

УДК 631.4+631.445

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕЛИОРАНТОВ В РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

С.Н. ГАМАЮНОВ, д.т.н., профессор (ТвГТУ)

А.М. ГУСЕВА, к.т.н., доцент (ТвГТУ)

А.И. ЖИГУЛЬСКАЯ, к.т.н., доцент (ТвГТУ)

Б.Ф. ЗЮЗИН д.т.н., профессор (ТвГТУ)

Федеральное государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Тверской государственный технический
университет», г. Тверь

Аннотация: В работе оценивается потенциал гранулированных торфяных мелиорантов в рекультивации территорий после открытой добычи полезных ископаемых. Показано, что традиционное использование рыхлого торфа ограничено его быстрой минерализацией в техногенных субстратах. Альтернативу представляет гранулированный мелиорант, разработанный в Тверском государственном техническом университете на основе механохимической активации гумуса торфа. Успешная апробация технологии в аридных условиях на песчаных почвах подтверждает ее применимость для рекультивации угольных отвалов Кузбасса. Отмечены технологическая простота, экономическая выгода и экологическая безопасность метода.

Ключевые слова: рекультивация, открытая добыча, торфяные мелиоранты, гранулированный мелиорант, техногенные ландшафты, Кузбасс.

Abstract: The paper assesses the potential of granulated peat-based soil conditioners for the reclamation of lands disturbed by open-pit mining. It is shown that the conventional use of milling peat is limited by its rapid mineralization in technogenic substrates. An alternative is offered by a granulated conditioner developed at Tver State Technical University through mechanochemical activation of peat humus. Successful field trials in arid sandy environments confirm its suitability for reclaiming coal spoil heaps in the Kuzbass region. The method is characterized by technological simplicity, cost efficiency, and environmental safety.

Keywords: reclamation, open-pit mining, peat-based soil conditioners, granulated soil conditioner, technogenic landscapes, Kuzbass.

Открытая добыча полезных ископаемых неизбежно сопровождается формированием обширных техногенных ландшафтов, лишенных естественного почвенного профиля и лишенных способности поддерживать устойчивую растительность и почвенную биоту. Восстановление таких территорий диктует необходимость перехода от ресурсоемких краткосрочных решений к технологиям, способных инициировать самоподдерживающиеся экосистемные процессы непосредственно на месте нарушенного субстрата [1]. Особый интерес в этих условиях представляют органические мелиоранты на основе

торфа, исторически применяемые в рекультивации. Однако, несмотря на их широкое использование, классический подход сопряжен с существенным ограничением – высокой скоростью минерализации и распада рыхлого торфа в условиях техногенной среды. Действительно, при внесении в рекультивационный слой органическое вещество быстро теряет структуру, утрачивает влагоемкость и превращается в инертную массу без функциональной активности уже в течение первого-второго вегетационных сезонов. Следствием становится кратковременность достигнутого эффекта и не обеспечивает долговременной устойчивости восстановленной растительности. Проблема усугубляется тем, что техногенные субстраты угольных отвалов, часто представленные песчано-глинистыми породами с низкой связностью и высокой влагоотдачей, сами по себе не способны удерживать влагу и питательные элементы, что требует постоянного притока органики для поддержания жизнеспособности растительного покрова.

Использование торфа в рекультивационной практике уходит корнями в середину XX века и подтверждено многочисленными полевыми исследованиями, где он активно использовался при восстановлении земель после добычи угля и строительных материалов [2]. Однако опыт показал, что в рыхлом виде торф подвержен интенсивной биологической и окислительной деградации, особенно в условиях техногенных субстратов с высокой аэрацией, нестабильным водным режимом и дефицитом симбиотической микрофлоры. В таких средах процесс минерализации органического вещества происходит без образования устойчивого гумуса, что приводит к утрате мелиоративного эффекта уже в течение первого вегетационного сезона [3]. Это не позволяет рассматривать фрезерный торф как долгосрочное решение при рекультивации выработанных пространств, где требуется формирование самоподдерживающейся экосистемы. В отличие от него, гранулированный мелиорант, разработанный в Тверском государственном техническом университете, прошел апробацию именно в условиях, где требования к устойчивости и эффективности максимальны – при озеленении песчаных территорий в аридных регионах [3]. Такие зоны характеризуются не только дефицитом осадков, но и высокой скоростью испарения поливочной воды, слабой связностью почвы и отсутствием ее биологической активности. Тем не менее, именно там гранулированный препарат продемонстрировал способность не только аккумулировать влагу и медленно высвобождать питательные вещества, но и связывать и структурировать песчаные субстраты, регулировать водно-воздушный режим и укреплять наклонные поверхности сыпучих отложений. Положительные результаты озеленения в подобных условиях подтверждают возможность того, что технология способна функционировать в экстремальных ландшафтах. Следовательно, при рекультивации выработанных пространств угольных разрезов, где климат обычно умеренно континентальный, а породы, несмотря на химическую агрессивность, обладают большей связностью по сравнению с чистыми песками, эффективность гранулированного мелиоранта может быть еще выше. Это позволяет рекомендовать его как приори-

тетный компонент технологий восстановления, особенно в регионах с ограниченными ресурсами плодородной почвы [1].

Для преодоления этих ограничений требуется не просто замена материала, а фундаментальное изменение его физической формы – переход от дисперсной массы к стабилизированной, контролируемо деградирующей системе. Именно такой подход реализован в технологии, разработанной в ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», где торф подвергается глубокой механохимической активации наноструктур гумуса с последующим гранулированием [3]. Принципиальное отличие метода заключается не в механическом прессовании, а в направленной модификации молекулярной организации гуминовых кислот, что повышает их биостабильность и сохраняет природную конформацию активных центров. Получаемый продукт – гранулированный гумусовый мелиорант – представляет собой цилиндрические частицы диаметром около 4 мм и длиной до 10 мм, что соответствует оптимальному размеру структурных агрегатов почвенного профиля [3]. Гранулы состоят из водорастворимых гуматов, сбалансированного набора макроэлементов и структурированного органического каркаса [4]. Ключевым преимуществом данной формы является резкое снижение площади контакта с почвенной средой, что замедляет окислительные и ферментативные процессы и обеспечивает пролонгированное действие на протяжении нескольких лет. В отличие от рыхлого торфа, гранулы не выдуваются ветром, не вымываются атмосферными осадками и легко распределяются с помощью стандартной сельскохозяйственной техники. При этом они сохраняют все ключевые свойства торфа: высокую влагоемкость, ионообменную емкость, способность к структурообразованию и стимуляцию почвенной микрофлоры [4].

Особую значимость данная разработка приобретает в свете апробации ее эффективности в условиях, максимально приближенных к техногенным – при озеленении песчаных территорий в аридных зонах [3]. Именно в аридных условиях, где скорость испарения многократно превышает количество осадков, а субстрат представлен слабоструктурными, быстро иссушающимися песками, наиболее остро проявляются недостатки традиционных подходов. Классический рыхлый торф в таких условиях мгновенно теряет влагу, растрескивается и перестает выполнять мелиоративные функции. Гранулированный же мелиорант, благодаря своей компактной структуре, способен аккумулировать редкие атмосферные осадки и медленно отдавать влагу в окружающий субстрат, формируя устойчивый микроводный режим, необходимый для приживаемости растений. Гранулы функционируют как мини-резервуары, обеспечивая постепенное снабжение корневой зоны влагой и питательными веществами. Перед применением гранулы замачивают в местной воде в пропорции 1:2 по объему с выдержкой 2–12 часов, после чего смешивают с просеянной местной почвой в соотношении 1:10–1:20, что создает готовый к посадке субстрат [3].

Апробация препарата в проектах по борьбе с опустыниванием и озеленению засушливых территорий подтвердила его способность обеспечивать

устойчивое развитие растительного покрова даже при минимальных осадках и высокой испаряемости. Для создания плодородного слоя рекомендуется вносить до 3 кг гранул на 1 м² с последующей заделкой на глубину 20–25 см, что обеспечивает оптимальные условия для посева адаптированных травяных смесей. Успешное применение в условиях аридного климата на песчаных субстратах – среде, по своим физико-механическим свойствам сопоставимой с породами многих отвалов – служит веским основанием для переноса данной технологии в сферу рекультивации выработанных пространств при открытой добыче полезных ископаемых [1]. Тот факт, что мелиорант доказал свою работоспособность в экстремальных условиях, где влага является лимитирующим фактором, свидетельствует о его высоком потенциале в менее стрессовых средах, характерных для большинства горнодобывающих регионов России, включая Кузбасс [1].

Действительно, техногенные субстраты угольных разрезов, часто представленные песчано-глинистыми породами с низкой связностью и высокой влагоотдачей, по своим агрофизическим характеристикам близки к аридным пескам [1]. В обоих случаях наблюдается дефицит влаги в корнеобитаемом слое, отсутствие водопрочной структуры и неспособность удерживать питательные элементы. Если технология доказала свою эффективность в столь экстремальных условиях, как засушливые регионы, то ее применение в рекультивации, даже в климатически более благоприятных зонах, представляется не только возможным, но и целесообразным. Более того, экономические преимущества очевидны: норма внесения гранулированного мелиоранта не превышает 10 т/га, что в 10–100 раз снижает затраты по сравнению с завозом и укладкой плодородного слоя почвы. Эта экономия достигается за счет отказа от изъятия природных почвенных ресурсов и резкого сокращения транспортных издержек, обусловленных высокой насыпной плотностью гранул. Технологически применение мелиоранта в рекультивационных работах предполагает его равномерное распределение по спланированной поверхности отвала. Для создания функционального корнеобитаемого горизонта рекомендуется вносить до 3 кг гранул на 1 м² с последующей заделкой на глубину 20–25 см. Перед применением гранулы замачивают в местной воде в соотношении 1:2 по объему с выдержкой 2–12 часов, после чего смешивают с просеянной местной почвой в пропорции 1:10–1:20 в зависимости от ее свойств. Полученный субстрат обеспечивает оптимальные условия для посева адаптированных травяных смесей или посадки древесно-кустарниковой растительности.

С позиций экологической безопасности применение гранулированного торфяного мелиоранта соответствует принципам циркулярной экономики и территориальной устойчивости [2]. В основе производства лежат только природные компоненты – торф (как верховой, так и низинный), а также возможные минеральные добавки природного происхождения. Процесс не генерирует вторичных отходов и не загрязняет окружающую среду. Использование местных торфяных залежей дополнительно минимизирует углеродный след и способствует локализации экологических рисков [3]. Более того, данная тех-

нология позволяет избежать изъятия плодородного слоя с сохранных территорий, что само по себе является значительным экологическим вкладом. Важно отметить, что, в отличие от множества синтетических почвоулучшителей, гранулированный мелиорант не содержит химически активных компонентов, способных нарушать естественные биогеохимические циклы. Его действие основано на усилении природных процессов, а не на их замещении. Это делает технологию предпочтительной в условиях, где требуется не просто техническое восстановление, а формирование экологически устойчивой и саморегулирующейся среды.

Россия, обладая колоссальными запасами торфа и многовековыми традициями его использования, является оптимальным регионом для производства подобных мелиорантов [2]. При этом применение гранулированных форм позволяет рационально использовать сырье, минимизируя потери при транспортировке и хранении. В отличие от рыхлых компостов или смесей, гранулы не слеживаются, не окисляются и сохраняют свои свойства в течение длительного времени. Это делает их особенно привлекательными для применения в удаленных регионах, где логистика затруднена. Кроме того, технология легко масштабируется и может быть адаптирована под местные условия, включая использование как верховых, так и низинных торфов в зависимости от целей рекультивации.

Совокупность данных свидетельствует: применение рыхлого торфа в рекультивационных технологиях не обеспечивает устойчивого почвообразовательного эффекта из-за его физической нестабильности и интенсивной биологической деградации в техногенных субстратах [2]. В качестве альтернативы целесообразен переход к гранулированным формам, в частности — к препарату, разработанному в Тверском государственном техническом университете на основе механохимической активации наноструктур гумуса [3]. Его успешная апробация при озеленении песчаных территорий в аридных условиях подтверждает возможность переноса технологии на рекультивацию отвалов угольных разрезов [2]. Высокая эффективность в экстремальных средах, технологическая простота внесения, снижение затрат в 10–100 раз и отсутствие химической нагрузки на экосистему делают гранулированный мелиорант основой для формирования устойчивых, самовосстанавливающихся почвенных систем на техногенных ландшафтах [3]. Перспективным направлением дальнейших исследований является адаптация состава гранул под минералогический тип вскрышных пород и разработка региональных нормативов внесения с учетом климатических и геохимических характеристик территории.

Список литературы

1. Осинцева, М.А. Особенности рекультивации отработанных территорий угольных разрезов в Кузбассе / М.А. Осинцева, Н.В. Бурова, Е.А. Жидкова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 9 (123). – С. 1–12. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://research-journal.org/archive/9-123-2022-september/10.23670/IRJ.2022.123.48> (дата обращения: 13.11.2025).

-
2. Анализ перспектив использования торфяных почвоулучшителей для рекультивации нарушенных земель / А.В. Михайлов, В.Ю. Пиирайнен, Е.М. Боброва, А.И. Смирнов // Горная промышленность. – 2025. – № 2. – С. 124–130. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-2-124-130>
 3. Гамаюнов, С.Н. Тенденции производства и переработки торфа для нужд сельского хозяйства: монография / С.Н. Гамаюнов. – Тверь: ООО Издательство «Триада», 2016. —254 с. ISBN 978-5-94789-730-2
 4. Броварова, О.В. Гуминовые вещества торфа. Свойства и биологическая активность / О.В. Броварова, Д.А. Броварова // Химия растительного сырья. – 2023. – № 2. – С. 301–309. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230211727>