из иловых осадков сточных вод, – $2,89 \pm 0,38$ %. Минимальное значение показателя содержания кальция общего было выявлено в образцах вермикомпоста, полученных из навоза подстилочного КРС ($0,55 \pm 0,11$ %), которое превышало показатели содержания кальция в навозе бесподстилочном КРС в 1,06 раза ($0,58 \pm 0,08$ %), навозе бесподстилочном мелкого рогатого скота – в 1,55 раза ($0,85 \pm 0,13$ %), курином помете – в 2,47 раза ($1,36 \pm 0,31$ %).

Максимальное содержание магния было выявлено в образцах вермикомпоста, полученных из иловых осадков сточных вод, – $2,54 \pm 0,94$ %. Показатели содержания магния в образцах вермикомпоста, полученных из навоза бесподстилочного КРС, оказались минимальными и составили $0,14 \pm 0,05$ %. Содержание магния в вермикомпосте из навоза подстилочного КРС превышало минимальный показатель в 1,64 раза ($0,23 \pm 0,08$ %), навоза бесподстилочного мелкого рогатого скота – в 1,86 раза ($0,26 \pm 0,05$ %), куриного помета – в 6,79 раза ($0,95 \pm 0,05$ %).

Исследования показали, что содержание марганца в вермикомпосте, полученном в результате переработки сельскохозяйственных отходов, было кратно меньше, а меди и цинка – больше, чем в вермикомпосте, полученном из иловых отложений (рис. 2).

Для показателя «марганец» были выявлены следующие характеристики. Минимальное содержание марганца было в иловых осадках сточных вод ($3,61 \pm 0,08$ мг/кг). Минимальное значение показателя содержания марганца в отходах животноводства было свойственно навозу бесподстилочному мелкого рогатого скота ($12,06 \pm 2,41$ мг/кг). Значения показателей содержания марганца в навозе бесподстилочном КРС ($20,32 \pm 1,83$ мг/кг), навозе подстилочном КРС ($24,84 \pm 2,15$ мг/кг) и курином помете ($31,15 \pm 2,64$ мг/кг) превышали минимальный соответственно в 1,68; 2,06 и 2,58 раза.

Максимальное содержание меди было выявлено в иловых осадках сточных вод ($64,21 \pm 3,28$ мг/кг). Среди отходов животноводства минимальные значения показателя содержания

меди были свойственны навозу подстилочному КРС ($3,64 \pm 1,25$ мг/кг). Показатели меди в навозе бесподстилочном мелкого рогатого скота ($8,36 \pm 2,21$ мг/кг) превысили минимальные значения в 2,3 раза, курином помете ($9,38 \pm 2,46$ мг/кг) – в 2,58 раза, навозе бесподстилочном КРС ($12,26 \pm 2,95$ мг/кг) – в 3,37 раза.

Для показателя «цинк» были выявлены следующие характеристики. Максимальное содержание цинка было в иловых осадках сточных вод – $66,3 \pm 3,15$ мг/кг. Показатели содержания цинка в отходах животноводства были распределены следующим образом. Минимальное значение показателя было свойственно для навоза бесподстилочного мелкого рогатого скота ($6,26 \pm 2,84$ мг/кг). Количественные значения цинка в курином помете ($8,96 \pm 1,85$ мг/кг) превышали минимальные значения в 1,43 раза, навозе бесподстилочном КРС ($10,15 \pm 3,21$ мг/кг) – в 1,62 раза, навозе подстилочном КРС ($11,58 \pm 3,25$ мг/кг) – в 1,85 раза.

По результатам агрохимического исследования минимальное содержание марганца было выявлено в образцах вермикомпоста, полученных из иловых осадков сточных вод ($5,44 \pm 0,15$ мг/кг). Показатели содержания марганца в образцах вермикомпоста, полученного из отходов животноводства, были следующими. Минимальное содержание было в вермикомпосте из навоза бесподстилочного мелкого рогатого скота ($14,48 \pm 1,13$ мг/кг). Показатели марганца в вермикомпосте из навоза бесподстилочного КРС ($26,11 \pm 1,85$ мг/кг) превышали минимальные показатели в 1,8 раза, навоза подстилочного КРС ($37,89 \pm 2,24$ мг/кг) – в 2,62 раза, куриного помета ($39,25 \pm 2,65$ мг/кг) – в 2,71 раза.

Максимальное содержание меди было выявлено в образцах вермикомпоста, полученных из иловых осадков сточных вод, – $47,46 \pm 2,96$ мг/кг. Минимальные значения показателя содержания меди были свойственны образцам вермикомпоста, полученным из навоза подстилочного КРС ($11,46 \pm 2,44$ мг/кг). Содержание меди в вермикомпосте из навоза бесподстилочного мелкого рогатого скота ($12,23 \pm 3,11$ мг/кг) в 1,07 раза превышало минимальные значения показателя, из куриного помета ($15,55 \pm 1,96$ мг/кг) – в 1,36 раза, навоза бесподстилочного КРС ($21,42 \pm 3,22$ мг/кг) – в 1,48 раза.

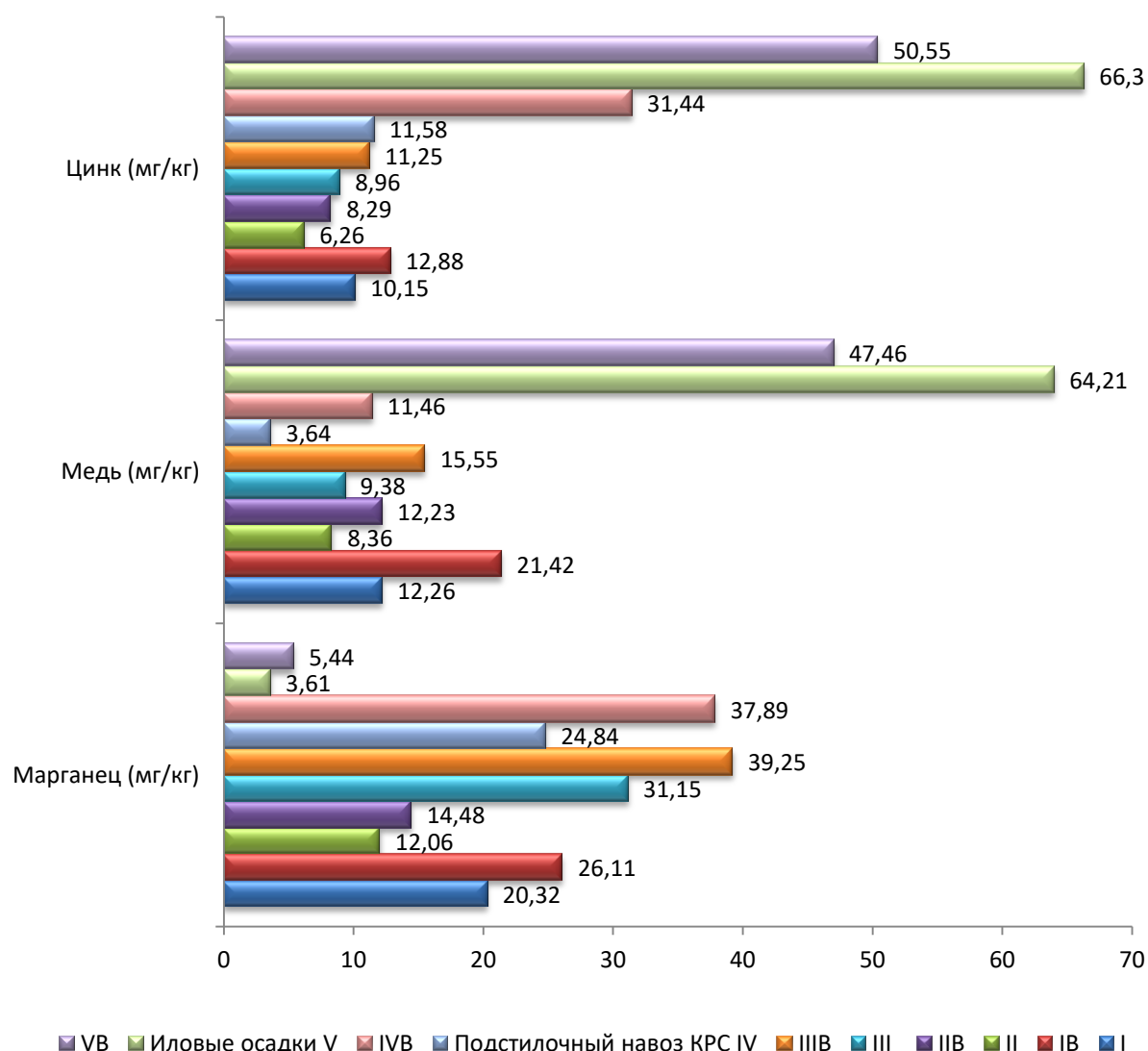


Рис. 2. Содержание микроэлементов в субстрате (I, II, III, IV, V) и полученном из него вермикомпосте (IB, IIB, IIIB, IVB, VB)

The content of trace elements in the substrate (I, II, III, IV, V) and the vermicompost obtained from it (IV, III, III, IV, V)

По результатам агрохимического исследования образцов вермикомпоста максимальное содержание цинка было выявлено в образцах, полученных из иловых осадков сточных вод ($50,55 \pm 3,41$ мг/кг). Показатели содержания цинка в образцах вермикомпоста, полученных из отходов животноводства, были следующими. Минимальные значения выявлены в образцах из навоза бесподстильного мелкого рогатого скота ($8,29 \pm 2,15$ мг/кг). Значение показателя

цинка в образцах из куриного помета ($11,25 \pm 2,76$ мг/кг) в 1,36 раза, навоза бесподстильного КРС ($12,88 \pm 3,19$ мг/кг) – в 1,55 раза, навоза подстильного КРС ($31,44 \pm 2,85$ мг/кг) – в 3,79 раза превышали минимальные значения.

Содержание кадмия, мышьяка и свинца в выработанном вермикомпосте было ниже, чем в исходном субстрате (рис. 3).

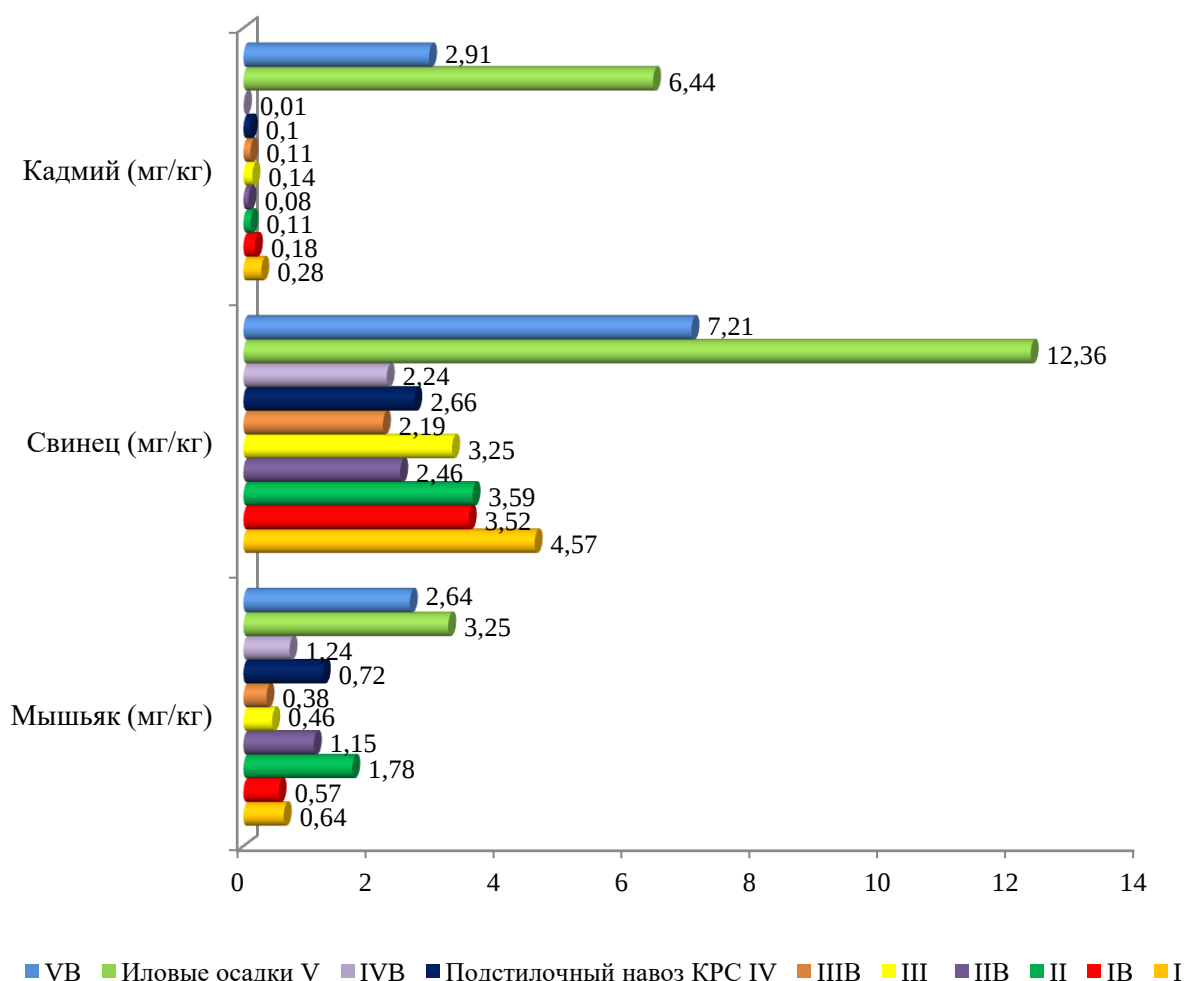


Рис. 3. Содержание тяжелых металлов в субстрате (I, II, III, IV, V) и полученном из него вермикомпосте (IB, IIB, IIIB, IVB, VB)

Content of heavy metals in the substrate (I, II, III, IV, V) and vermicompost obtained from it (IB, IIB, IIIB, IVB, VB)

Для показателя «мышьяк» были выявлены следующие характеристики. Максимальное содержание мышьяка было в иловых осадках сточных вод ($3,25 \pm 0,74$ мг/кг). Показатели содержания мышьяка в отходах животноводства были следующими. Минимальное содержание было выявлено в курином помете ($0,46 \pm 0,12$ мг/кг), в сравнении с которым показатель содержания в навозе бесподстилочном КРС ($0,64 \pm 0,11$ мг/кг) был в 1,39 раза, навозе подстилочном КРС ($0,72 \pm 0,08$ мг/кг) – 1,57 раза, навозе бесподстилочном мелкого рогатого скота ($1,78 \pm 0,18$ мг/кг) – в 3,87 раза выше.

Максимальное содержание свинца было выявлено в иловых осадках сточных вод ($12,36 \pm 2,85$ мг/кг). Минимальное содержание

свинца в навозе подстилочном КРС составило $2,66 \pm 0,56$ мг/кг. Его содержание в курином помете ($3,25 \pm 1,12$ мг/кг) превысило минимальные значения в 1,22 раза, навозе бесподстилочном мелкого рогатого скота ($3,59 \pm 0,64$ мг/кг) – в 1,35 раза, навозе бесподстилочном КРС ($4,57 \pm 1,33$ мг/кг) – в 1,72 раза.

Максимальное содержание кадмия было выявлено в иловых осадках сточных вод – $6,44 \pm 1,86$ мг/кг. Минимальное содержание кадмия в побочных продуктах животноводства было выявлено в навозе подстилочном КРС ($0,10 \pm 0,03$ мг/кг). Содержание кадмия в навозе бесподстилочном мелкого рогатого скота ($0,11 \pm 0,05$ мг/кг) превышало минимальные показатели в 1,1 раза, в курином помете ($0,14 \pm 0,01$ мг/кг) –

в 1,4 раза, в навозе бесподстилочном КРС ($0,28 \pm 0,05$ мг/кг) – в 2,8 раза,

По результатам агрохимического исследования максимальное содержание мышьяка было выявлено в образцах вермикомпоста, полученных из иловых осадков сточных вод ($2,64 \pm 0,86$ мг/кг). Минимальные показатели содержания мышьяка были обнаружены в образцах вермикомпоста, полученных из куриного помета ($0,38 \pm 0,05$ мг/кг). Показатели содержания мышьяка в вермикомпосте, выработанном из навоза бесподстилочного КРС ($0,57 \pm 0,03$ мг/кг), превышали минимальные значения в 1,5 раза, из навоза бесподстилочного мелкого рогатого скота ($1,15 \pm 0,05$ мг/кг) – в 3,03 раза, из навоза подстилочного КРС ($1,24 \pm 0,85$ мг/кг) – в 3,26 раза.

Максимальное содержание свинца было выявлено в образцах вермикомпоста, полученных из иловых осадков сточных вод, – $7,21 \pm 1,95$ мг/кг. Показатели содержания свинца в образцах вермикомпоста, полученных из отходов животноводства, были распределены в следующей последовательности. Минимальные значения содержания определялись в образцах вермикомпоста, выработанных из куриного помета, – $2,19 \pm$

$0,34$ мг/кг. Показатели компоста, полученного из навоза подстилочного КРС ($2,24 \pm 0,65$ мг/кг), превышали минимальные в 1,02 раза, навоз бесподстилочный мелкого рогатого скота ($2,46 \pm 0,35$ мг/кг) – в 1,12 раза, навоза бесподстилочный КРС ($3,52 \pm 0,85$ мг/кг) – в 1,61 раза.

Агрохимические исследования установили, что максимальное содержание кадмия было выявлено в образцах вермикомпоста, полученных из иловых осадков сточных вод, – $2,91 \pm 0,55$ мг/кг. Показатели содержания кадмия в образцах вермикомпоста, полученных из навоза подстилочного КРС ($0,01 \pm 0,005$ мг/кг), были минимальными. Содержание кадмия в вермикомпосте, выработанном из навоза бесподстилочного мелкого рогатого скота ($0,08 \pm 0,005$ мг/кг), превышало минимальные показатели в 8 раз, из куриного помета ($0,11 \pm 0,006$ мг/кг) – в 11 раз, из навоза бесподстилочного КРС ($0,18 \pm 0,01$ мг/кг) – в 18 раз.

Анализируя агрохимический состав используемых субстратов и выработанных на их основе образцов биогумуса, получили следующие результаты (табл.).

**Агрохимический состав субстрата (I, II, III, IV, V)
и выработанного из него вермикомпоста (IB, IIB, IIIB, IVB, VB)
Agrochemical composition of the substrate (I, II, III, IV, V)
and vermicompost produced from it (IB, IIB, IIIB, IVB, VB)**

Показатель	Ед. изм.	Агрохимический состав									
		I	IB	II	IIB	III	IIIB	IV	IVB	V	VB
Азот общий	%	0,48	0,84	0,81	1,39	1,64	2,42	0,24	0,39	0,23	0,31
Фосфор (валовое содержание)	%	0,29	0,63	0,33	0,74	1,45	1,77	0,15	1,69	2,14	4,35
Калий общий	%	0,57	1,14	0,78	0,96	0,85	1,46	0,76	1,30	0,31	0,58
Кальций	%	0,44	0,58	0,37	0,85	1,24	1,36	0,30	0,55	2,36	2,89
Магний	%	0,12	0,14	0,17	0,26	0,71	0,95	0,14	0,23	2,13	2,54
Марганец	мг/кг	20,32	26,11	12,06	14,48	31,15	39,25	24,84	37,89	3,61	5,44
Медь	мг/кг	12,26	21,42	8,36	12,23	9,38	15,55	3,64	11,46	64,21	47,46
Цинк	мг/кг	10,15	12,88	6,26	8,29	8,96	11,25	11,58	31,44	66,3	50,55
Мышьяк	мг/кг	0,64	0,57	1,78	1,15	0,46	0,38	0,72	1,24	3,2	2,64
Свинец	мг/кг	4,57	3,52	3,59	2,46	3,25	2,19	2,66	2,24	12,36	7,21
Кадмий	мг/кг	0,28	0,18	0,11	0,08	0,14	0,11	0,10	0,01	6,44	2,91

Таким образом, содержание микроэлементов во всех образцах вермикомпостов соответствовало требованиям ГОСТа к органическим и минеральным удобрениям.

Статистически достоверных различий агрохимического состава образцов вермикомпоста,

выработанного используемыми в эксперименте видами червей, установлено не было. Однако использованные виды сырья оказывали влияние на химический состав полученного вермикомпоста.

Полученные в ходе исследования результаты свидетельствуют, что физиологические особенности пищеварительной системы животных и характер используемых кормов влияют на агрохимический состав побочных продуктов животноводства и, как следствие, на агрохимический состав вермикомпоста.

Использование различных видов субстрата дает возможность вырабатывать вермикомпост с запланированными агрохимическими свойствами, ориентированными под определенные характеристики почв и биохимические особенности сельскохозяйственных культур.

Заключение. Проведенные исследования свидетельствуют, что при соблюдении режимов температуры и влажности черви семейства *Lumbricidae* способны активно перерабатывать токсичные отходы сельскохозяйственного производства и очистных сооружений в сбалансированное по макро- и микроэлементам комплексное органоминеральное удобрение – вермикомпост.

Исследования показали зависимость агрохимического состава полученного вермикомпоста от исходного сырья. Так, показатели содержания азота общего в вермикомпостах, выработанных из подстилочного навоза КРС и иловых осадков, оказались ниже таковых, полученных из бесподстилочного навоза КРС, МРС и куриного

помета. При этом содержание фосфора в вермикомпосте, полученном из отходов животноводства, было существенно ниже такового, полученного при переработке иловых осадков. Содержание кальция и магния в вермикомпосте из иловых осадков было максимальным в сравнении с таковыми, полученными из сельскохозяйственных отходов, в то время как по калию наблюдалась обратная картина. Содержание марганца в вермикомпосте, полученном в результате переработки сельскохозяйственных отходов, было кратно выше, а меди и цинка – ниже, чем в вермикомпосте, полученном из иловых отложений. Анализ содержания токсичных элементов показал, что во всех случаях содержание кадмия, мышьяка и свинца в вермикомпостах было ниже, чем в исходном субстрате, при этом их содержание в вермикомпосте, полученном из иловых осадков, было многократно выше, чем в вермикомпостах, полученных при переработке сельскохозяйственных отходов.

Использование, дальнейшее совершенствование и широкое внедрение предлагаемой биотехнологии будут способствовать развитию новой отрасли природоохранного земледелия и животноводства, располагающей возобновляемым потенциалом сырья и потребления, что послужит альтернативой ныне действующим парадигмам агропромышленных процессов.

Список источников

1. Сажин Ю.Б. О новой экономической парадигме и не только // Контроллинг. 2020. № 3 (77). С. 24–33. EDN: ISCQPW.
2. Губарев Д.И., Левицкая Н.Г., Деревягин С.С. Влияние изменений климата на деградацию почв в аридных зонах Поволжья // Аридные экосистемы. 2022. Т. 28, № 1 (90). С. 20–27. DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-20-27. EDN: ITNGVL.
3. Zucca C., Fleiner R., Bonaiuti E., et al. Land degradation drivers of anthropogenic sand and dust storms // Catena. 2022;219;106575. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106575. EDN: HTNNDL.
4. Черкасова О.В., Строков А.С., Цветнов Е.В., и др. Вопросы оценки продовольственной безопасности в Российской Федерации // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 2023. № 2. С. 117–128. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-2-117-127. EDN: JMCWCC.
5. Зеленская Т.Г., Коровин А.А., Безгина Ю.А., и др. Новые технологии в растениеводстве как условие экологической и продовольственной безопасности // Вестник АПК Ставрополя. 2022. № 1 (45). С. 32–36. EDN: FKKT XV.
6. Сырчина Н.В., Пилип Л.В., Ашихмина Т.Я. Химическая деградация земель под воздействием отходов животноводства // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 219–225. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-219-225. EDN: OIFOLE.
7. Корсунова Т.М. Биотехнология конверсии органических отходов вермикультурой и применение биогумуса // Вестник КрасГАУ. 2014. № 5 (92). С. 55–57. EDN: SEZCRX.
8. Сенкевич О.В., Ульянова О.А. Возможности биотехнологии на примере получения различных видов вермикомпоста и оценка их влияния на урожайность растений // Вестник КрасГАУ. 2014. № 2 (89). С. 60–65. EDN: RXMTVR.

9. Adams G.O., Fufeyin P.T., Okoro S.E., et al. Bioremediation, biostimulation, and bioaugmentation: a review // *Int J Environ Bioremediation Biodegrad.* 2015;3:28-39.
10. Межевова А.С., Новиков А.Е. Состав, структура и морфология осадка сточных вод // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование.* 2021. № 1 (61). С. 389–398. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-37. EDN: ALDDCW.
11. Ильинский А.В., Евсенкин К.Н., Нефедов А.В. Обоснование экологически безопасного использования осадков сточных вод канализационных очистных сооружений жилищно-коммунального хозяйства // *Агрохимический вестник.* 2020. № 1. С. 60–64. DOI: 10.24411/0235-2516-2020-10009. EDN: ZGSLKW.
12. Олива Т.В., Колесниченко Е.Ю., Панин С.И., и др. Экологические аспекты производства и применения вермикомпоста // *Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии.* 2022. № 4 (26). С. 41–46. EDN: GVVBJA.
13. Сенкевич О.В., Ульянова О.А. Изменение плодородия агросерой почвы под действием различных вермикомпостов // *Вестник КрасГАУ.* 2015. № 9 (108). С. 75–79. EDN: UJKGCH.
14. Иргит М.И., Ульянова О.А. Влияние биогумуса и азофоски на свойства агросерой почвы и урожайность кукурузы // *Вестник КрасГАУ.* 2016. № 1 (112). С. 3–9. EDN: VPMMXB.
15. Сенкевич О.В., Антонов Г.И., Ульянова О.А., и др. Сравнительная оценка биологической активности вермикомпостов на основе отходов производств // *Проблемы агрохимии и экологии.* 2019. № 4. С. 75–80. DOI: 10.26178/AE.2019.26.36.005. EDN: RXWIZO.
16. Бутенко М.С., Ульянова О.А., Халипский А.Н., и др. Действие возрастающих доз вермикомпоста на агрохимические свойства почвы, урожайность и качество клубней картофеля // *Агрохимия.* 2020. № 7. С. 47–56. DOI: 10.31857/S0002188120070042. EDN: RKEBCI.
17. Ульянова О.А., Демьяненко Т.Н., Коновалов Н.С., и др. Оценка гумусового состояния аллювиальной темногомусовой почвы при применении вермикомпоста // *Вестник КрасГАУ.* 2020. № 2 (155). С. 3–10. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-2-3-10. EDN: MRLIME.
18. Дорошенко Е.А., Попова Ю.С. Влияние замены минеральных удобрений навозом на влагоудерживающую способность почвы в полусасушливом регионе // *Тенденции развития науки и образования.* 2023. № 104-16. С. 164–166. DOI: 10.18411/trnio-12-2023-918. EDN: DBTYWY.

References

1. Sazhin YuB. About the new economic paradigm and more. *Kontrolling.* 2020;3:24-33. (In Russ.). EDN: ISCQPW.
2. Gubarev DI, Levitskaya NG, Derevyagin SS. Influence of climate change on soil degradation in arid zones of the Volga Region. *Arid Ecosystems.* 2022;28(1):20-27. (In Russ.). DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-20-27. EDN: ITNGVL.
3. Zucca C, Fleiner R, Bonaiuti E, et al. Land degradation drivers of anthropogenic sand and dust storms. *Catena.* 2022;219:106575. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106575. EDN: HTNNDL.
4. Cherkasova OV, Strokov AS, Tsvetnov EV, et al. Food security assessment issues in the Russian Federation. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 17: Pochvovedenie.* 2023;2:117-128. (In Russ.). DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-2-117-127. EDN: JMCWCC.
5. Zelenskaya TG, Korovin AA, Bezgina YuA, et al. New technologies in crop production as a condition for environmental and food security. *Vestnik APK Stavropol'ya.* 2022;1:32-36. (In Russ.). EDN: FKKT XV.
6. Syrchina NV, Pilip LV, Ashikhmina TYa. Chemical land degradation under the influence of animal husbandry waste. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya.* 2022;3:219-225. (In Russ.). DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-219-225. EDN: OIFOLE.
7. Korsunova TM. The biotechnology of converting organic waste by vermiculture and biohumus application. *Bulletin of KSAU.* 2014;5:55-57. (In Russ.). EDN: SEZCRX.
8. Senkevich OV, Ul'yanova OA. Biotechnology capacity on the example of obtaining vermicompost various types and the assessment of their influence on the plant productivity. *Bulletin of KSAU.* 2014;2:60-65. (In Russ.). EDN: RXMTVR.

9. Adams GO, Fufeyin PT, Okoro SE, et al. Bioremediation, biostimulation, and bioaugmentation: a review. *Int J Environ Bioremediation Biodegrad.* 2015;3:28-39.
10. Mezheva AS, Novikov AE. Composition, structure and morphology of sewage sludge. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie.* 2021;1:389-398. (In Russ.). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-37. EDN: ALDDCW.
11. Il'inskij AV, Evsenkin KN, Nefedov AV. Justification of environmentally safe use sewage sludge from sewage treatment plants housing and communal services. *Agrohimicheskij vestnik.* 2020;1:60-64. (In Russ.). DOI: 10.24411/0235-2516-2020-10009. EDN: ZGSLKW.
12. Oliva TV, Kolesnichenko EYu, Panin SI, et al. Environmental aspects of production and application vermicompost. *Aktual'nye voprosy sel'skokhozyaistvennoi biologii.* 2022;4:41-46. (In Russ.). EDN: GVVBJA.
13. Senkevich OV, Ul'yanova OA. The fertility change of the agrogray soil under the influence of different vermicomposts. *Bulletin of KSAU.* 2015;9:75-79. (In Russ.). EDN: UJKGCH.
14. Irgit MI, Ul'yanova OA. Vliyanie biogumusa i azofoski na svoistva agroseroi pochvy i urozhainost' kukuruzy. *Bulletin of KSAU.* 2016;1:3-9. (In Russ.). EDN: VPMMXB.
15. Senkevich OV, Antonov GI, Ul'yanova OA, et al. Comparative evaluation of biological activity of vermicomposts based on production. *Problemy agrokhimii i ekologii.* 2019;4:75-80. (In Russ.). DOI: 10.26178/AE.2019.26.36.005. EDN: RXWIZO.
16. Butenko MS, Ul'yanova OA, Khalipskii AN, et al. Deistvie vozrastayushchikh doz vermikomposta na agrokhimicheskie svoistva pochvy, urozhainost' i kachestvo klubnei kartofelya. *Agrokhimiya.* 2020;7:47-56. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0002188120070042. EDN: RKEBCI.
17. Ul'yanova OA, Dem'yanenko TN, Konovalov NS, et al. The assessment of humus state of alluvial demo-humus soil when using vermicompost. *Bulletin of KSAU.* 2020;2:3-10. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2020-2-3-10. EDN: MRLIME.
18. Doroshenko EA, Popova YuS. Vliyanie zameny mineral'nykh udobrenii navozom na vlagouderzhivayushchuyu sposobnost' pochvy v poluzasushlivom regione. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya.* 2023;104-16:164-166. (In Russ.). DOI: 10.18411/trnio-12-2023-918. EDN: DBTYWY.

Статья принята к публикации 13.03.2025 / The article accepted for publication 13.03.2025.

Информация об авторах:

Владимир Владимирович Голембовский¹, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией промышленной технологии производства продукции животноводства, кандидат сельскохозяйственных наук

Андрей Анатольевич Коровин², ведущий научный сотрудник лаборатории промышленной технологии производства продукции животноводства, доктор медицинских наук

Наталья Владимировна Сергеева³, старший научный сотрудник лаборатории промышленной технологии производства продукции животноводства, кандидат биологических наук

Information about the authors:

Vladimir Vladimirovich Golembovsky¹, Leading Researcher, Head of the Laboratory of Industrial Technology of Livestock Production, Candidate of Agricultural Sciences

Andrey Anatolyevich Korovin², Leading Researcher at the Laboratory of Industrial Technology of Livestock Production, Doctor of Medical Sciences

Natalia Vladimirovna Sergeeva³, Senior Researcher, Laboratory of Industrial Technology of Livestock Production, Candidate of Biological Sciences