

## ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО/GENERAL AGRICULTURE AND CROP PRODUCTION

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.24>

## ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПРЕИМУЩЕСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Научная статья

Монастырский Д.<sup>1,\*</sup>, Куликова М.А.<sup>2</sup>, Волчек А.<sup>3</sup><sup>2</sup>ORCID : 0000-0003-4000-0040;<sup>1,2,3</sup> Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (danya.monastyrskij.95[at]mail.ru)

## Аннотация

Гранулированные органоминеральные удобрения (ОМУ) представляют собой эффективное решение для современного сельского хозяйства, сочетающее безопасность, универсальность, экономическую выгоду и удобство применения. Они обеспечивают уменьшение вымывания минеральных веществ в грунтовые воды, повышают биологическую активность почвы и поддерживают её плодородие. Благодаря высокому высвобождению и усвояемости питательных элементов, ОМУ обеспечивают сбалансированное питание растений и соответствуют большинству культур в различных климатических и почвенных условиях. Их использование снижает затраты на внесение удобрений, повышает урожайность и позволяет изменять состав механическим способом, при этом добиться продления срока хранения без потерь качества. Область применения ОМУ включает ведение хозяйства, ландшафтное озеленение, восстановление почв, частное сельское хозяйство и органическое земледелие. Исследования показывают, что комбинированное применение ОМУ даёт наиболее благоприятные результаты, улучшая параметры роста и урожайности растений. ОМУ способствуют увеличению урожайности зерновых, овощных и фруктово-ягодных культур, повышению содержания сахаров и витаминов в плодах, а также улучшению качества продукции и сохранению окружающей среды. Производство ОМУ из различных отходов, таких как осадки сточных вод и отходы свинокомплексов, позволяет утилизировать эти материалы и создавать эффективные удобрения, которые могут заменить традиционные минеральные удобрения. В целом, гранулированные органоминеральные удобрения представляют собой устойчивое и экологически безопасное решение для повышения урожайности и качества сельскохозяйственной продукции, способствуя сохранению окружающей среды и устойчивому развитию сельского хозяйства.

**Ключевые слова:** гранулированные органоминеральные удобрения, урожайность, восстановление почв, фосфор, экологическая безопасность, минеральные удобрения, органические удобрения, компостирование.

## CHARACTERISTICS, ADVANTAGES AND APPLICATION OF GRANULAR ORGANOMINERAL FERTILISERS

Research article

Monastirskii D.<sup>1,\*</sup>, Kulikova M.A.<sup>2</sup>, Volchek A.<sup>3</sup><sup>2</sup>ORCID : 0000-0003-4000-0040;<sup>1,2,3</sup> South Russian State Polytechnic University named after M.I. Platonov, Novocherkassk, Russian Federation

\* Corresponding author (danya.monastyrskij.95[at]mail.ru)

## Abstract

Granular Organic Mineral Fertilisers (GOMF) are an effective solution for modern agriculture, combining safety, universality, economic benefits and ease of use. They reduce the leakage of minerals into groundwater, increase the biological activity of the soil and maintain its fertility. Due to high release and assimilability of nutrient elements, GOMFs provide balanced plant nutrition and are suitable for most crops in different climatic and soil conditions. Their use reduces fertiliser costs, increases yields and allows for mechanical changes in composition, while extending shelf life without loss of quality. Applications of GOMFs include farming, landscaping, soil restoration, private farming and organic farming. Studies show that the combined application of GOMFs gives the most favourable results, improving plant growth and yield parameters. They contribute to increasing yields of cereals, vegetables and fruit and berry crops, increasing sugars and vitamins in fruits, as well as improving product quality and preserving the environment. The production of GOMF from various wastes, such as sewage sludge and waste from pig farms, makes it possible to recycle these materials and create effective fertilisers that can replace traditional mineral fertilisers. Overall, granular organomineral fertilisers provide a sustainable and environmentally friendly solution to increase yields and quality of agricultural products, contributing to environmental conservation and sustainable agricultural development.

**Keywords:** granulated organomineral fertilisers, crop yields, soil restoration, phosphorus, environmental safety, mineral fertilisers, organic fertilisers, composting.

## Введение

Гранулированные органоминеральные удобрения представляют собой эффективное решение для сельского хозяйства благодаря своей безопасности, универсальности, экономической выгоде и удобству применения. Они обеспечивают уменьшение вымывания минеральных веществ в грунтовых водах, повышают биологическую активность почвы и поддерживают её плодородие. Благодаря высокому высвобождению и усвояемости питательных

элементов удобрения обеспечивают сбалансированное питание растений и соответствуют большинству культур в различных климатических и почвенных условиях. Их использование снижает затраты на внесение удобрений, повышает урожайность и позволяет изменять состав механическим способом, при этом добиться продления срока хранения без потерь качества. Область применения включает ведение хозяйства, ландшафтное озеленение, восстановление почв, частное сельское хозяйство и органическое земледелие. Применение таких удобрений повышает урожайность, улучшает качество продукции и способствует сохранению окружающей среды.

Сегодня производители сельскохозяйственных культур стремятся увеличить как урожайность, так и качество своей продукции. Исследования продемонстрировали значительное влияние обработки удобрениями на рост, урожайность и качественные параметры растений. В целом, комбинированное применение удобрений даёт наиболее благоприятные результаты и демонстрирует наибольшее влияние на параметры роста и урожайности. Были получены зависимости между содержанием питательных веществ в плодах, указывающие на положительную или отрицательную связь между переменными. Гранулированные органоминеральные удобрения широко применяются в сельском хозяйстве, озеленении, благоустройстве территорий, рекультивации, частном садоводстве, органических земледелиях и для улучшения методов восстановления почвы. В сельском хозяйстве они увеличивают урожайность зерновых (пшеница, кукуруза, ячмень), овощных (салаты, томаты, морковь, свёкла) и фруктово-ягодных культур, повышение содержания сахаров и витаминов в плодах. В озеленении удобрения добавляют густоту газонов, насыщенность их цвета, а также укрепляют декоративные растения. Они восстанавливают плодородие деградированных земель и повышают их устойчивость к эрозии. В обычном садоводстве они применяются для выращивания экологически чистых продуктов и эффективной подкормки растений в теплицах. Удобрения соответствуют требованиям органического земледелия и обеспечивают сбалансированное питание культур в течение всего сезона. Их внесение возможно, как механизированным, так и ручным способом, с учетом сезонности: весной для активного роста, осенью для подготовки грунта и в течение сезона для подкормки. На данный момент существует множество способов и технологий производства гранулированных органоминеральных удобрений, в том числе при переработке отходов различных производств.

Интенсивные методы ведения сельского хозяйства для удовлетворения текущего мирового спроса на продовольствие являются основной причиной ухудшения качества почвы и загрязнения окружающей среды. В традиционном сельском хозяйстве используются синтетические удобрения, которые могут повлиять на здоровье почвы и привести к загрязнению окружающей среды. Таким образом, сельскохозяйственное производство становится актуальной проблемой для окружающей среды. Различные сельскохозяйственные ресурсы могут улучшить здоровье почвы при снижении загрязнения окружающей среды. Доступен широкий спектр сельскохозяйственных ресурсов, среди которых органоминеральные удобрения (ОМУ) могут быть подходящими ресурсами для устойчивого сельского хозяйства. Органоминеральные удобрения обеспечивают медленное и равномерное высвобождение питательных веществ в течение всего вегетационного периода, что приводит к более высокой эффективности использования питательных веществ и урожайности. Кроме того, органическая часть является секвестром углерода и, таким образом, улучшает здоровье почвы, повышает урожайность сельскохозяйственных культур и смягчает загрязнение окружающей среды. Основная цель этого обзора – предоставить всесторонний научный анализ того, что сейчас известно о влиянии применения ОМУ на характеристики почвы, выбросы парниковых газов и их влияние на сельскохозяйственные культуры. Этот обзор стремится предоставить прочную научную основу для принятия политических решений, выделить пробелы в знаниях и предложить дополнительные исследования по применению ОМУ в почвах [2].

Биоуголь из осадка сточных вод – это многокомпонентное удобрение с очень низкой концентрацией калия. Его обогащали  $KCl$  и  $K_2SO_4$  с использованием трех технологических методов (гранулы, пеллеты и порошки). Обогащение калием обеспечивало содержание  $K_2O$  примерно в 75 раз выше, чем у чистого Биоуголь из осадка сточных вод. Органоминералы в форме порошка имели более высокие уровни общего азота, кальция, серы, фосфора и более высокий pH, чем гранулы и пеллеты. Морфология и физические характеристики обогащенных удобрений из осадка сточных вод в большей степени зависели от формы удобрения, чем от источника калия, количества исходного сырья и технологии обогащения [3]. Когда биосолиты подвергаются термической обработке для борьбы со стойкими загрязняющими веществами, вызывающими беспокойство (например, микропластиком), и использования извлеченных питательных веществ и биоугля, полученного в результате термической обработки, в новых органоминеральных удобрениях, которые соответствуют конкретным требованиям к оборудованию, культурам и почвам широкомасштабного земледелия. Возможности включают более эффективные технологии сохранения, извлечения и повторного использования питательных веществ из осадка сточных вод и биологических отходов, а также производство органоминеральных удобрений с характеристиками, обеспечивающими их надежное широкое применение в широкомасштабном сельском хозяйстве [4].

Для лучшего понимания динамики фосфора в почве и оптимизации стратегий удобрения. Использование нового модуля обеспечивает эффективные средства для оценки доступного для растений фосфора при различных режимах удобрения. Это позволяет оценивать реакцию культур и устанавливает прочную связь между теоретическим пониманием и практическими полевыми наблюдениями. Результаты показывают, что использование как органических, так и минеральных удобрений может поддерживать или даже улучшать уровни фосфора в почве и урожайность культур, предлагая жизнеспособную альтернативу использованию исключительно минеральных удобрений. Это особенно ценно для регионов, сталкивающихся с проблемами истощения фосфора и снижения плодородия почв [5].

Производство органоминеральных фосфатных удобрений (ОФУ) из птичьего помета (ПП) было предложено для снижения зависимости от запасов фосфора. Смесь ПП с тройным суперфосфатом в качестве ОФУ привела к высококонцентрированным точкам фосфора, рассеянным на низкоконцентрированном фоне, тогда как при обработке тройным суперфосфатом более высокая концентрация фосфора была равномерно распределена в гранулах, не было никакой разницы в урожайности кукурузы и извлечении P из удобрения между источниками фосфора в обеих почвах.

Не было никакой разницы между удобрениями в любом из проб почвенного фосфора, но более крупные легко фитодоступные фракции фосфора и более мелкие умеренно лабильные фракции фосфора были получены с ОФУ. Содержание фосфора было больше при использовании тройного суперфосфата. Тем не менее, кислотная, щелочная и микробная активности биомассы были затронуты источником фосфора. Результаты показывают, что ОФУ является эффективной заменой обычных фосфатных удобрений, поскольку ОФУ способствует восстановлению фосфора, усвоению фосфора растениями и росту урожайности биомассы по сравнению с тройным суперфосфатом [6].

Органоминеральные фосфатные удобрения (ОФУ) могут снижать скорость высвобождения фосфата и его прямой контакт с твердой фазой почвы, повышая эффективность удобрения фосфором. Оценка влияния гранулированного биоугля (ВУ) с тройным суперфосфатом в двух формах (смесь или покрытие) и трех пропорциях (5, 15 и 25%, по весу) на кинетику высвобождения фосфором и рост растений. Последовательное испытание растений с использованием двух почв с контрастной буферной способностью фосфора (0, 20, 40, 80 и 120 мг) было настроено на исследование агрономической эффективности ОФУ, который показал самую медленную кинетику высвобождения фосфора. Кинетический тест показал, что в течение первых 1,5 ч тройным суперфосфатом, смесь ОФУ и покрытые ОФУ удобрения выделили 92, 82 и 36% от общего количества фосфора соответственно. Таким образом, добавление органоминерального фосфатного удобрения к тройным суперфосфатом снизило скорость высвобождения фосфором, в основном из-за покрытия. Удобрения, покрытые 15% и 25% гранулированного, показали самую медленную скорость высвобождения фосфора. Для испытания растений был выбран 15%, поскольку он требует меньше гранулированного биоугля по сравнению с удобрением 25%. В первом урожае 15% обеспечил растения большим количеством фосфором, особенно в почве с высокой буферной емкостью фосфора, что увеличило на 10% и 20% поглощение фосфора и его восстановление растением по сравнению с тройным суперфосфатом соответственно. В песчаной почве удобрения 15% и тройным суперфосфатом показали одинаковые показатели относительно урожайности и поглощения. При последовательном возделывании, независимо от типа почвы, источники фосфора 15% и тройным суперфосфатом не различались по урожайности, усвоению фосфора. Таким образом, органоминеральное фосфатное удобрение на основе биоугля может повысить эффективность использования фосфора в почвах, увеличивая извлечение и поглощение фосфора по сравнению с тройным суперфосфатом [7].

Гранулированное органоминеральное удобрение ГОМУ, произведенное путем физического смешивания отходов свалочной бумаги и целлюлозной промышленности, компостируемых в течение длительного периода, с моноаммонийфосфатом (МАР), с упором на его морфологические свойства и выделение фосфата в воду. Органическая основа, используемая в составе ГОМУ, богата гуминовыми и фульвокислотами из-за ее длительного компостирования, восстанавливает баланс органического вещества почвы и устраняет критическую экологическую ответственность. Большинство гранул ГОМУ и моноаммонийфосфатом имеют размер от 2 до 4 мм, с шероховатыми и макропористыми поверхностями, наблюдаемыми с помощью сканирующей электронной микроскопии. Значения удельной площади поверхности удобрений низкие по сравнению с другими удобрениями с различными органическими матрицами. Однако гранулы размером 2–4 мм демонстрируют схожие значения, что указывает на однородность гранул. Инфракрасная спектроскопия выявляет полосы от минеральных и органических оснований с возможными добавками глины, подтвержденными кремнием, обнаруженным в анализе энергодисперсионной спектроскопии. Термогравиметрические кривые демонстрируют улучшенную термическую стабильность для ГОМУ по сравнению с компостированной органической основой с повышением на 31 °C на второй стадии разложения и задержкой завершения последующих стадий. Однако это не оказало существенного влияния на разложения фосфата аммония, поскольку ГОМУ продемонстрировал схожее термическое поведение с моноаммонийфосфатом. ГОМУ и моноаммонийфосфатом демонстрируют схожие кинетические профили с быстрым высвобождением фосфора в течение первых 4 часов, достигая около 77% от доступного фосфора. ГОМУ показывает увеличение удельной площади поверхности в 29 раз после 240 часов контакта с водой, что облегчает высвобождение фосфора из коммерческой смеси. моноаммонийфосфатом и ГОМУ демонстрируют скорость высвобождения, превышающую 84%, что указывает на быструю доступность фосфата. Эти значения сопоставимы со значениями других органоминеральных удобрений. Результаты показывают, что ГОМУ действует аналогично моноаммонийфосфатом, с более низкими дозировками фосфора, восстановлением баланса органического вещества почвы и повышенной эффективностью внесения питательных веществ. Удобрения с медленным и контролируемым высвобождением считаются новыми и революционными подходами в области синтеза удобрений, как экономичная и экологически чистая альтернатива химическим удобрениям. Однако не существует консолидированной, идеальной и институционализированной основы классификации [8], [9].

Для исследования использовались удобрения, полученные из сточных вод свиноккомплексов. Сточные воды подвергаются реагентной обработке, обезвоживанию, сушке и гранулированию для удобного и эффективного внесения в почву. Использование вакуумных медов сушки показало свою эффективность при абсолютном давлении 65-75 Па и температуре 50-60°C. Выявлены преимущества вакуумной сушки, заключающиеся в сокращении времени процесса более, чем в 2 раза и снижения влажности удобрения до 13-15% [11].

### Основные результаты

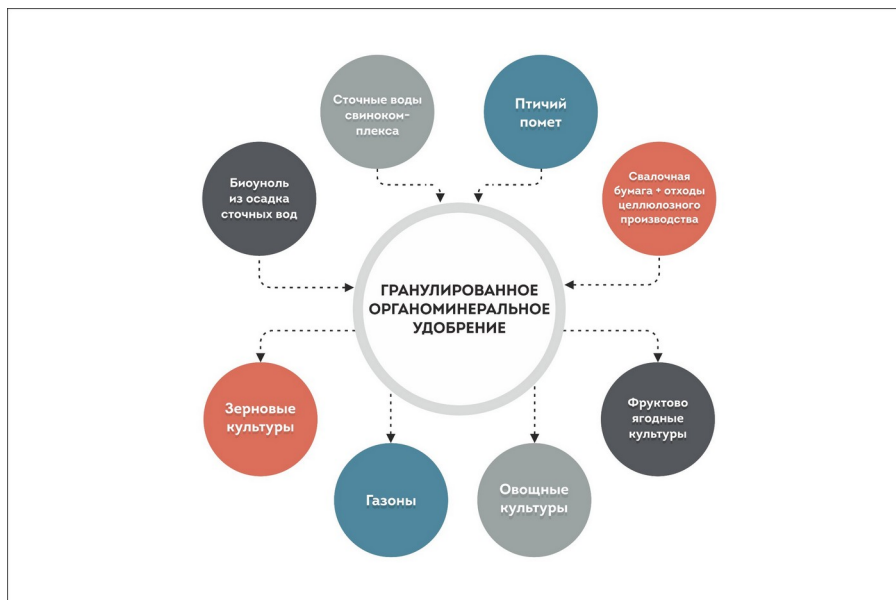


Рисунок 1 - Структурная схема получения и использования гранулированных органоминеральных удобрений  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.24.1>

Эффективность гранулированных органоминеральных удобрений (ОМУ) в сравнении с другими типами удобрений зависит от распространения факторов, включая тип почвы, выращиваемую культуру, климатические условия и цели применения. Действие ОМУ заключается в постепенном высвобождении питательных веществ, что обеспечивает стабильное питание растений, снижает риск вымывания веществ и продлевает эффект удобрений. Их сбалансированный состав сочетает органику, улучшающую структуру почвы, и минералы, обеспечивающие доступные питательные элементы. Минеральные удобрения способствуют быстрому восполнению дефицита питательных элементов благодаря высокому содержанию активных веществ. Разнообразие форм и использование в механизированном внесении делают их популярным выбором. Однако эти улучшения при быстром вымывании не улучшают структуру поля и могут повысить риск засоления почв при усиленном применении. Органические удобрения, такие как навоз и компост, формируют структуру почвы, удержание влаги и развитие полезной микрофлоры. Они безопасны для экологии, но имеют низкий уровень содержания питательных веществ, требуют больших объемов ухода и длительного времени для разработок. Кроме того, при их использовании возможен риск изменения сорняков и патогенов. Жидкие удобрения не улучшают структуру почвы и имеют высокий риск вымывания. Бактериальные и биологические препараты стимулируют естественные процессы почвообразования и азотфиксации, снижая потребность в минеральных удобрениях, но их эффективность зависит от условий окружающей среды. Сравнительная эффективность показывает, что ОМУ универсальны и соответствуют большинству типов почв и культур, поскольку сочетают преимущества методов и минеральных удобрений. Минеральные удобрения дают мгновенный эффект, но не решают долгосрочных проблем с почвой. Органические удобрения необходимы для повышения плодородия почвы, но не предназначены для быстрого роста растений. Жидкие удобрения хороши для срочного устранения недостатков в питании, бактериальные препараты перспективны в биологическом земледелии, но требуют соблюдения других мер.

Органическая составляющая органоминеральных удобрений включает компост, торф, навоз и биогумус. Минеральная составляющая включает азот для роста зелёной массы, фосфор для деления клеток и корнеобразования, калий для устойчивости растений и повышения урожая, кальций, магний и серу для физиологических процессов, а также микроэлементы для фотосинтеза и дыхания. Гранулометрический состав определяет размер частиц удобрения (оптимально 2–4 мм). Механическая прочность гранул зависит от состава сырья, технологии производства и условий сушки.

### Заключение

Гранулированные органоминеральные удобрения (ОМУ) представляют собой многообещающее решение для современного сельского хозяйства, сочетающее в себе преимущества как органических, так и минеральных удобрений. Исследования показывают, что ОМУ обеспечивают постепенное и равномерное высвобождение питательных веществ, что способствует стабильному питанию растений и снижению риска вымывания минеральных веществ в грунтовые воды. Это, в свою очередь, поддерживает биологическую активность почвы и её плодородие, что особенно важно для устойчивого земледелия. ОМУ демонстрируют высокую экономическую выгоду и удобство применения, позволяя снизить затраты на внесение удобрений и повысить урожайность различных культур. Их использование способствует улучшению качества продукции и сохранению окружающей среды, что делает их привлекательными для широкого спектра применений, включая ведение хозяйства, ландшафтное озеленение, восстановление почв, частное сельское хозяйство и органическое земледелие. Производство ОМУ из различных отходов, таких как осадки сточных вод и отходы свиномкомплексов, позволяет не только утилизировать эти материалы, но и создавать эффективные удобрения, которые могут заменить традиционные минеральные удобрения. Это особенно актуально в контексте глобальных проблем истощения фосфора и снижения плодородия почв. В целом, гранулированные органоминеральные удобрения

представляют собой устойчивое и экологически безопасное решение для повышения урожайности и качества сельскохозяйственной продукции, способствуя сохранению окружающей среды и устойчивому развитию сельского хозяйства.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Kouam I.D. Influence of organic and mineral fertilizers and a foliar biostimulant on the yield and nutritional quality of strawberries (*Fragaria Xananassa* Duch.) under field conditions / I.D. Kouam, S. Moungang, H.I. Koulagna [et al.] // *Biochemical Systematics and Ecology*. — 2024. — Vol. 117. — P. 104917. — DOI: 10.1016/j.bse.2024.104917
2. Uddin M.K. Organo-mineral fertilizer to sustain soil health and crop yield for reducing environmental impact: A comprehensive review / M.K. Uddin, B.K. Saha, V.N.L. Wong // *European Journal of Agronomy*. — 2025. — Vol. 162. — P. 127433. — DOI: 10.1016/j.eja.2024.127433
3. Fachini J. Novel K-enriched organomineral fertilizer from sewage sludge-biochar: Chemical, physical and mineralogical characterization / J. Fachini, C.C. de Figueiredo, J.J. Frazão [et al.] // *Waste Management*. — 2021. — Vol. 135. — P. 98–108. — DOI: 10.1016/j.wasman.2021.08.032
4. Marchuk S. Biosolids-derived fertilisers: A review of challenges and opportunities / S. Marchuk, S. Tait, P. Sinha [et al.] // *Science of The Total Environment*. — 2023. — Vol. 875. — P. 162555. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.162555
5. Mohammed G. Simulation of soil phosphorus dynamics and crop yield for organic and mineral fertilization treatments at two long-term field sites / G. Mohammed, N. Siebers, I. Merbach [et al.] // *Science of The Total Environment*. — 2024. — Vol. 957. — P. 177517. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.177517
6. Frazão J.J. Agronomic effectiveness of a granular poultry litter-derived organomineral phosphate fertilizer in tropical soils: Soil phosphorus fractionation and plant responses / J.J. Frazão, V. de Melo Benites, J.V.S. Ribeiro [et al.] // *Geoderma*. — 2019. — Vol. 337. — P. 582–593. — DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.10.004
7. Pogorzelski D. Biochar as composite of phosphate fertilizer: Characterization and agronomic effectiveness / D. Pogorzelski, J.F. Lustosa Filho, P.C. Matias [et al.] // *Science of The Total Environment*. — 2020. — Vol. 743. — P. 140604. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140604
8. Монастырский Д. Повышение эффективности сельскохозяйственного производства за счет эффективного применения гранулированных удобрений / Д. Монастырский, М.А. Куликова, А. Волчек // *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2023. — № 7(145). — С. 12–18. — DOI: 10.23670/IRJ.2023.145.7.002 [in Russian]
9. Al-Rawajfeh A.E. Chapter 4 - Characteristics and types of slow- and controlled-release fertilizers / A.E. Al-Rawajfeh, M.R. Alrbaihat, E.M. AlShamaileh // *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture*. — 2021. — P. 57–78. — DOI: 10.1016/B978-0-12-819555-0.00004-3
10. Sobreira H.A. Commercial organomineral fertilizer produced through granulation of a blend of monoammonium phosphate and pulp and paper industry waste post-composting / H.A. Sobreira, M.V. Ferreira, A.M. de Faria // *Industrial Crops and Products*. — 2024. — Vol. 222, Part 3. — P. 119816. — DOI: 10.1016/j.indcrop.2024.119816
11. Monastyrskiy D.I. Studies of the features of vacuum drying of organic-mineral fertilizers / D.I. Monastyrskiy, M.A. Kulikova, T.A. Kolesnikova // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. — 2022. — Vol. 981. — P. 022015. — DOI: 10.1088/1755-1315/981/2/022015

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Kouam I.D. Influence of organic and mineral fertilizers and a foliar biostimulant on the yield and nutritional quality of strawberries (*Fragaria Xananassa* Duch.) under field conditions / I.D. Kouam, S. Moungang, H.I. Koulagna [et al.] // *Biochemical Systematics and Ecology*. — 2024. — Vol. 117. — P. 104917. — DOI: 10.1016/j.bse.2024.104917
2. Uddin M.K. Organo-mineral fertilizer to sustain soil health and crop yield for reducing environmental impact: A comprehensive review / M.K. Uddin, B.K. Saha, V.N.L. Wong // *European Journal of Agronomy*. — 2025. — Vol. 162. — P. 127433. — DOI: 10.1016/j.eja.2024.127433
3. Fachini J. Novel K-enriched organomineral fertilizer from sewage sludge-biochar: Chemical, physical and mineralogical characterization / J. Fachini, C.C. de Figueiredo, J.J. Frazão [et al.] // *Waste Management*. — 2021. — Vol. 135. — P. 98–108. — DOI: 10.1016/j.wasman.2021.08.032
4. Marchuk S. Biosolids-derived fertilisers: A review of challenges and opportunities / S. Marchuk, S. Tait, P. Sinha [et al.] // *Science of The Total Environment*. — 2023. — Vol. 875. — P. 162555. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.162555
5. Mohammed G. Simulation of soil phosphorus dynamics and crop yield for organic and mineral fertilization treatments at two long-term field sites / G. Mohammed, N. Siebers, I. Merbach [et al.] // *Science of The Total Environment*. — 2024. — Vol. 957. — P. 177517. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.177517

6. Frazão J.J. Agronomic effectiveness of a granular poultry litter-derived organomineral phosphate fertilizer in tropical soils: Soil phosphorus fractionation and plant responses / J.J. Frazão, V. de Melo Benites, J.V.S. Ribeiro [et al.] // *Geoderma*. — 2019. — Vol. 337. — P. 582–593. — DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.10.004
7. Pogorzelski D. Biochar as composite of phosphate fertilizer: Characterization and agronomic effectiveness / D. Pogorzelski, J.F. Lustosa Filho, P.C. Matias [et al.] // *Science of The Total Environment*. — 2020. — Vol. 743. — P. 140604. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140604
8. Monastyrsky D. Povyshenie jeffektivnosti sel'skhozajstvennogo proizvodstva za schet jeffektivnogo primeneniya granulirovannyh udobrenij [Improving the efficiency of agricultural production through the effective use of granular fertilizers] / D. Monastyrsky, M.A. Kulikova, A. Volchek // *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal* [International Research Journal]. — 2023. — № 7(145). — P. 12–18. — DOI: 10.23670/IRJ.2023.145.7.002 [in Russian]
9. Al-Rawajfeh A.E. Chapter 4 - Characteristics and types of slow- and controlled-release fertilizers / A.E. Al-Rawajfeh, M.R. Alrbaihat, E.M. AlShamaileh // *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture*. — 2021. — P. 57–78. — DOI: 10.1016/B978-0-12-819555-0.00004-3
10. Sobreira H.A. Commercial organomineral fertilizer produced through granulation of a blend of monoammonium phosphate and pulp and paper industry waste post-composting / H.A. Sobreira, M.V. Ferreira, A.M. de Faria // *Industrial Crops and Products*. — 2024. — Vol. 222, Part 3. — P. 119816. — DOI: 10.1016/j.indcrop.2024.119816
11. Monastyrskiy D.I. Studies of the features of vacuum drying of organic-mineral fertilizers / D.I. Monastyrskiy, M.A. Kulikova, T.A. Kolesnikova // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. — 2022. — Vol. 981. — P. 022015. — DOI: 10.1088/1755-1315/981/2/022015