

БИОТЕХНОЛОГИЯ И МИКРОБИОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 595.142.3:631.147

doi: 10.17223/19988591/68/2

Использование технологий вермикомпостирования для утилизации органических отходов

Андрей Анатольевич Коровин¹, Владимир Владимирович Голембовский²,
Андрей Сергеевич Бабенко³, Александр Васильевич Куровский⁴

^{1,2} Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

^{3,4} Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Томск, Россия

¹ aby20korovin@yandex.ru.

² vvh26@yandex.ru

³ andrey.babenko.56@mail.ru

⁴ a.kurovskii@yandex.ru

Аннотация. Проведен обзор исследований, посвященных использованию вермитехнологий для восстановления деградированных земель и утилизации промышленных и коммунальных отходов. Рассмотрена перспектива получения и использования вермикомпоста в качестве комплексного органоминерального удобрения биогумуса. Показано, что применяемые в настоящее время механические, физические и химические методы утилизации отходов зачастую неприемлемы вследствие высокой энергоемкости, себестоимости и остаточной токсической нагрузки на окружающую среду. Использование технологически простых, малозатратных и экологически чистых вермитехнологий позволяет снизить токсическую нагрузку на окружающую среду и, используя в качестве сырья производственные и коммунальные отходы, получать комплексные органоминеральные удобрения.

Ключевые слова: дождевые черви, вермикомпостирование, утилизация отходов производства, нефтепродукты, осадки сточных вод

Для цитирования: Коровин А.А., Голембовский В.В., Бабенко А.С., Куровский А.В. Использование технологий вермикомпостирования для утилизации органических отходов // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2024. № 68. С. 27–48. doi: 10.17223/19988591/68/2

Original article

doi: 10.17223/19988591/68/2

The use of vermicomposting technologies for organic waste disposal

Andrey A. Korovin¹, Vladimir V. Golembovsky², Andrey S. Babenko³,
Alexander V. Kurovsky⁴

^{1,2} North Caucasus Federal Agricultural Research Centre, Mikhailovsk, Russian Federation

^{3,4} National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

Summary. One of the main threats to humanity is soil degradation, which is accompanied by a progressive decrease in fertility and crop yields. The significant regen-

erative biological potential of natural objects, including soil invertebrates and microorganisms, is still underutilized. Vermitechnologies are increasingly being used today to solve the problems of obtaining highly efficient organic products and restoring soil fertility.

The main purpose of this review is to systematize contemporary ideas about the place and prospects of using vermitechnologies in the disposal of a number of toxic wastes of industrial, agricultural and municipal origin, as well as the prospects of using vermicompost.

It is shown that vermicomposting is one of the simplest, most affordable and environmentally acceptable technologies for processing organic waste. As a result of numerous studies, a wide range of organic substances have been identified that can serve as a substrate for vermicomposting and raw materials for the production of vermicompost. These include waste from agricultural production of animal and vegetable origin, waste from the food industry, leaf litter and municipal waste. The properties of vermicompost as an optimal organic fertilizer containing a complete list of easily digestible organic and mineral components for plant growth and productivity increase are noted.

The use of vermitechnologies to clean up the territory from oil and petroleum products is based on the ability of earthworms and related microorganisms to successfully clean up the soil. Preparations for soil purification have been developed, including strains of microorganisms isolated from oil-contaminated soils and from earthworm coprolites.

It is shown that during the transformation of waste from sewage treatment plants, earthworms are able to extract heavy metals from sediment, accumulate them in their bodies and convert into bound forms inaccessible to plants. This process proceeds without the use of chemicals, which makes biological disposal environmentally safe. It does not lead to secondary pollution of surface reservoirs, groundwater and soils.

Studies on the processing of sewage sludge by composting with earthworms *Eisenia fetida* have shown that worms can enhance microbial activity at the initial stage of processing and thereby accelerate the decomposition of granular dehydrated sludge. The possibility of neutralization and disinfection of precipitation by earthworms is confirmed by the numerous studies.

The experience of processing sewage sludge in different countries shows that the resulting vermicompost meets the standards of organic fertilizers and can be used for growing forest and agricultural crops.

A review of the conducted research has shown that the use of vermitechnologies makes it possible to use organic waste from industry, agriculture and housing and communal services as raw materials for the production of valuable organic fertilizers, the use of which will contribute to the restoration of soil fertility and crop yields. Waste disposal will have a beneficial effect on the environment, biodiversity and human health.

The paper contains 94 References.

Keywords: earthworms, vermicomposting, utilization of production wastes, oil products, sewage sludge

For citation: Korovin AA, Golembovsky VV, Babenko AS, Kurovsky AV. Variability of acidity, electrical conductivity and redox potential in two Podzols at the Smolenskoye Poozerye national park. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* = *Tomsk State University Journal of Biology*. 2024;68:27-48. doi: 10.17223/19988591/68/2

Введение

Анализируя итоги развития человечества на рубеже XX – начала XXI в., ученые все больше приходят к выводу о необходимости смены экономической, экологической и продовольственной парадигм дальнейшего развития

технологического процесса. Основная причина кроется в дисбалансе между развивающейся техносферой и теряющей свою устойчивость биосферой [1, 2]. Изначально считалось, что индустриальные технологические уклады будут представлять собой целостные и устойчивые техносферные образования, в рамках которых осуществляется замкнутый производственный цикл, начинающийся с добычи и получения первичных материально-энергетических ресурсов и заканчивающийся выпуском конечных продуктов с последующей утилизацией. Однако сегодня преобладает экономический принцип развития техносферы, который осуществляется за счет материально-энергетических ресурсов биосферы. При этом происходит деградация последней, препятствующая реализации жизнеобеспечивающих функций и вызывающая экологический кризис. Причина кроется в исключении биопотенциала из круговорота веществ в природе и утилизации промышленных и бытовых отходов [3, 4].

Бесконтрольное использование экологически небезопасных технологий в условиях индустриального общества привело к существенному загрязнению атмосферы, водных объектов, деградации почв, снижению видового разнообразия растительного и животного мира и ухудшению здоровья населения [5–10]. В частности, в Государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году» было отмечено, что в атмосферу было выброшено 22 204,9 тыс. т загрязняющих веществ, из них 17 173,9 тыс. т – от стационарных источников. Объем сточных вод, сбрасываемых в природные поверхностные водные объекты Российской Федерации, в 2022 г. составил 36 169,3 млн м³. Вызывает серьезную озабоченность загрязненность донных отложений поверхностных водных объектов, в первую очередь, нефтяными углеводородами. В 2022 г. на территории Российской Федерации образовалось 9 017,3 млн т отходов производства и потребления, что на 6,7% больше уровня 2021 г. В результате антропогенного воздействия влиянию санитарно-гигиенических факторов (химические, биологические, физические) были подвержены более чем 86,8 млн человек в 51 субъекте Российской Федерации (59,3% населения).

В настоящее время одной из основных угроз для человечества признана деградация почв по причине природно-климатических изменений; она сопровождается прогрессирующим снижением плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур [11–13]. При этом кризисные изменения в экономике не способствуют проведению агромелиоративных мероприятий в должном объеме, что приводит к трансформации почвенной биоты, антропогенным песчаным и пыльным бурям [14, 15]. Кроме того, выведению из хозяйственного оборота значительных территорий в зависимости от экономической специализации регионов способствует загрязнение почв нефтепродуктами и накопление токсичных отходов производства и потребления в зоне жизнедеятельности человека [16–18]. Бесспорно, подобное разделение весьма условно, и факторы постоянно взаимодействуют, но в целом научно-исследовательские и конструкторские разработки распределены в соответствии с обозначенными выше приоритетами.

Усилившийся в последние годы контроль за антропогенным воздействием способствует замедлению процессов деградации почв, но это не позволяет надеяться на полное восстановление окружающей среды ввиду значительного кумулятивного воздействия загрязняющих веществ. При этом все попытки существенно снизить содержание поллютантов в окружающей среде и ослабить их негативное влияние на экологическую обстановку и здоровье населения, используя исключительно механические, физические, химические методы или их комплексы, не дают ожидаемых результатов [19]. К сожалению, мощный восстановительный биологический потенциал природных объектов до настоящего времени используется недостаточно. В то же время именно разнообразные биологические методы являются эволюционно закрепленными способами ремедиации объектов окружающей среды, направленными на восстановление количественных и качественных показателей состояния почвенного покрова [20–22].

Основная цель данного обзора заключается в систематизации современных представлений о месте и перспективах использования вермитехнологий в утилизации ряда токсичных отходов промышленного, сельскохозяйственного и коммунально-бытового происхождения, а также перспективах использования вермикомпоста.

Роль дождевых червей в вермикомпостировании отходов производства и потребления

Современные модели интенсификации сельхозпроизводства приводят к прогрессивному снижению содержания гумуса, высокая сорбционная способность которого способствует деактивации поллютантов природного и техногенного происхождения, сохранению баланса макро- и микроэлементов, поддержанию биоразнообразия почвенной биоты [23, 24].

Из всех известных способов восстановления плодородия почв внесение вермикомпоста, полученного в результате переработки органических отходов с использованием ряда видов дождевых червей, признано наиболее простым, доступным и экологически чистым способом, который доказал свою перспективность как в условиях эксперимента, так и в производственных условиях [25–28].

В процессе вермикомпостирования дождевые черви выступают в качестве оптимального природного фильтра и дезинтоксиканта, своими копролитами обогащают субстрат биологически активными веществами и полезной микробиотой [29, 30].

В настоящее время огромное количество органических веществ животного и растительного происхождения рассматривается в качестве отходов вместо того, чтобы быть использованными в качестве вторичного сырья с извлечением столь нужных человечеству полезных веществ. Именно вермитехнологии ученые пытаются адаптировать к требованиям современного промышленного и сельскохозяйственного производства [31–33].

Основными источниками органических веществ, которые могут служить субстратом для вермикомпостирования и сырьем для производства биогу-

муса, могут выступать отходы сельскохозяйственного производства животного и растительного происхождения [34–36], отходы пищевой промышленности [37, 38], листовой опад [39, 40], ряд коммунальных отходов [41–43], которые сжигаются или утилизируются иными способами, при этом теряя органическую составляющую.

Отмечались свойства вермикомпоста как оптимального органического удобрения, содержащего полный перечень легко усваиваемых органических и минеральных компонентов для роста и повышения продуктивности растений. При этом использование различных видов сельскохозяйственных отходов и/или их смеси в качестве исходного продукта для вермикомпостирования позволяет получать вермикомпост с заранее прогнозируемым химическим составом [44]. Кроме того, использование микробиологических и бактериальных препаратов как изолированно, так и совместно с традиционными удобрениями не в полной мере отвечает требованиям сельхозпроизводителей [45–48], в связи с чем стали появляться работы, посвященные изучению комплексного использования вермитехнологий и микробиологических и бактериологических препаратов [49].

Роль вермитехнологий в утилизации нефти и нефтепродуктов

Особый интерес представляет использование вермитехнологий для утилизации субстратов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Согласно Государственному докладу «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году» [5], на магистральных трубопроводах было зарегистрировано 26 311 порывов, что в 2,6 раза больше, чем в 2021 г. Из указанных порывов 12 985 случаев были зафиксированы на нефтепроводах. Всего за 2022 г. из-за порывов нефтепроводов было потеряно 159,9 тыс. т нефти.

Ремедиация почвенных экосистем после их загрязнения нефтью и нефтепродуктами вследствие выраженного кумулятивного токсического эффекта зачастую требует применения длительных и дорогостоящих методов, особенно в регионах интенсивной нефтедобычи, переработки, транспортировки и потребления нефти [50, 51]. Так, на основе многолетних наблюдений отмечено, что используемые в настоящее время для ликвидации разливов нефти и очистки почв механические, физико-химические и химические способы могут даже нанести дополнительный ущерб окружающей среде, поскольку требуют экскавации и перемещения грунта или обработки почв химическими реагентами. В свою очередь, эффективность биологических способов очистки, основанных на обработке почв биопрепаратом на основе аборигенных углеводородокисляющих микроорганизмов, четко прослеживалась ежегодно только в течение одного вегетационного сезона. Увеличение остаточного содержания нефти в почве к началу каждого следующего сезона авторы связывают с внутрисочвенной миграцией нефти из нижележащих загрязненных почвенных горизонтов в приповерхностные, что, в свою очередь, может снивелировать положительный эффект очистных работ [50].

Также установлена зависимость свойств окислительной деструкции нефтезагрязнения от геоклиматического характера местности, которая в умеренной зоне с резко континентальным климатом протекает преимущественно благодаря процессам биодеградации, а в арктической зоне под влиянием физико-химических факторов среды осуществляется по типу гниения, что может сопровождаться ростом численности гнилостных и патогенных микроорганизмов [51].

С момента поступления нефти в почву начинается процесс ее естественного фракционирования, физико-химических и микробиологических процессов ее разрушения и минерализации, перевода в нерастворимые или малорастворимые малоподвижные формы. При этом способность различных биогеоценозов к самоочищению напрямую зависит не только от структуры почв, но и от климатических условий, характеристик ландшафтов и видового биоразнообразия [52, 53]. Так, в ходе многолетних полевых исследований закономерности изменения микробиоценозов нефтезагрязненных почв Ю.М. Поляк и Л.Г. Бакина [53] обнаружили, что в дерново-подзолистой почве доминировали представители семейств *Coniochaetaceae* и *Aspergillaceae*, лидирующее положение занимали микромицеты из семейства *Rhizopodaceae*. В песчаном подзоле представители этого семейства отсутствовали, но выявлены микромицеты рода *Mucor* семейства *Mucoreaceae* и *Rhodotorula* семейства *Sporidiobolaceae*, не характерные для дерново-подзолистой почвы. Таким образом, в динамике самовосстановления почв и микробной сукцессии, выявленные для почв разных типов, указывают на существование сложных взаимодействий между почвенными микроорганизмами и условиями окружающей среды.

Сырая нефть рассматривается как многокомпонентный загрязнитель, который негативно влияет на состояние микрофлоры и объектов растительного и животного мира как непосредственно за счет токсического воздействия, так и за счет резкого изменения физико-химических параметров почвы [54].

При изучении ферментативной и микробиологической активности почв, загрязненных нефтью, установлено не только изменение численности функциональных групп видовой структуры комплекса микроорганизмов, но и активности их ферментов (каталазы, дегидрогеназы, липазы, фосфатазы и т.д.) [55–57], при этом отмечена разнонаправленность изменений ферментативной активности, которая преимущественно зависит от степени загрязнения почв [58, 59].

В настоящее время в основе способов ремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, лежат механические, физико-химические и бактериологические методы. Современные микробиологические методы рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, основаны на применении высокоэффективных штаммов нефтеокисляющих микроорганизмов, выделенных из загрязненных природных объектов [60].

Изыскание и выделение микроорганизмов, обладающих углеводородоокисляющей активностью, позволило создать препараты, применяющиеся для очистки почвы от нефтяных загрязнений. Созданы биопрепараты на основе активно разлагающих нефть микроорганизмов: бактерий родов

Pseudomonas, *Rhodococcus*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter*, *Azotobacter*, *Alkaligenes*, *Mycobacterium*; дрожжей *Candida*; нитевидных актиномицетов *Streptomyces*; грибов *Aspergillus* и *Penicillium* и др. [61, 62].

Биопрепараты, производимые коммерческими фирмами, представляют собой биомассу жизнеспособных клеток микроорганизмов, окисляющих нефтепродукты, которые различаются применяемыми для их получения штаммами с особыми физиолого-биохимическими свойствами, например, способностью включать в метаболические процессы разные классы углеводов [63–66]. Также проведены работы, которые показали большую эффективность комплекса применяемых бактерий-нефтедеструкторов по сравнению с моногруппами, а также их смесь с биосорбентами [67].

Интерес к использованию вермитехнологий для очистки территории от нефти обусловлен тем, что не только черви, но и живущие в них и в окружающей среде бактерии-симбионты обладают нефтедеструктивным действием [68, 69]. Также показано, что совместное использование вермикультуры и бактериологических препаратов, таких как производимые в России «Байкал», «Тамир» и «Восток», может усиливать эффект очистки почвы [70].

Опытным путем установлено, что различные виды червей имеют различную устойчивость к токсическому воздействию нефти и нефтепродуктов. При этом не только концентрация в почве, но и характер нефтепродуктов (сырая нефть, легкие и тяжелые углеводороды) несут различную токсическую нагрузку на почвенную биоту [71]. Следует отметить, что дождевых червей можно применять только на загрязненных почвах, которые не оказывают чрезмерно токсического воздействия. В связи с этим существуют характерные различия между типами земляных червей, которые диктуют ответ и поведение по типу почвы, типу загрязнителя, доступности пищи и ряду других параметров окружающей среды.

В последние годы разработан ряд препаратов для очистки почв, а также пресных и минерализованных вод от нефти и нефтепродуктов, включающий штаммы микроорганизмов, выделенных из нефтезагрязненных почв и из копролитов дождевых червей. На основе использования данных препаратов разработан метод рекультивации нефтезагрязненных почв с использованием сапропеля в качестве сорбента [72–74].

В целом вермиремедиация почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, является перспективным методом, который отличается простотой использования, экологической безопасностью и экономической целесообразностью. Комплексное использование дождевых червей, особенно имевших в своем жизненном цикле контакты с нефтью и нефтепродуктами, совместно с микробиологическими препаратами позволяет не только повысить выживаемость червей, но и ускорить процесс восстановления физико-химической структуры почв и почвенной биоты.

Роль дождевых червей в вермикомпостировании осадков сточных вод коммунальных очистных сооружений и донных отложений, извлекаемых при дноочистительных работах на водных объектах

Накопленные и ежегодно пополняемые объемы осадков сточных вод коммунальных очистных сооружений и донных отложений, извлекаемых

при дноочистительных работах на водных объектах (далее – соответственно ОСВ, ДО), содержащие до 80% органического компонента и до 20% минеральных примесей, составляют сотни миллионов тонн. При этом ОСВ и ДО отнесены к опасным отходам, так как содержат в своем составе тяжелые металлы и иные вредоносные для экологии химические соединения, нефтепродукты, патогенную микрофлору и т.д. [75, 76].

От ОСВ и ДО частично избавляются путем захоронения, высушивания и сжигания. Часть утилизируют с использованием физико-химических методов, часть перерабатывают в удобрения. Однако основная часть складывается на полигонах под открытым небом для длительного хранения до соответствия санитарным нормам, так как освобождать территории от того объема отходов, что ежегодно скапливается, не представляется возможным ввиду ограниченности материально-технических ресурсов.

Химический состав ОСВ и ДО неоднороден и в основном зависит от деятельности промышленных и сельскохозяйственных предприятий в районе естественного и искусственного водосбора, откуда с ливневыми, паводковыми, тальными и промышленно-бытовыми стоками поступают загрязняющие вещества. При определенных условиях ОСВ и ДО могут выступать в качестве потенциального субстрата для производства органоминеральных удобрений методом вермикомпостирования [77, 78].

Ряд авторов считают, что утилизация свежих ОСВ и ДО дождевыми червями затруднена ввиду повышенного содержания токсичных примесей, преимущественно солей тяжелых металлов, и высокой влажности субстрата; для снижения токсичности следует добавлять различные органические наполнители животного и/или растительного происхождения – навоз, помет, лиственный опад, солому и т.д. [75]. Однако показано, что дождевые черви могут утилизировать ОСВ и ДО и без предварительного их компостирования и добавления каких-либо наполнителей и разрыхлителей.

Отличительной особенностью вермикомпостирования является деаммонификация исходного субстрата, сопровождаемая его нитрификацией. Дезинтоксикационные свойства дождевых червей реализуются путем аккумуляирования токсичных элементов и связывания их внутрикишечной микробиотой. В результате происходит некоторое уменьшение валового содержания тяжелых металлов и их подвижных форм. Земляные черви способствуют выведению из осадка кадмия, свинца, меди и мышьяка. На концентрацию цинка и ртути оказывается обратное действие. Изменения концентрации тяжелых металлов в червях и в ОСВ детерминируется также биогеохимическими особенностями элементов. Увеличение или снижение концентрации тяжелых металлов как в червях, так и в осадке определяется и биогеохимическими особенностями элементов. Динамика накопления связана с пороговым эффектом аккумуляции при миграции тяжелых металлов в трофической цепи «почва–педобионты». Он проявляется в ходе минерализации осадка при возрастании концентрации этих элементов. Вносит коррективы и существование у металлов антагонизма/синергизма, степень проявления которого зависит от соотношения тяжелых металлов в конкретном субстрате [75, 77, 78].

Черви, поглощая донные отложения или субстраты на их основе, выделяют вместе с копролитами большое количество собственной микрофлоры, ферментов и других биологически активных веществ, которые обладают антисептическими свойствами. Они препятствуют развитию патогенной микрофлоры, выделению зловонных газов и обеззараживают исходный перерабатываемый субстрат [79]. После компостирования в субстрате не обнаруживаются яйца гельминтов и патогенная флора, а содержание токсических веществ существенно снижается [80].

Длительность вермикомпостирования ОСВ и ДО напрямую зависит от токсичности субстрата и его пригодности для жизнедеятельности червей [81, 82].

В настоящее время технология вермикомпостирования осадка сточных вод разрабатывается и широко используется в США, Канаде, ЮАР, в ряде европейских государств, а также в странах Южной и Юго-Восточной Азии. Показано, что в процессе трансформации отходов черви способны извлекать из осадка и накапливать в своем теле тяжёлые металлы и переводить их в связанные формы, не доступные для растений, что позволяет расширить спектр применения конечного продукта переработки. Этот процесс протекает без использования химических реагентов, что делает биологическую утилизацию экологически безопасной и не приводит к вторичному загрязнению поверхностных водоёмов, грунтовых подземных вод и почв. Добавление наполнителей в осадок сточных вод ускоряет стабилизацию осадка и устраняет его токсичность. Последовательная экстракция показала, что вермикомпостирование значительно снижает подвижность всех тяжёлых металлов за счет увеличения остаточных фракций. Активность дождевых червей и соответствующее добавление модифицирующих материалов играет позитивную роль в связывании тяжёлых металлов при обработке осадка сточных вод [83–85].

Сравнительные исследования по переработке осадка сточных вод компостированием с участием и без участия дождевых червей *Eisenia fetida* показали, что черви могут усилить микробную активность на начальной стадии переработки и тем самым ускорить разложение гранулированного обезвоженного осадка. Присутствие дождевых червей влияет на физические и химические свойства субстратов, тем самым способствуя росту некоторых микроорганизмов, таких как флаво- и ацидобактерии. Указывается, что для подавления патогенной микрофлоры продолжительность компостирования должна быть в пределах 112–144 дней. Возможность обезвреживания и обеззараживания осадков дождевыми червями подтверждается многочисленными исследованиями [86–89].

В последние годы внимание исследователей привлекает изучение свойств вермикомпоста, полученного на основе осадка сточных вод. Значительное число работ посвящено содержанию и миграции тяжёлых металлов в продуктах переработки осадков. При сравнительном исследовании процесса переработки твердых бытовых отходов и осадка сточных вод показано, что концентрация тяжёлых металлов сокращается в конечных продуктах во всех вариантах переработки [90].

Опыт переработки осадков сточных вод в разных странах показывает, что полученный вермикомпост соответствует стандартам органических удобрений и может быть использован для выращивания лесных и сельскохозяйственных культур, в частности кукурузы; особенно хорошо проявились почвосстанавливающие свойства вермикомпостов на основе осадка сточных вод в аридных условиях выращивания сельскохозяйственных культур [91].

В Малайзии были проведены эксперименты по удалению тяжелых металлов (Cr, Cd, Pb, Cu и Zn) из осадка городских сточных вод с добавлением отработанного грибного компоста с использованием червей *Lumbricus rubellus*. Показано, что через 10 недель компостирования содержание Cr, Cd и Pb в полученном вермикомпосте значительно снижалось, в то время как концентрация Cu и Zn увеличивалась. На пятнадцатой неделе компостирования наблюдалось увеличение содержания тяжелых металлов в вермикомпосте по сравнению с десятой неделей, в то время как концентрация тяжелых металлов в тканях дождевых червей была ниже по сравнению с вермикомпостом. Предполагается, что на 10–15-й неделе вермикомпостирования дождевые черви начинают выделять в окружающую среду тяжелые металлы [92–94].

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют, что вермикомпост на основе ОСВ и ДО может быть использован в качестве органоминерального удобрения. Однако для экологически обоснованного использования ОСВ, полученных на очистных сооружениях населенных пунктов, на территории которых располагаются крупные предприятия с экологически небезопасным производством, как сырья для производства биогумуса требуется комплексное изучение их химического, бактериологического и экотоксикологического состава.

Заключение

Аналитический обзор научной литературы показал, что применение вермитехнологий позволяет использовать органосодержащие отходы промышленности, сельского и жилищно-коммунального хозяйства в качестве сырья для выработки ценных органоминеральных удобрений, использование которых будет способствовать восстановлению плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Утилизация отходов окажет благоприятное воздействие на состояние окружающей среды, биоразнообразие и состояние здоровья человека. Развитие и использование современных наукоемких решений делает возможным создание рентабельного предпринимательства, имеющего под рукой неограниченный рынок сырья и потребления, что послужит экономическим базисом экологической безопасности и расширенного воспроизводства почвенного плодородия в интересах будущих поколений. Правильный выбор технологии производства вермикомпоста позволяет значительно снизить себестоимость продукции, что делает её привлекательной для потребителей.

Список источников

1. Gliessman S. Evaluating the impact of agroecology // *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2020. Vol. 4 (8). PP. 973–974. doi: 10.1080/21683565.2020.1774110
2. Бринчук М.М. Законы природы как основа нового мировоззрения // *Астраханский вестник экологического образования*. 2021. № 1 (61). С. 67–76.
3. Журавлева Е.В., Цедилин А.Н., Воронов С.И. Экологический принцип техносферного развития // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. Т. 35, № 11. С. 9–14.
4. Зеленская Т.Г., Коровин А.А., Безгина Ю.А., Округ С.В., Лысенко И.О. Новые технологии в растениеводстве как условие экологической и продовольственной безопасности // *Вестник АПК Ставрополя*. 2022. № 1 (45). С. 32–36.
5. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государственный доклад Минприроды России. М. : МГУ им. М.В. Ломоносова, 2023. 686 с.
6. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2022 году. URL: https://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/doc_nation_report_2022.pdf
7. Состояние мировых земельных и водных ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. Системы на пределе. Сводный доклад 2021. Рим. URL: <https://doi.org/10.4060/cb7654ru>
8. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году: Государственный доклад. М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. 368 с.
9. Олива Т.В., Манохина Л.А., Колесниченко Е.Ю. Химико-экологическое качество воды и донных отложений реки Валуй Белгородской области // *Успехи современного естествознания*. 2020. № 12. С. 145–150.
10. Блинова Е.Г., Чеснокова М.Г. Биотехнологические аспекты анализа донных осадков и гидрохимический режим водотока // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019. № 10. С. 75–80.
11. 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.
12. Рамазанова Р.Х. Процессы почвообразования при глобальном изменении климата и меры по устойчивому развитию растениеводства в Казахстане // *Почвоведение и агрохимия*. 2022. № 1. С. 69–77.
13. Сушкова Т.Ю., Иванова Н.А. Эффективность использования земли в сельском хозяйстве региона // *Экономика сельского хозяйства России*. 2021. № 10. С. 39–44.
14. Garcia-Segura D., Castillo-Murrieta I.M., Martinez-Rabelo F. Macrofauna and mesofauna from soil contaminated by oil extraction // *Geoderma*. 2018. Vol. 332. PP. 180–189.
15. Zucca C., Fleiner R., Bonaiuti E. et al. Land degradation drivers of anthropogenic sand and dust storms // *Catena*. 2022. Vol. 219. PP. 106575.
16. Nassar S.E., Said R.M. Bioremediation assessment, hematological, and biochemical responses of the earthworm (*Allobophora caliginosa*) in soil contaminated with crude oil // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28 (39). PP. 54565–54574.
17. Bigaliev A.B., Kozhakhmetova A.N. Oil pollution and associated heavy metals, radionuclides in the body of hydrobionts of the Kazakhstan zone of the Caspian Sea // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*. Vol. 2020331 (12). PP. 60–66.
18. Slyusarevsky A.V., Zinnatshina L.V., Vasilyeva G.K. Comparative environmental and economic analysis of methods for the remediation of oil-contaminated soils by in situ bioremediation and mechanical soil replacement // *Ecology and Industry of Russia*. 2018. № 22 (11). PP. 40–45.
19. Hartenstein R. Earthworm Biotechnology and Global Biogeochemistry // *Advances in Ecological Research*. 1986. Vol. 15. PP. 379–409.

20. Canti M.G. Earthworm Activity and Archaeological Stratigraphy: A Review of Products and Processes // *Journal of Archaeological Science*. 2003. Vol. 30. PP. 135–148.
21. Илькин Н. Биологизация земледелия: преграды и перспективы // *АгроФорум*. 2022. № 1. С. 24–30.
22. Stewart A. The Earth Moved: On the Remarkable Achievements of Earthworms // Paperback Algonquin Books. 2004. 204 p.
23. Занилов А.Х., Яхтанигова Ж.М. К органическому сельскому хозяйству через биологизацию // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2016. № 1 (9). С. 47–52.
24. Хакбердиев О.Э., Шамсиддинов Т.Ш. Деградация почв и влияние эрозии на агрохимические свойства почв // *International Independent Scientific Journal*. 2020. № 13–2 (13). С. 27–29.
25. Титов И.Н. Вермикультура: переработка органической фракции отходов // *Твердые бытовые отходы*. 2008. № 8. С. 18–25.
26. Bhat S.A., Singh S., Singh J. Bioremediation and detoxification of industrial wastes by earthworms: vermicompost as powerful crop nutrient in sustainable agriculture // *Biore-source Technol*. 2018. № 252. PP. 172–179.
27. Фахруденова И.Б., Хамитова А.С., Сергазина С.М., Мустафина Ш.А. Вермитехнологии как основа экологического земледелия // *Международный вестник ветеринарии*. 2020. № 4. С. 106–110.
28. Степанова Д.И. Биотехнологические основы повышения урожайности и качества овощных культур в условиях защищенного грунта Якутии: монография / Д.И. Степанова, М.Ф. Григорьев, А.И. Григорьева. Якутск : Издательский дом СВФУ, 2022. 92 с.
29. Гиляров М.С., Стриганова Б.Р. Роль почвенных беспозвоночных животных в разложении растительных остатков и круговороте веществ // *Зоология беспозвоночных. Почвенная зоология*. 1978. Т. 5. С. 8–69.
30. Куровский А.В., Бабенко А.С. Биогеохимическая роль дождевых червей в почвенных экосистемах. Краткая история исследований и современные представления // *Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия: Биологические науки*. 2022. № 3 (140). С. 116–129.
31. Суханова И.М., Газизов Р.Р., Биккинина Л.М.Х., Яппаров И.А. Технология вермикомпостирования как одно из решений экологических проблем // *Агрохимический вестник*. 2015. № 6. С. 26–28.
32. Singh S., Singh J., Kandoria A. et al. Bioconversion of different organic waste into fortified vermicompost with the help of earthworm: A comprehensive review // *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2020. № 9 (4). PP. 423–439.
33. Олива Т.В., Колесниченко Е.Ю., Панин С.И., Андреева Н.В. Экологические аспекты производства и применения вермикомпоста // *Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии*. 2022. № 4 (26). С. 41–46.
34. Пташкина-Гирина О.С., Телюбаев Ж.Б., Шерьязов С.К. Переработка отходов животноводства для использования их в качестве удобрения // *Вестник ИрГСХА*. 2017. № 80. С. 184–190.
35. Нафиков М.М., Нигматзянов А.Р. Особенности производства продукции и переработки сырья агропромышленного комплекса по безотходной технологии // *Экологический вестник Северного Кавказа*. 2019. Т. 15, № 3. С. 55–61.
36. Кузубов А.А., Шашло Н.В. Модели использования отходов аграрных предприятий в обеспечении энергетической и экологической безопасности // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2021. Т. 14, № 3 (70). С. 168–176.
37. Garg V.K., Suthar S., Yadav P. Management of food industry waste employing vermicomposting technology // *Bioresource Technol*. 2012. Vol. 126. PP. 437–443.
38. Sanchez-Hernandez J.C., Sáez J.A., Vico A., Moreno J., Moral R. Evaluating earthworms' potential for remediating soils contaminated with olive millwaste sediments // *Applied Sciences (Switzerland)* 2020. Vol. 10 (7). 2624.

39. Колесников Г.Н., Гаврилов Т.А., Станкевич Т.Б. Повышение эффективности переработки органических отходов сельского и лесного хозяйства // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2020. № 21. С. 89–94.
40. Петроченко К.А., Куровский А.В., Бабенко А.С., Якимов Ю.Е. Вермикомпост на основе листового опада – перспективное кальциевое удобрение // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2015. № 2 (30). С. 20–34.
41. Nawal M., Kadi K., Casini S., Lekmine S., Amari A. Effects of single and combined olive mill wastewater and olive mill pomace on the growth, reproduction, and survival of two earthworm species (*Aporrectodea trapezoides*, *Eisenia fetida*) // *Applied Soil Ecology*. 2021. № 168 (1). Art. no. 104123.
42. Григорьев М.Ф., Степанова Д.И., Григорьева А.И., Сагиндыкова Э.У., Сидоров А.А. Возможность производства вермикомпостов для улучшения почвосмесей закрытого грунта // *International agricultural journal*. 2023. № 2. С. 685–693.
43. Nadana G.R.V., Selvaraj K., Sivakumar P., Palanichelvam K. Coelomic fluid of earthworms extruded by cold stress method has commercially significant compounds and trigger seed germination in *Vigna radiata* L. // *Environmental Technology and Innovation*. 2020. Vol. 19. 100814.
44. Завалин А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай. М. : Изд-во ВНИИА, 2005. 302 с.
45. Завалин А.А., Алферов А.А., Чернова Л.С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // *Агрохимия*. 2019. № 8. С. 83–96.
46. Брескина Г.М., Чуян Г.М. Роль биопрепаратов и азотных удобрений в формировании продуктивности гречихи в условиях Курской области // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021. № 2. С. 39–42.
47. Накаряков А.М., Завалин А.А. Влияние биопрепаратов и удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на светло-серой лесной почве // *Плодородие*. 2021. № 4 (121). С. 26–30.
48. Цыкора А.А., Каменев Р.А., Каменева В.К. Влияние минеральных удобрений и бактериальных препаратов на урожайность озимого ячменя в условиях Ростовской области // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2021. № 4 (67). С. 99–103.
49. Терещенко Н.Н., Кравец А.В., Акимова Е.Е., Минаева О.М., Зотикова А.П. Эффективность применения микроорганизмов, изолированных из копролитов дождевых червей, для увеличения урожайности зерновых культур // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2013. № 5 (234). С. 10–17.
50. Глязнецова Ю.С., Лифшиц С.Х., Зуева И.Н., Чалая О.Н. Проблемы рекультивации нефтезагрязненных территорий // *Проблемы региональной экологии*. 2021. № 5. С. 109–112.
51. Лифшиц С.Х., Глязнецова Ю.С., Чалая О.Н., Зуева И.Н. Особенности трансформации нефтезагрязнения в мерзлотных почвах техногенных объектов Якутии // *Лесной вестник*. 2023. Т. 27, № 2. С. 112–120.
52. Зволинский В.П., Батовская Е.К., Бондаренко А.Н. Экология нефтезагрязненных почв европейской части России // *Земледелие*. 2007. № 4. С. 13–14.
53. Поляк Ю.М., Бакина Л.Г. Оценка биоразнообразия микробоценозов нефтезагрязненных почв на разных этапах их восстановления // *Почвы и окружающая среда: сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН*. Новосибирск : ИПА СО РАН, 2023. С. 565–568. doi: 10.31251/conf1-2023
54. Киреева Н.А., Новоселова Е.И., Григориади А.С. Влияние загрязнения почв нефтью на физиологические показатели растений и ризосферную микробиоту // *Агрохимия*. 2009. № 7. С. 71–80.
55. Бородулина Т.С., Полонский В.И. Влияние нефтезагрязнения почвы на физиологические характеристики растений пшеницы // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2010. № 5. С. 50–55.

56. Кобзев Е.Н., Петрикевич С.Б., Шкидченко А.Н. Исследование устойчивости ассоциации микроорганизмов-нефтедеструкторов в открытой системе // Прикладная биохимия и микробиология. 2001. Т. 37, № 4. С. 413–417.
57. Baran S., Bielinska E.J., Oleszczuk P. Enzymatic activity in an airfield soil polluted with polycyclic aromatic hydrocarbons // Geoderma. 2004. Vol. 118, № 3. PP. 221–232.
58. Киреева Н.А., Тарасенко Е.М., Шамаева А.А., Новоселова Е.И. Влияние нефтепродуктов на активность липазы серой лесной почвы // Почвоведение. 2006. № 8. С. 1005–1011.
59. Полонский В.И., Борцова И.Ю., Полонская Д.Е. и др. Влияние низких уровней нефтезагрязнения почвы на активность оксидоредуктаз // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2011. № 6. С. 90–94.
60. Гирич И.Е., Алешина Н.Ю., Карасев С.Г. и др. Биоремедиация черноземной почвы, загрязненной нефтью // Биотехнология. 2005. № 2. С. 67–72.
61. Рахимова Э.Р., Осипова А.Л., Зарипова С.К. Очистка почвы от нефтяного загрязнения с использованием денитрифицирующих углеводородокисляющих микроорганизмов // Прикладная биохимия и микробиология. 2004. Т. 40, № 6. С. 649–653.
62. Bodour A.A., Guerrero-Barajas C., Jiorle B.V. et al. Structure and characterization of flavolipids, a novel class of biosurfactants produced by *Flavobacterium* sp. strain MTN11 // Applied and Environmental Microbiology. 2004. Vol. 70, № 1. PP. 114–120.
63. Ветрова А.А., Нечаева И.А., Игнатова А.А. и др. Влияние катаболических плазмид на физиологические параметры бактерий рода *Pseudomonas* и эффективность биодеструкции нефти // Микробиология. 2007. Т. 76, № 3. С. 354–360.
64. Злотников К.М., Злотников А.К., Садовникова Л.К. и др. Биопрепарат Альбит для рекультивации загрязненных нефтью почв // Вестник РАСХН. 2007. № 1. С. 65–67.
65. Арчегова И.Б., Хабибуллина Ф.М., Щубаков А.А. Оптимизация очистки почвы и водных объектов от нефти с помощью биосорбентов // Сибирский экологический журнал. 2012. № 6. С. 769–776.
66. Писарчук А.Д., Терещенко Н.Н., Лушников С.В. Эффективность применения углеводородокисляющих бактерий *Pseudomonas putida* и сорбента на основе модифицированного вермикомпоста для детоксикации нефтезагрязненной почвы // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. № 3 (15). С. 180–182.
67. Смольникова В.В. Выживание дождевых червей в условиях нефтяного загрязнения // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. 2011. № 1. С. 95–99.
68. Wang Z., Chen Z., Niu Y., Ren P., Hao M. Feasibility of vermicomposting for spent drilling fluid from a nature-gas industry employing earthworms *Eisenia fetida* // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2021. Vol. 214. Art. no. 111994.
69. Зеленская Т.Г., Безгина Ю.А., Коровин А.А., Смольникова В.В., Степаненко Е.Е. Потенциальные возможности вермиремедиации почв, загрязненных нефтепродуктами // Агрохимический вестник. 2022. № 4. С. 65–72.
70. Стом Д.И., Потапов Д.С., Балаян А.Э., Матвеева О.Н. Трансформация нефти в почве микробиологическим препаратом и дождевыми червями // Почвоведение. 2003. Т. 36. С. 359–361.
71. Geissen V., Gomez-Rivera P., Lwanga E., Mendoza R., Narcias A.T., Marcias E.B. Using earthworms to test the efficiency of remediation of oil-polluted soil in tropical Mexico // Ecotoxicology and environmental safety. 2008. Vol. 71. PP. 638–642.
72. Javed F., Hashmi I. Vermiremediation–Remediation of Soil Contaminated with Oil Using Earthworm (*Eisenia fetida*) // Soil and Sediment Contamination. 2021. Vol. 30 (6). PP. 639–662.
73. Rajadurai M., Karmegam N., Kannan S., Yuvaraj A., Thangaraj R. Vermiremediation of engine oil contaminated soil employing indigenous earthworms, *Drawida modesta* and *Lampito mauritii* // Journal of Environmental Management. 2022. Vol. 301. 113849.
74. Чачина С.Б., Чачина Е.П., Тихонов В.М. Биоремедиация почв, загрязненных нефтешламом 50 г/кг, с использованием биопрепаратов и вермикультуры дождевых

- червей // Экологические проблемы региона и пути их разрешения. Материалы XV Международной научно-практической конференции. Омск, 2021. С. 24–28.
75. Мухортов Д.И., Ускова В.В. Оптимизация параметров вермикомпостирования осадков сточных вод, различающихся по токсичности // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2008. № 2. С. 60–71.
76. Ветчинников А.А., Титова В.И., Баранов А.И. Оценка возможности использования донных отложений пруда для рекультивации техногенно нарушенных почв // Агрохимический вестник. 2018. № 2. С. 50–53.
77. Baran A., Tarnawski M., Urbaniak M. An assessment of bottom sediment as a source of plant nutrients and an agent for improving soil properties // Environmental Engineering and Management Journal. 2019. Vol. 18 (8). PP. 1647–1656.
78. Межевова А.С. Практическое применение осадка сточных бытовых вод на примере возделывания сафлора красильного // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 2. С. 53–67.
79. Ганин Г.Н. Влияние земляных червей на содержание тяжелых металлов и мышьяка в осадке сточных вод при его компостировании // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2015. № 7–1. С. 95–101.
80. Ибрагимова Д.В., Гусельникова М.В., Наконечный Н.В. Использование нетрадиционных органических отходов при вермикомпостировании в закрытом грунте в условиях города Сургута // Самарский научный вестник. 2021. Т. 10, № 1. С. 80–85.
81. Коровин А.А., Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е., Округ С.В., Хасай Н.Ю. Биоремедиация донных отложений рек как способ повышения плодородия почв // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 2 (73). С. 71–78. doi: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_71
82. Коровин А.А., Голембовский В.В., Суров А.И. Получение вермикомпоста из отходов сельскохозяйственного производства и иловых осадков сточных вод // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023. № 11 (229). С. 39–44. doi: 10.53083/1996-4277-2023-229-11-39-44
83. Lv B., Xing M., Yang J. Exploring the effects of earthworms on bacterial profiles during vermicomposting process of sewage sludge and cattle dung with high-throughput sequencing // Environmental Science and Pollution Research. 2018. Vol. 25. PP. 12528–12537.
84. Yadav A., Garg V.K. Industrial wastes and sludges management by vermicomposting // Rev Environmental Science Biotechnology. 2011. Vol. 10. PP. 243–276.
85. Žaltauskaitė J., Kniuitytė I., Praspaliauskas M. Earthworm *Eisenia fetida* potential for sewage sludge amended soil valorization by heavy metal remediation and soil quality improvement // Journal of Hazardous Materials. 2022. Vol. 424. 127316.
86. Hait S., Tare V. Optimizing vermistabilization of waste activated sludge using vermicompost as bulking material // Waste management. 2011. Vol. 31 (3). PP. 502–511.
87. Ludibeth S.-M., Marina I.-E., Vicenta E.M. Vermicomposting of Sewage Sludge: Earthworm Population and Agronomic Advantages // Compost Science & Utilization. 2012. Vol. 20 (1). PP. 11–17.
88. Rodríguez-Canché L.G., Cardoso Vigueros L., Maldonado-Montiel T., Martínez-Sanmiguel M. Pathogen reduction in septic tank sludge through vermicomposting using *Eisenia fetida* // Bioresource technology. 2010. Vol. 101 (10). PP. 3548–3553.
89. Villar I., Alves D., Pérez-Díaz D., Mato S. Changes in microbial dynamics during vermicomposting of fresh and composted sewage sludge // Waste management. 2016. Vol. 48. PP. 409–417.
90. Elvira C., Sampedro L., Benítez E., Nogales R. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: a pilot-scale study // Bioresource Technology. 1998. Vol. 63. PP. 205–211.
91. Nafez A.H., Nikaeen M., Kadkhodaie S., Hatamzadeh M., Moghim S. Sewage sludge composting: quality assessment for agricultural application // Environmental Monitoring and Assessment. 2015. Vol. 187. 709.

92. He Xin & Zhang, Yaxin & Shen, Maocai & Tian, Ye & Zheng, Kaixuan & Zeng, Guangming. Vermicompost as a natural adsorbent: evaluation of simultaneous metals (Pb, Cd) and tetracycline adsorption by sewage sludge-derived vermicompost // *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. Vol. 24. PP. 8375–8384.
93. Huang K., Li F., Fu X., Chen X. Feasibility of a novel vermitechology using vermicast as substrate for activated sludge disposal by two epigeic earthworm species // *Agricultural Sciences*. 2013. Vol. 4. PP. 529–535.
94. Zhang J., Sugir M., Li Y., Yuan L., Zhou M., Lv P., Yu Z., Zhou D. Effects of vermicomposting on the main chemical properties and bioavailability of Cd/Zn in pure sludge // *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26. PP. 20949–20960.

References

1. Gliessman S. Evaluating the impact of agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2020;4(8):973-974. doi: 10.1080/21683565.2020.1774110.
2. Brinchuk MM. Zakony prirody kak osnova novogo mirovozzreniya [The laws of nature as the basis of a new worldview]. *Astrahanskij vestnik ehkologicheskogo obrazovaniya*. 2021;1(61):67-76. In Russian
3. Zhuravleva EV, Cedilin AN, Voronov SI. Ehkologicheskij princip tekhnosfernogo razvitiya [The ecological principle of technosphere development]. *Dostizheniya n auki i tekhniki APK*. 2021;35(11):9-14. In Russian
4. Zelenskaya TG, Korovin AA, Bezgina YuA, Okrut SV, Lysenko IO. Novye tekhnologii v rastenievodstve kak uslovie ehkologicheskoy i prodovolstvennoj bezopasnosti [New technologies in crop production as a condition for environmental and food security]. *Vestnik APK Stavropolya*. 2022;1(45):32-36. In Russian
5. O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy rossijskoj federacii v 2022 godu [On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2022]. Gosudarstvennyj doklad minprirody Rossii. Moscow: Mgu imeni Lomonosova; 2023. 686 p. In Russian
6. Gosudarstvennyj nacionalnyj doklad o sostoyanii i ispolzovanii zemel v Rossijskoj Federacii v 2022 godu. [State (national) report on the state and use of land in the Russian Federation in 2022]. Available at: https://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/doc_nation_report_2022.pdf. In Russian
7. Sostoyanie mirovyh zemelnyh i vodnyh resursov dlya proizvodstva prodovolstviya i vedeniya selskogo hozyajstva. Sistemy na predele svodnyj doklad 2021. Available at: <https://doi.org/10.4060/cb7654ru>.
8. O sostoyanii sanitarno-ehpidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v rossijskoj federacii v 2022 godu. [The state of the world's land and water resources for food production and agriculture]. Gosudarstvennyj doklad. Moscow: Federalnaya sluzhba po nadzoru v sfere zashchity prav potrebitelej i blagopoluchiya cheloveka. 2023. 368 p.
9. Oliva TV, Manohina LA, Kolesnichenko EYu. Himiko-ehkologicheskoe kachestvo vody i donnyh otlozhenij reki Valuj Belgorodskoj oblasti [Chemical and ecological quality of water and bottom sediments of the Valuy river in the Belgorod region]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2020;12:145-150. In Russian
10. Blinova EG, Chesnokova MG. Biotehnologicheskie aspekty analiza donnyh osadkov i gidrohimicheskij rezhim vodotoka [Biotechnological aspects of bottom sediment analysis and hydrochemical regime of the watercourse]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij*. 2019;10:75-80. In Russian
11. Gubarev DI, Levickaya NG, Derevyagin SS. Vliyanie izmenenij klimata na degradaciju pochv v aridnyh zonah povolzhya [The impact of climate change on soil degradation in the arid zones of the Volga region]. *Aridnye ehkosistemy*. 2022;1:20-27. In Russian
12. Ramazanova RH. Processy pochvoobrazovaniya pri globalnom izmenenii klimata i mery po ustojchivomu razvitiyu rastenievodstva v kazahstane [Soil formation processes under global climate change and measures for the sustainable development of crop production in Kazakhstan]. *Pochvovedenie i agrohimiya*. 2022;1:69-77. In Russian

13. Sushkova TYu, Ivanova NA. Ehffektivnost ispolzovaniya zemli v selskom hozyajstve regiona [The efficiency of land use in agriculture in the region]. *Ehkonomika selskogo hozyajstva Rossii*. 2021;10:39-44. In Russian
14. Garcia-Segura D, Castillo-Murrieta IM, Martinez-Rabelo F. Macrofauna and mesofauna from soil contaminated by oil extraction. *Geoderma*. 2018;332:180-189.
15. Zucca C, Fleiner R, Bonaiuti E. Land degradation drivers of anthropogenic sand and dust storms. *Catena*. 2022;219:106575.
16. Nassar SE, Said RM. Bioremediation assessment, hematological, and biochemical responses of the earthworm (*Allolobophora caliginosa*) in soil contaminated with crude oil. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28(39):54565-54574.
17. Bigaliev AB, Kozhakhmetova AN. Oil pollution and associated heavy metals, radionuclides in the body of hydrobionts of the Kazakhstan zone of the Caspian Sea. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*. 2020;331(12):60-66.
18. Slyusarevsky AV, Zinnatshina LV, Vasilyeva GK. Comparative environmental and economic analysis of methods for the remediation of oil-contaminated soils by in situ bioremediation and mechanical soil replacement. *Ecology and Industry of Russia*. 2018;22(11):40-45.
19. Hartenstein R. Earthworm Biotechnology and Global Biogeochemistry. *Advances in Ecological Research*. 1986;15:379-409.
20. Canti MG. Earthworm Activity and Archaeological Stratigraphy: A Review of Products and Processes. *Journal of Archaeological Science*. 2003;30:135-148.
21. Ilkiv N. Biologizaciya zemledeliya pregrady i perspektivy [Biologization of agriculture: obstacles and prospects]. *AgroForum*. 2022;1:24-30. In Russian
22. Stewart A. The Earth Moved: On the Remarkable Achievements of Earthworms. Paperback Algonquin Books. 2004. 204 p.
23. Zanirov AKh, lakhtanigova ZhM. K organicheskomu selskomu hozyajstvu cherez biologizaciyu [Towards organic agriculture through biologization]. *Innovacii v APK: problemy i perspektivy*. 2016;1(9):47-52. In Russian
24. Hakberdiev OEh, Shamsiddinov TSh. Degradaciya pochv i vliyanie ehrozii na agrohimicheskie svoystva pochv [Soil degradation and the effect of erosion on the agrochemical properties of soils]. *International Independent Scientific Journal*. 2020;13(2):27-29. In Russian
25. Titov IN. Vermikultura pererabotka organicheskoy frakcii othodov [Vermiculture: processing of organic waste fraction]. *Tverdye bytovye othody*. 2008;8:18-25. In Russian
26. Bhat SA, Singh S, Singh J. Bioremediation and detoxification of industrial wastes by earthworms: vermicompost as powerful crop nutrient in sustainable agriculture. *Bioresource Technol*. 2018;252:172-179.
27. Fahrudenova IB, Hamitova AS, Sergazina SM, Mustafina SH. Vermitekhnologii kak osnova ehkologicheskogo zemledeliya [Vermitechnology as the basis of ecological agriculture]. *Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii*. 2020;4:106-110. In Russian
28. Stepanova DI, Grigorev MF, Grigoreva AI. Biotekhnologicheskie osnovy povysheniya urozhajnosti i kachestva ovoshchnyh kultur v usloviyah zashchishchennogo grunta Yakutii [Biotechnological foundations for increasing the yield and quality of vegetable crops in the conditions of protected soil of Yakutia]. Yakutsk: Izdatelskij dom SVFU; 2022. 92 p.
29. Gilyarov MS, Striganova BR. Rol pochvennyh bespozvonochnyh zhivotnyh v razlozhenii rastitelnyh ostatkov i krugovorote veshchestv [The role of soil invertebrates in the decomposition of plant residues and the circulation of substances]. *Zoologiya bespozvonochnyh Pochvennaya zoologiya*. 1978;5:8-69. In Russian
30. Kurovskij AV, Babenko AS. Biogeochemicheskaya rol dozhdovyh chervej v pochvennyh ehkossistemah kratkaya istoriya issledovanij i sovremennye predstavleniya [The biogeochemical role of earthworms in soil ecosystems. a brief history of research and current views]. *Vestnik Evrazijskogo nacionalnogo universiteta imeni LN Gumileva Seriya Biologicheskie nauki*. 2022;3(140):116-129. In Russian

31. Suhanova IM, Gazizov RR, Bikkinina LMH, Yapparov IA. Tekhnologiya vermikompostirovaniya kak odno iz reshenij ehkologicheskikh problem [Vermicomposting technology as one of the solutions to environmental problems]. *Agrohimicheskij vestnik*. 2015;6:26-28. In Russian
32. Singh S, Singh J, Kandoria A, Quadar J, Bhat SA, Chowdhary AB, Pal Vig A. Bioconversion of different organic waste into fortified vermicompost with the help of earthworm: A comprehensive review. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2020;9(4):423-439.
33. Oliva TV, Kolesnichenko EYu, Panin SI, Andreeva NV. Ekologicheskie aspekty proizvodstva i primeneniya vermikomposta [Environmental aspects of vermicompost production and application]. *Aktualnye voprosy sel'skohozyajstvennoj biologii*. 2022;4(26):41-46. In Russian
34. Ptashkina-Girina OS, Telyubaev ZhB, Sheryazov SK. Pererabotka othodov zhivotnovodstva dlya ispolzovaniya ih v kachestve udobreniya [Recycling of animal husbandry waste for use as fertilizer]. *Vestnik Ir-GSKHA*. 2017;80:184-190. In Russian
35. Nafikov MM, Nigmatzyanov AR. Osobennosti proizvodstva produkci i pererabotki syrya agropromyshlennogo kompleksa po bezothodnoj tekhnologii [Features of production and processing of raw materials of the agro-industrial complex using waste-free technology]. *Ekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza*. 2019;3:55-61. In Russian
36. Kuzubov AA, Shashlo NV. Modeli ispolzovaniya othodov agrarnykh predpriyatij v obespechenii ehnergeticheskoy i ehkologicheskoy bezopasnosti [Models of the use of waste from agricultural enterprises in ensuring energy and environmental safety]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;3(70):168-176. In Russian
37. Garg VK, Suthar S, Yadav P. Management of food industry waste employ. *Bioresource Technology* 2012;126:437-443.
38. Sanchez-Hernandez JC, Sáez JA, Vico A, Moreno J, Moral R. Evaluating earthworms' potential for remediating soils contaminated with olive millwaste sediments. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2020;10(7):2624.
39. Kolesnikov GN, Gavrilov TA, Stankevich TB. Povyshenie ehffektivnosti pererabotki organicheskikh othodov sel'skogo i lesnogo hozyajstva [Improving the efficiency of processing organic waste from agriculture and forestry]. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2020;21:89-94. In Russian
40. Petrochenko KA, Kurovskij AV, Babenko AS, Yakimov YuE. Vermikompost na osnove listovogo opada perspektivnoe kalcievoe udobrenie [Vermicompost based on leaf litter is a promising calcium fertilizer] *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta Biologiya*. 2015;2(30):20-34. In Russian
41. Nawal Mekersi, Kadi K, Casini S, Lekmine S, Amari A. Effects of single and combined olive mill wastewater and olive mill pomace on the growth, reproduction, and survival of two earthworm species (*Aporrectodea trapezoides*, *Eisenia fetida*). *Applied Soil Ecology*. 2021;168:104123.
42. Grigorev MF, Stepanova DI, Grigoreva AI, Sagindykova EhU, Sidorov AA. Vozmozhnosti proizvodstva vermikompostov dlya uluchsheniya pochvosmesej zakrytogo grunta [Possibilities of production of vermicompost for improvement of soil mixtures of closed soil]. *International agricultural journal*. 2023;2:685-693. In Russian
43. Nadana GRV, Selvaraj K, Sivakumar P, Palanichelvam K. Coelomic fluid of earthworms extruded by cold stress method has commercially significant compounds and trigger seed germination in *Vigna radiata* L. *Environmental Technology and Innovation*. 2020;19:100814.
44. Zavalin AA. Biopreparaty udobreniya i urozhaj [Biologics, fertilizers and crops]. Moscow: Izd-vo VNIIA 2005. 302 p. In Russian
45. Zavalin AA, Alferov AA, Chernova LS. Associativnaya azotfiksaciya i praktika primeneniya biopreparatov v posevah sel'skohozyajstvennykh kultur [Associative nitrogen fixation and the practice of using biological products in crops]. *Agrohimiya*. 2019;8:83-96. In Russian

46. Breskina GM, Chuyan GM. Rol biopreparatov i azotnyh udobrenij v formirovanii produktivnosti grechihi v usloviyah Kurskoj oblasti [The role of biological products and nitrogen fertilizers in the formation of buckwheat productivity in the conditions of the Kursk region]. *Rossijskaya selskohozyajstvennaya nauka*. 2021;2:39-42. In Russian
47. Nakaryakov AM, Zavalin AA. Vliyanie biopreparatov i udobrenij na urozhajnost i kachestvo zerna ozimoj pshehicy na svetlo seroj lesnoj pochve [The effect of biologics and fertilizers on the yield and quality of winter wheat grain on light gray forest soil]. *Plodородie*. 2021;4(121):26-30. In Russian
48. Cykora AA, Kamenev RA, Kameneva VK. Vliyanie mineralnyh udobrenij i bakterialnyh preparatov na urozhajnost ozimogo yachmenya v usloviyah rostovskoj oblasti [The effect of mineral fertilizers and bacterial preparations on the yield of winter barley in the Rostov region]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;4(67):99-103. In Russian
49. Tereshchenko NN, Kravec AV, Akimova EE, Minaeva OM, Zotikova AP. Ehffektivnost primeneniya mikroorganizmov izolirovannyh iz koprolitov dozhdevykh chervej dlya uvelicheniya urozhajnosti zernovyh kultur [The effectiveness of the use of microorganisms isolated from earthworm coprolites to increase the yield of grain crops]. *Sibirskij vestnik selskohozyajstvennoj nauki*. 2013;5(234):10-17. In Russian
50. Glyaznecova YuS, Lifshic SH, Zueva IN, Chalaya ON. Problemy rekultivacii neftezagryaznennyh territorij [Problems of reclamation of oil-contaminated territories]. *Problemy regionalnoj ehkologii*. 2021;5:109-112. In Russian
51. Lifshic SH, Glyaznecova YuS, Chalaya ON, Zueva IN. Osobennosti transformacii neftezagryazneniya v merzlotnyh pochvah tekhnogennyh obektov Yakutii [Features of transformation of oil pollution in permafrost soils of man-made objects of Yakutia]. *Lesnoj vestnik*. 2023;27(2):112-120. In Russian
52. Zvolinskij VP, Batovskaya EK, Bondarenko AN. Ekologiya neftezagryaznennyh pochv evropejskoj chasti Rossii [Ecology of oil-contaminated soils of the European part of Russia]. *Zemledelie*. 2007;4:13-14. In Russian
53. Polyak YuM, Bakina LG. Otsenka bioraznoobraziya mikrobotsenozov neftezagryaznennykh pochv na raznykh etapakh ikh vosstanovleniya [Assessment of the biodiversity of microbial communities of oil-contaminated soils at different stages of their restoration]. In: *Pochvy i okruzhayushchaya sreda*. Sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoi 55-letiyu Institutu pochvovedeniya i agrokhimii SO RAN (Novosibirsk, 2-6 October, 2023). Novosibirsk: IPA SO RAN; 2023. pp. 565-568. doi: 10.31251/conf1-2023. In Russian
54. Kireeva NA, Novoselova EI, Grigoriadi AS. Vliyanie zagryazneniya pochv neftyu na fiziologicheskie pokazateli rastenij i rizosfernyu mikrobiotu [The effect of oil pollution on the physiological parameters of plants and rhizosphere microbiota]. *Agrohimiya*. 2009;7:71-80. In Russian
55. Borodulina TS, Polonskij VI. Vliyanie neftezagryazneniya pochvy na fiziologicheskie harakteristiki rastenij pshehicy [The effect of oil pollution of the soil on the physiological characteristics of wheat plants]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2010;5:50-55. In Russian
56. Kobzev EN, Petrikevich SB, Shkidchenko AN. Issledovanie ustojchivosti associacii mikroorganizmov neftedestruktorov v otkrytoj sisteme [Investigation of the stability of the association of microorganisms-oil destructors in an open system]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2001;4:413-417. In Russian
57. Baran S, Bielinska EJ, Oleszczuk P. Enzymatic activity in an airfield soil polluted with polycyclic aromatic hydrocarbons // *Geoderma*. 2004;118(3):221-232.
58. Kireeva NA, Tarasenko EM, Shamaeva AA, Novoselova E.I. The effect of petroleum products on the activity of gray forest soil lipase. *Pochvovedenie*. 2006;8:1005-1011. In Russian, English summary
59. Polonskij VI, Borcova IYu, Polonskaya DE et al. Vliyanie nizkih urovnej neftezagryazneniya pochvy na aktivnost oksidoreduktaz [The effect of low levels of oil

- pollution of the soil on the activity of oxidoreductases]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2011; № 6:90-94. In Russian
60. Girich IE, Aleshina NYu, Karasev SG et al. Bioremediaciya chernozemnoj pochvy zagryaznennoj neftyu [Bioremediation of chernozem soil contaminated with oil]. *Biotekhnologiya*. 2005;2:67-72. In Russian
61. Rahimova EhR, Osipova AL, Zaripova SK. Ochistka pochvy ot nefryanogo zagryazneniya s ispolzovaniem denitrificiruyushchih uglevodorodokislyayushchih mikroorganizmov [Soil purification from oil pollution using denitrifying hydrocarbon-oxidizing microorganisms]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2004;40(6):649-653. In Russian
62. Bodour AA, Guerrero-Barajas C, Jiorle BV et al. Structure and characterization of flavolipids, a novel class of biosurfactants produced by *Flavobacterium* sp. strain MTN11. *Applied and Environmental Microbiology*. 2004;70:114-120.
63. Vetrova AA, Nechaeva I.A., Ignatova AA et al. Vliyanie katabolicheskikh plazmid na fiziologicheskie parametry bakterij roda *Pseudomonas* i ehffektivnost biodestrukcii nefiti [The effect of catabolic plasmids on the physiological parameters of *Pseudomonas* bacteria and the efficiency of oil biodegradation]. *Mikrobiologiya*. 2007;76(3):354-360. In Russian
64. Zlotnikov KM, Zlotnikov AK, Sadovnikova LK et al. Biopreparat Albit dlya rekultivacii zagryaznennykh neftyu pochv [Albit biopreparation for reclamation of oil-contaminated soils]. *Vestnik RASKHN*. 2007;1:65-67. In Russian
65. Archeгова IB, Habibullina FM, Shchubakov AA. Optimizaciya ochistki pochvy i vodnykh obektov ot nefiti s pomoshchyu biosorbentov [Optimization of soil and water purification from oil using biosorbents]. *Sibirskij ehkologicheskij zhurnal*. 2012;6:769-776. In Russian
66. Pisarchuk AD, Tereshchenko NN, Lushnikov SV. The effectiveness of the use of *Pseudomonas putida* hydrocarbon-oxidizing bacteria and a sorbent based on modified vermicompost for detoxification of oil-contaminated soil. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta Biologiya*. 2011; 3(15):180-182. In Russian, English summary
67. Smolnikova VV. Vyzhivanie dozhdevykh chervej v usloviyakh nefryanogo zagryazneniya [Survival of earthworms in conditions of oil pollution]. *Vestnik Severo Kavkazskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011;1:95-99. In Russian
68. Wang Z, Chen Z, Niu Y, Ren P, Hao M. Feasibility of vermicomposting for spent drilling fluid from a nature-gas industry employing earthworms *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021;214:111994.
69. Zelenskaya TG, Bezgina YuA, Korovin AA, Smolnikova VV, Stepanenko EE. Potencialnye vozmozhnosti vermiremediacii pochv zagryaznennykh nefteproduktami [Potential possibilities of vermiremediation of soils contaminated with petroleum products]. *Agrohimicheskij vestnik*. 2022;4:65-72. In Russian
70. Stom DI, Potapov DS, Balayan AEh, Matveeva ON. Transformaciya nefiti v pochve mikrobiologicheskim preparatom i dozhdevnymi chervyami [Transformation of oil in the soil by microbiological preparation and earthworms]. *Pochvovedenie*. 2003;36:359-361. In Russian
71. Geissen V, Gomez-Rivera P, Lwanga E, Mendoza R, Narcias AT, Marcias EB. Using earthworms to test the efficiency of remediation of oil-polluted soil in tropical Mexico. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2008;71:638-642.
72. Javed F, Hashmi I. Vermiremediation-Remediation of Soil Contaminated with Oil Using Earthworm (*Eisenia fetida*). *Soil and Sediment Contamination*. 2021;30(6):639-662.
73. Rajadurai M, Karmegam N, Kannan S, Yuvaraj A, Thangaraj R. Vermiremediation of engine oil contaminated soil employing indigenous earthworms, *Drawida modesta* and *Lampito mauritii*. *Journal of Environmental Management*. 2022; 301:113849.
74. Chachina SB, Chachina EP, Tihonov VM. Bioremediaciya pochv zagryaznennykh nefteshlamom 50 g kg s ispolzovaniem biopreparatov i vermikultury dozhdevykh chervej [Bioremediation of soils contaminated with oil sludge 50 g/kg using biologics and vermiculture of earthworms]. In: *Ekologicheskie problemy regiona i puti ih razresheniya*

- Materialy XV Mezhdunarodnoj nauchno prakticheskoy konferencii Pod obshchej redakciej E.Yu. Tyumencevoj. Omsk; 2021. pp. 24-28. In Russian
75. Muhortov DI, Uskova VV. Optimizaciya parametrov verмикompostirovaniya osadkov stochnyh vod razlichayushchihся po toksichnosti [Optimization of the parameters of vermicomposting of sewage sludge, differing in toxicity]. *Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta Seriya Les Ekologiya Prirodopolzovanie*. 2008;2:60-71. In Russian
 76. Vetchinnikov AA, Titova VI, Baranov AI. Ocenka vozmozhnosti ispolzovaniya donnyh otlozhenij pruda dlya rekultivacii tekhnogenno narushennyh pochv [Assessment of the possibility of using the bottom sediments of the pond for the reclamation of technogenically disturbed soils]. *Agrohimicheskij vestnik*. 2018;2:50-53. In Russian
 77. Baran A, Tarnawski M, Urbaniak M. An assessment of bottom sediment as a source of plant nutrients and an agent for improving soil properties. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2019;18(8):1647-1656.
 78. Mezheva AS. Prakticheskoe primenenie osadka stochnyh bytovykh vod na primere vozdeystviya saflora krasilnogo [Practical application of sewage sludge on the example of cultivation of safflower dye]. *Melioraciya i gidrotekhnika*. 2022;12(2):53-67. In Russian
 79. Ganin GN. Vliyaniye zemlyanykh chervej na sodержanie tyazhelykh metallov i myshyaka v osadke stochnyh vod pri ego kompostirovanii [The effect of earthworms on the content of heavy metals and arsenic in sewage sludge during its composting]. *Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoy nauki*. 2015;7(1):95-101. In Russian
 80. Ibragimova DV, Guselnikova MV, Nakonechnyj NV. Ispolzovanie netraditsionnykh organicheskikh othodov pri verмикompostirovanii v zakrytom grunte v usloviyakh goroda Surguta [The use of non-traditional organic waste during vermicomposting in the closed ground in the conditions of the city of Surgut]. *Samarskij nauchnyy vestnik*. 2021;10(1):80-85. In Russian
 81. Korovin AA, Zelenskaya TG, Stepanenko EE, Okrut SV, Hasaj NYu. Bioremediaciya donnyh otlozhenij rek kak sposob povysheniya plodorodiya pochv [Bioremediation of river bottom sediments as a way to increase soil fertility]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;2(73):71-78. doi: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_71. In Russian
 82. Korovin AA, Golembovskij VV, Surov AI. Poluchenie verмикomposta iz othodov selskohozyajstvennogo proizvodstva i ilovykh osadkov stochnyh vod [Production of vermicompost from agricultural waste and sludge sewage sludge]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;11(229):39-44. doi: 10.53083/1996-4277-2023-229-11-39-44. In Russian
 83. Lv B, Xing M, Yang J. Exploring the effects of earthworms on bacterial profiles during vermicomposting process of sewage sludge and cattle dung with high-throughput sequencing. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25:12528-12537.
 84. Yadav A, Garg VK. Industrial wastes and sludges management by vermicomposting. *Rev Environmental Science Biotechnology*. 201;10:243-276.
 85. Žaltauskaitė J, Kniuipytė I, Praspaliauskas M. Earthworm *Eisenia fetida* potential for sewage sludge amended soil valorization by heavy metal remediation and soil quality improvement. *Journal of Hazardous Materials*. 2022;424:127316.
 86. Hait S, Tare V. Optimizing vermistabilization of waste activated sludge using vermicompost as bulking material. *Waste management*. 2011;31(3):502-511.
 87. Ludibeth S-M, Marina I-E, Vicenta EM. Vermicomposting of Sewage Sludge: Earthworm Population and Agronomic Advantages. *Compost Science & Utilization*. 2012;20(1):11-17.
 88. Rodríguez-Canché LG, Cardoso Vigueros L, Maldonado-Montiel T, Martínez-Sanmiguel M. Pathogen reduction in septic tank sludge through vermicomposting using *Eisenia fetida*. *Bioresource technology*. 2010;101(10):3548-3553.
 89. Villar I, Alves D, Pérez-Díaz D, Mato S. Changes in microbial dynamics during vermicomposting of fresh and composted sewage sludge. *Waste management*. 2016;48:409-417.
 90. Elvira C, Sampedro L, Benitez E, Nogales R. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: a pilot-scale study. *Bioresource Technology*. 1998;63:205-211.

91. Nafez AH, Nikaeen M, Kadkhodaie S, Hatamzadeh M, Moghim S. Sewage sludge composting: quality assessment for agricultural application. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015;187:709.
92. He Xin & Zhang, Yaxin & Shen, Maocai & Tian, Ye & Zheng, Kaixuan & Zeng, Guangming. Vermicompost as a natural adsorbent: evaluation of simultaneous metals (Pb, Cd) and tetracycline adsorption by sewage sludge-derived vermicompost. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017;24:8375-8384.
93. Huang K, Li F, Fu X, Chen X. Feasibility of a novel vermitechology using vermicast as substrate for activated sludge disposal by two epigeic earthworm species. *Agricultural Sciences*. 2013;4:529-535.
94. Zhang J, Sugir M, Li Y, Yuan L, Zhou M, Lv P, Yu Z, Zhou D. Effects of vermicomposting on the main chemical properties and bioavailability of Cd/Zn in pure sludge. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;26:20949-20960.

Информация об авторах:

Коровин Андрей Анатольевич, д-р мед. наук, в.н.с. Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра (Михайловск, Россия).

E-mail: abv20korovin@yandex.ru

Голембовский Владимир Владимирович, канд. с.-х. наук, в.н.с. Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра (Михайловск, Россия).

E-mail: vvh26@yandex.ru

Бабенко Андрей Сергеевич, д-р биол. наук, заведующий кафедрой сельскохозяйственной биологии Национального исследовательского Томского государственного университета (Томск, Россия).

E-mail: andrey.babenko.56@mail.ru

Куровский Александр Васильевич, канд. биол. наук, доцент кафедры сельскохозяйственной биологии Национального исследовательского Томского государственного университета (Томск, Россия).

E-mail: a.kurovskii@yandex.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Andrey A. Korovin, Dr. Sci. (Med.), Leading Researcher North Caucasus Federal Agrarian Research Centre (Stavropol Region, Mikhailovsk, Russian Federation).

E-mail: abv20korovin@yandex.ru.

Vladimir V. Golembowski, Cand. Sci. (Agr.), Leading Researcher North Caucasus Federal Agrarian Research Centre (Stavropol Region, Mikhailovsk, Russian Federation).

E-mail: vvh26@yandex.ru.

Andrey S. Babenko, Dr. Sci. (Biol.), Head of Agricultural Biology Department, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation)

E-mail: andrey.babenko.56@mail.ru

Alexander V. Kurovsky, Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Agricultural Biology Department, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation)

E-mail: a.kurovskii@yandex.ru

The Authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 01.04.2024;
одобрена после рецензирования 25.04.2024; принята к публикации 28.12.2024.*

*The article was submitted 01.04.2024;
approved after reviewing 25.04.2024; accepted for publication 28.12.2024.*