

РЕСТАВРАЦИОННО-ЛАНДШАФТНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

**Е. А. Пендюрин, Ж. А. Сапронова,
А. В. Святченко, В. А. Здоровцов**

*ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Россия*

Ключевые слова: георешетка; нарушенные земли; почвосмесь; способ восстановления.

Аннотация: Предложен способ восстановления растительного покрова на нарушенных территориях, снижения стоимости материала и расширения сырьевых ресурсов для его получения за счет уменьшения антропогенной нагрузки на окружающую среду путем вовлечения в повторный технологический цикл отходов, а также сокращения затрат на проведение работ в короткие сроки через использование объемной георешетки, заполненной искусственной почвосмесью. Такой способ поможет не только восстановить природные ресурсы и экосистемы, но и улучшить качество жизни местного населения, снизив негативное воздействие промышленного производства на окружающую среду.

Введение

Почвенные ресурсы имеют основополагающее значение для жизни на Земле и решающее значение для устойчивого развития. Педосфера является неотъемлемым связующим звеном других сфер Земли (литосферы, биосферы, гидросферы и атмосферы) и играет решающую роль в решении проблем, связанных с продовольственной и водной безопасностью, защитой биоразнообразия, состоянием наземных экосистем, регулированием климата и здоровьем человека. Для удовлетворения постоянно растущих потребностей в земельных ресурсах все более интенсивное использование земель человеком может привести к необратимой утрате их функций и деградации почв.

Пендюрин Евгений Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры промышленной экологии; Сапронова Жанна Ануаровна – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленной экологии; Святченко Анастасия Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной экологии, e-mail: sv.anastasiaa@mail.ru; Здоровцов Вадим Александрович – аспирант кафедры промышленной экологии; ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Россия.

Деградация почв – естественный и(или) антропогенный процесс, при котором продуктивность почвы или ее потенциал для землепользования и регулирования окружающей среды (качество и устойчивость почвы) снижается или даже полностью теряет свои физические, химические и биологические характеристики [1]. Деградация почв происходит по разным причинам, включая антропогенные и метеорологические факторы, некоторые из которых дополняют друг друга.

Механизмы деградации можно разделить на физические, химические и биологические. Конкретные проявления нарушения почв разнообразны, включая, помимо прочего, эрозию, засоление, подкисление, опустынивание, дефицит питательных веществ, уплотнение и загрязнение тяжелыми металлами. Одна из частых причин – уничтожение растительной составляющей. Такая ситуация, способная существенно нарушить экосистему, оказывает влияние как на климат, так и социально-экономическую жизнь местного населения [1, 2].

Обнаружено, что восстановление нарушенных земель оказывает положительное влияние на здоровье детей, улучшает доступ к общественным удобствам и ускоряет экономический рост. Решения, основанные на природных механизмах, стали многообещающим подходом к восстановлению загрязненных земель, который потенциально может дать множество преимуществ, помимо простого снижения риска воздействия загрязняющих веществ [3, 4].

Восстановление почв может быть достигнуто инженерными, химическими или биологическими методами. *Инженерные* технологии включают в себя промывку грунта, стабилизацию, термическую обработку, выемку и захоронение отходов и другие технологии. *Химические* методы восстановления почвы включают внесение фосфатов, известковых материалов, оксигидроксидов Fe/Mn, органических материалов, цеолитов и т.д. Смягчение последствий с помощью *микробиологических* средств может заключаться в обеззараживании участков, специфичных для конкретных загрязнителей, с использованием специализированных штаммов бактерий, известных способностью поглощать и разлагать загрязняющие вещества.

Стоимость реализации приведенных методов может быть относительно высока, особенно в полевых условиях [5].

Площадь нарушенных земель в Белгородском регионе составляет 6,5 тыс. га, что является серьезной проблемой для окружающей среды и жизни местного населения. Наличие 328 карьеров открытого типа, из которых 176 – заброшенные (в некоторых все еще продолжается незаконная добыча материалов, в том числе с участием различных подрядчиков), а также созданные мусорные свалки усугубляют данную проблему [6, 7]. Следует провести работы по восстановлению нарушенных земель и вернуть их в устойчивый хозяйственный оборот, одновременно минимизируя и устраняя негативное воздействие на окружающую среду. Для этого необходимы программы рекультивации и реконструкции нарушенных территорий, а также контроль по добыче и утилизации отходов.

Такие меры помогут не только восстановить природные ресурсы и экосистемы, но и улучшить качество жизни местного населения, снизив негативное воздействие промышленного производства на окружающую среду.

В работе [8] разработан материал для биологической рекультивации нарушенных земель, недостатком которого является высокий уровень загрязнения иловых осадков. Осадки сточных вод могут содержать потенциально опасные компоненты – тяжелые металлы, органические загрязнители, патогены и другие фитотоксичные вещества, которые накапливаются в организмах и окружающей среде, препятствуя развитию и восстановлению почвенно-растительных участков. Для эффективной биологической рекультивации необходимо принимать во внимание сложный компонентный состав загрязненных осадков и проводить специализированную обработку, включая центрифугирование шлама, что значительно увеличивает стоимость готового продукта. Тем не менее такие мероприятия необходимы для обеспечения безопасности и эффективности процесса восстановления нарушенных территорий.

Наиболее близким техническим решением восстановления нарушенных земель является способ создания почвенно-растительного покрова при рекультивации нарушенных земель, представленный в [9]. Существенный признак данного решения – обязательное использование удобрений N70P70K70 и вспученного вермикулита с гранулами до 4 мм, так как без этих условий сами компоненты не обеспечивают достаточный почвенно-растительный покров на рекультивируемой территории.

Предлагается принципиально новый способ восстановления биологической продуктивности нарушенных земель при проведении работ по рекультивации, основанный на утилизации доступных нетоксичных отходов с возможностью их полезного использования в городской среде. Инновационный продукт представляет собой органоминеральные почвосмеси, созданные на основе разнообразных производственных отходов. Искусственные почвогрунты (почвосмеси) представляют собой многокомпонентные смеси, обеспечивающие нормальный рост и развитие растений. В искусственных почвогрунтах протекают те же процессы, что и в естественных почвах, поэтому они могут успешно заменить почвы и использоваться в процессах восстановления урбанизированных земель.

Для успешной реализации данной идеи необходимо провести исследования и биотестирование органоминеральных почвосмесей, определить их эффективность и безопасность для окружающей среды. Также важно учитывать потенциальные риски и проблемы, связанные с использованием искусственных почв в процессе восстановления земель. В целом, такой подход к рекультивации и утилизации отходов является перспективным и может принести значительную пользу как для природы, так и для человека.

Материалы и методы исследований

Цель исследования – разработка научных основ рекультивации техногенно-нарушенных земель в условиях Белгородской области.

Объекты исследования – органические и минеральные компоненты, а также составы почвосмесей, содержащие данные компоненты в различных пропорциях.

Задачи исследования, направленные на упрощение технологии восстановления растительного покрова, уменьшение стоимости материала за счет снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду путем во-

влечения в повторный технологический цикл отходов и расширение сырьевых ресурсов для его получения, а также сокращение затрат на проведение работ в короткие сроки через использование объемной георешетки, заполненной искусственной почвосмесью, представляют собой значимый шаг в области экологии и устойчивого развития.

Важно отметить, что анализ и биотестирование разработанных составов искусственной почвосмеси осуществлялись при помощи различных методов. Основные характеристики образца зоокомпоста определялись в соответствии с ГОСТ 33830–2016. Для исследования почвосмесей использовали стандартные методы: воздушно-тепловой, титриметрический, спектрофотометрический, потенциометрический и кондуктометрический.

Элементный состав образцов используемых отходов получен с помощью прибора ARL 9900 IntelliPower Workstation. Такой подход обеспечивает научную обоснованность и эффективность разработанных составов почвосмеси для рекультивации и восстановления техногенно-нарушенных земель.

Экологический аспект исследований имеет большое значение, поскольку обеспечивает устойчивое развитие и сохранение окружающей среды. Результаты проведенных исследований служат основой для разработки и внедрения эффективных методов рекультивации земель, щадящих природные ресурсы и способствующих улучшению экологической ситуации в регионе.

Результаты и их обсуждение

Известно, что почва включает в себя разнообразные компоненты, такие как глина, песок, перегной, воздух и вода. При создании образцов искусственных почвосмесей использовались технические условия для производства питательных грунтов. Процесс приготовления искусственной почвосмеси осуществлялся путем механического перемешивания различных исходных компонентов с их предварительным измельчением.

Анализу подвергались исходные компоненты искусственной почвосмеси (табл. 1 – 3).

Органическая часть компонента искусственной почвосмеси представлена переработанными органическими отходами личинки двукрылого насекомого Черная Лявinka (зоокомпост) и растительными остатками в виде листьев и скошенной травы, химический состав которых представлен в табл. 2.

Побочные продукты мокрой магнитной сепарации представляют собой пустую породу процесса обогащения железной руды, цитрогипс – побочный продукт производства лимонной кислоты. Его химический состав приведен в табл. 3.

Способ создания образцов искусственной почвосмеси включал смешивание глины, суглинков, песка, цитрогипса, продуктов мокрой магнитной сепарации в мешалке в течение 3...5 мин. Затем добавляется зоокомпост Черной Лявинки и растительные остатки в виде листьев и травы, предварительно измельченные в дробилке, при дополнительном смешивании в мешалке в течение 3...5 мин.

Компонентный состав искусственных почвосмесей представлен в табл. 4 (в качестве контрольного образца взят чернозем типичный).

Таблица 1

**Химический состав минеральных компонентов
искусственной почвосмеси**

Почво- смесь	Содержание компонентов, %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	п.п.п.
Суг- линки	50,0...	10,0...	0,5...	2,0...	2,0...	0,1...	1,0...	0,5...	0,1...	5,0...
	70,0	15,0	1,0	3,0	5,0	1,5	1,5	0,7	0,2	8,0
Глины	40,0...	14,0...	0,5...	3,0...	1,0...	0,1...	2,0...	0,5...	0,2...	4,0...
	50,0	23,0	1,6	5,0	2,0	0,5	2,5	1,5	0,3	7,0
Песок	75,0...	1,0...	0,06...	0,1...	0,5...	0,4...	0,2...	0,09...	—	1,5...
	98,0	0,95	0,08	0,06	2,0	0,5	0,3	0,1		4,0

Таблица 2

**Химический состав органической части компонентов
искусственной почвосмеси**

Почво- смесь	Содержание компонентов, %								
	Н общий	Органи- ческий углерод	Зола	Вода	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Микро- элементы
Зооком- пост	3...4	15...45	5...6	20...50	0,7...2	0,3... 0,5	1...3	1...3	1...6
Расти- тельные остатки	1...2	7...30	3...6	50...70	1...2		1...2	0,5...1	

Таблица 3

Химический состав побочных продуктов

Почво- смесь	Содержание компонентов, %										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe _{общ}	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	п.п.п.
Продукт мокрой магнитной сепарации	65... 75	2...3	0,1... 0,2	4,0... 10,0	2,0... 5,0	0,1... 1,5	1,0... 1,5	0,5... 0,7	0,1... 0,3	0,1... 0,2	4...5
Цитрогипс	0,2... 1,7	0,12... 0,05	0,02... 0,017	0,95... 0,05	29,7... 32,6	0,1... 0,4	0,05... 0,07	0,02... 0,03	38,3... 45,5	—	22,0... 28,4

Таблица 4

Компонентный состав искусственной почвосмеси, %

Состав	Суглинки	Песок	Глина	Цитрогипс	Растительные остатки в виде листьев и травы	Продукты мокрой магнитной сепарации	Зоокомпост
1	15	20	15	15	15	5	15
2	20			10			
3	15					10	15

На первом этапе исследований проведена оценка токсикологических характеристик полученных экспериментальных образцов искусственных почвенных смесей с использованием в качестве тест-объекта семян овса обыкновенного (*Avena Sativa L.*) [10]. Данный метод основан на изменении роста корневой системы из-за способности корней реагировать на экзогенное химическое воздействие, что позволяет использовать длину корней в качестве показателя тестовой функции.

Результаты исследований показали, что ингибирование развития корневой системы *Avena Sativa L.*, выращенной на исследуемых образцах, не превышает 20 % по сравнению с контролем.

Оценку реставрационно-ландшафтного восстановления территории проводили в полевом эксперименте. Способ восстановления территории включал использование объемной георешетки, предназначенной для укрепления грунтов в дорожном строительстве и ландшафтном дизайне, – это полимерные ленты, сваренные между собой в шахматном порядке. При растяжении объемной георешетки образуется структура из полых ячеек размер ячейки 220 × 220 мм. На техногенно-нарушенную поверхность урбанизированных земель наносится объемная георешетка. При ее растяжении образуется структура из полых ячеек, в которую засыпается искусственная почвосмесь с семенами растений, поливается водой и покрывается полимерной пленкой, которую удаляют при появлении дружных всходов. В состав искусственной почвосмеси входят суглинки, глины, отходы производства лимонной кислоты – цитрогипс, зоокомпост Черной Лявки, растительные остатки в виде листьев и травы, отходы мокрой магнитной сепарации железной руды, песок.

Посеянный эспарцет песчаный (рис. 1) срезали 10 августа 2023 г. и определили его урожайность и высоту. Полученные результаты представлены в табл. 5. Из полученных результатов видно, что использование искусственных почвосмесей для восстановления почв позволило повысить урожайность эспарцета песчаного по сравнению с контролем. При этом лучшие показатели получены при использовании состава № 1, прибавка урожая составила 0,09 кг.



Рис. 1. Пример способа восстановления эспарцета песчаного

Таблица 5

Биологические показатели

Составы искусственных почвосмесей	Биологические показатели (урожайность, кг/сосуд)	Биологические показатели (прибавка урожая, кг)	Средняя высота растений, см
Контрольный состав (чернозем типичный)	$0,120 \pm 0,005$	–	30...35
1	$0,210 \pm 0,005$	+0,09	50...60
2	$0,180 \pm 0,005$	+0,06	40...45
3	$0,168 \pm 0,005$	+0,05	50...60

Таким образом, использование предложенного способа позволяет улучшить биологические показатели посевов и ускорить восстановление нарушенных территорий. Поскольку для получения почвосмесей применяются промышленные отходы, это снижает стоимость продукта и решает вопрос утилизации отходов, снижая антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Заключение

На данный момент значительная часть мирового населения проживает в условиях техногенно-нарушенных ландшафтов, где деградировавшие земли различных типов охватывают значительные участки пригородных территорий. Необходимость восстановления таких земель и их возвращение в устойчивый хозяйственный оборот остается актуальной задачей. Предложен способ восстановления растительного покрова на нарушенных территориях. Преимущества полученного заявленным способом продукта:

1) отсутствие токсикологических характеристик полученных экспериментальных образцов разработанных составов искусственных почвенных смесей;

2) повышение биологических показателей посевов в сравнении с контрольной группой, а, следовательно, эффективность реставрационно-ландшафтного восстановления территории;

3) сокращение сроков реставрационно-ландшафтного восстановления территории;

4) снижение стоимости материала для изготовления искусственной почвосмеси по предлагаемому способу за счет снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду путем вовлечения в повторный технологический цикл;

5) утилизация отходов (минуя их сжигание или размещение на полигонах твердых бытовых отходов) снижает антропогенную нагрузку на окружающую среду и позволяет вовлекать их повторно в технологический цикл, что способствует созданию мало- и безотходных технологий.

Список литературы

1. Remote Sensing of Soil Degradation: Progress and Perspective / J. Wang, J. Zhen, W. Hu [et al.] // International Soil and Water Conservation Research. – 2023. – Vol. 11, No. 3. – P. 429 – 454. doi: 10.1016/j.iswcr.2023.03.002

2. Study and Evaluation of the Effects of Vegetation Cover Destruction on soil Degradation in Middle Guinea through the Application of Remote Sensing and Geotechnics / I. D. Diallo, C. Darraz, A. Tilioua, A. Alali, and D. Sidibe // *Heliyon*. – 2024. – Vol. 10(23556). – 22 p. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e23556
3. Life Cycle Assessment and Cost-Benefit Analysis of Nature-Based Solutions for Contaminated Land Remediation: A Mini-Review / K. Alshehri, Z. Gao, M. J. Harbottle, D. Sapsford, P. J. Cleall // *Heliyon*. – 2023. – Vol. 9, No. 9. – P. e20632. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e20632
4. Утилизация гипсосодержащих и органических отходов с получением органоминеральных удобрений / Е. А. Пендюрин, В. С. Воропаев, Т. Б. Никуличева, И. С. Никулин, Н. И. Алфимова // *Экология и промышленность России*. – 2022. – Т. 26, № 9. – С. 14 – 19. doi: 10.18412/1816-0395-2022-9-14-19
5. Technological and Economic Analysis of Electrokinetic Remediation of Contaminated Soil: A Global Perspective and its Application in Indian Scenario / J. Akansha, S. Thakur, M. S. Chaithanya, B. S. Gupta, S. Das, B. Das, N. Rajasekar, K. Priya // *Heliyon*. – 2024. – Vol. 10, No. 2. – P. e24293. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e24293
6. Даниленко, Е. П. Рекультивация нарушенных земель и устранение накопленного вреда окружающей среде города Белгород / Е. П. Даниленко, А. А. Акулова, О. Н. Барышенская // *Вектор ГеоНаук*. – 2020. – Т. 3, № 1. – С. 62 – 70. doi: 10.24411/2619-0761-2020-10007
7. Пендюрин, Е. А. Использование искусственной почвосмеси для восстановления нарушенных территорий / Е. А. Пендюрин, А. В. Святченко, Н. Ю. Кирюшина // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. – 2022. – № 2(34). – С. 130 – 136.
8. Пат. № 2546155 С1 МПК С09К 17/40(2006.01). Материал для биологической рекультивации нарушенных земель / Калинина Е. В., Вайсман Я. И., Рудакова Л. В. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2013149774/05; заявл. 06.11.2013; опубл. 15.04.2015, Бюл. № 10. – 8 с.
9. Пат. № 2484613 С-2 Способ создания почвенно-растительного покрова при рекультивации нарушенных земель / Иванова Л. А., Кременецкая М. В., Горбачева Т. Т., Иноземцева Е. С., Корытная О. П.; заявитель и патентообладатель Учреждение РАН «Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра РАН. – № 2011127453/13; заявл. 04.07.2011; опубл. 20.06.2013, Бюл. №17. – 9 с.
10. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности. Методические рекомендации МР 2.1.7.2297-07. – Текст: электронный. URL: http://www.infosait.ru/norma_doc/52/52957/index.htm/ (дата обращения: 01.02.2024).

References

1. Wang J., Zhen J., Hu W., Chen S., Lizaga I., Zeraatpisheh M., Yang X.-D. Remote Sensing of Soil Degradation: Progress and Perspective, *International Soil and Water Conservation Research*, 2023, vol. 11, no. 3, pp. 429-454. doi: 10.1016/j.iswcr.2023.03.002
2. Diallo I.D., Darraz C., Tilioua A., Alali A., Sidibe D. Study and Evaluation of the Effects of Vegetation Cover Destruction on soil Degradation in Middle Guinea through the Application of Remote Sensing and Geotechnics, *Heliyon*, 2024, vol. 10, pp. e23556, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e23556
3. Alshehri K., Gao Z., Harbottle M.J., Sapsford D., Cleall P.J. Life Cycle Assessment and Cost-Benefit Analysis of Nature-Based Solutions for Contaminated

Land Remediation: A Mini-Review, *Heliyon*, 2023, vol. 9, no. 9, pp. e20632. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e20632

4. Pendyurin Ye.A., Voropayev V.S., Nikulicheva T.B., Nikulin I.S., Alfimova N.I. [Recycling of gypsum-containing and organic waste to produce organomineral fertilizers], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2022, vol. 26, no. 9, pp. 14-19. doi: 10.18412/1816-0395-2022-9-14-19 (In Russ., abstract in Eng.)

5. Akansha J., Thakur S., Chaithanya M.S., Gupta B.S., Das S., Das B., Rajasekar N., Priya K. Technological and Economic Analysis of Electrokinetic Remediation of Contaminated Soil: A Global Perspective and its Application in Indian Scenario, *Heliyon*, 2024, vol. 10, no. 2, pp. e24293. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e24293

6. Danilenko Ye.P., Akulova A.A., Baryshenskaya O.N. [Reclamation of disturbed lands and elimination of accumulated harm to the environment of the city of Belgorod], *Vektor GeoNauk* [Vector GeoScience], 2020, vol. 3, no. 1, pp. 62-70. doi: 10.24411/2619-0761-2020-10007 (In Russ., abstract in Eng.)

7. Pendyurin Ye.A., Svyatchenko A.V., Kiryushina N.Yu. [Use of artificial soil mixture for restoration of disturbed territories], *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy* [Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects], 2022, no. 2(34), pp. 130-136. (In Russ., abstract in Eng.)

8. Kalinina Ye.V., Vaysman Ya.I., Rudakova L.V. *Material dlya biologicheskoy rekul'tivatsii narushennykh zemel'* [Material for biological reclamation of disturbed lands], Russian Federation, 2008, Pat. 2546155. (In Russ.)

9. Ivanova L.A., Kremenetskaya M.V., Gorbacheva T.T., Inozemtseva Ye.S., Korytnaya O.P. *Sposob sozdaniya pochvenno-rastitel'nogo pokrova pri rekul'tivatsii narushennykh zemel'* [Method for creating soil and vegetation cover during reclamation of disturbed lands], Russian Federation, 2008, Pat. 2484613. (In Russ.)

10 available at: http://www.infosait.ru/norma_doc/52/52957/index.htm/ (accessed 01 February 2024).

Restoration and Landscape Restoration of Disturbed Territories

**E. A. Pendyurin, Zh. A. Sapronova,
A. V. Svyatchenko, V. A. Zdorovtsov**

*Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov,
Belgorod, Russia*

Keywords: geogrid; disturbed lands; soil mixture; restoration method.

Abstract: The authors propose a method for restoring vegetation in disturbed areas, reducing the cost of material and expanding raw materials for its production by reducing the anthropogenic load on the environment by involving waste in a repeated technological cycle, as well as reducing the cost of work in a short time through the use of a volumetric geogrid filled with artificial soil mixture. This method will not only help restore natural resources and ecosystems, but also improve the quality of life of the local population, reducing the negative impact of industrial production on the environment.

© Е. А. Пендюрин, Ж. А. Сапронова,
А. В. Святченко, В. А. Здоровцов, 2024