

Экология, почвоведение и природопользование / Ecology, Soil Science and Nature Management

Научная статья

Original article

DOI: [10.12731/2658-6649-2026-18-1-1401](https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1401)EDN: [ENSOVP](https://www.edn.ru/ENSOVP)

УДК 579.64:632.9



Изучение микробиома почвы на территории ядохомогильника в Джизакской области Узбекистана

З.Р. Ахмедова, Т.Э. Шонахунов, А.А. Ибрагимов,
З.Т. Хамраева, М.А. Яхяева

*Институт микробиологии Академии наук Республики Узбекистан,
Ташкент, Узбекистан*

Аннотация

Обоснование. Полигон захоронения ядохимикатов в Джизакской области Республики Узбекистан, занимающий 12,7 гектаров площади, оказывает длительное техногенное воздействие на почвы, что приводит к нарушению их микробиологической и агрохимической структуры. Микроорганизмы и почвенные ферменты чувствительно реагируют на эти загрязнения, следовательно, их численность и активность служат надёжными биоиндикаторами экологического состояния почвенных ресурсов. Экспериментально было показано резкое снижение микробной численности, ферментативной активности и плодородия почв на исследованных загрязнённых участках, что подчёркивает необходимость биологической ремедиации и агрохимической коррекции для восстановления почвенного биоценоза и повышения устойчивости экосистем в целом.

Изучение микробиоты загрязнённых почв пестицидами позволяют оценить и, направлено на оценку влияния этих химикатов на состав и функции почвенных микроорганизмов, что критически важно для поддержания здоровья почвы и экосистемы в целом. Такие исследования проводятся с использованием микробиологических, молекулярных методов, позволяющих выявить качественные и количественные показатели, метаболической активности бактерий, грибов и других почвенных организмов, а также оценить их роль в разложении пестицидов и влиянии на плодородие почвы.

Цель. Оценка микробиологического, ферментативного и агрохимического состояния почв различных участков полигона ядохимикатов для выявления степени техногенного воздействия и необходимости проведения мероприятий по биологической ремедиации.

Материалы и методы. В ходе исследования были проанализированы 5 почвенных образцов, отобранных в различных участках полигона и прилегающей террито-

рии. Для микробиологического анализа из образцов готовили водные суспензии (10 г/100 мл), которые инкубировали при 30 °С в течение 24 часов. Микроорганизмы (бактерии, грибы, актиномицеты) культивировали на элективных питательных средах (нутриент агар (NA) и среда Сабуро (Hi Media), среда Чапека) при разведениях почвенной суспензии 10^1 – 10^7 . Рост колоний каждого класса микроорганизмов фиксировали каждые 12 часов с определением их численности и морфологии.

Физические свойства почв (сыпучесть, осаждаемость, однородность, цвет) оценивались визуально. Контрольным образцом служила почва из дендропарковой зоны Института микробиологии АН РУз (Ташкент).

Ферментативную активность почвенных образцов (каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы, инвертазы) определяли газометрическим и колориметрическим методами по стандартным протоколам (1, с 41; 14).

Агрохимические показатели (рН, гумус, доступные формы фосфора, калия, обменные катионы, степень засоления) определялись по ГОСТам и методическим указаниям (Ташкент, 2005), с использованием потенциометрии, колориметрии, фотометрии и гравиметрического анализа.

Результаты. Микробиологический анализ показал значительное снижение общей численности бактерий, грибов и актиномицетов в почвах полигона по сравнению с контрольной пробой (4905×10^5 КОЕ/г). Минимальные значения зафиксированы в центральной части полигона (25×10^5 КОЕ/г), что связано с неблагоприятными физико-химическими свойствами почв. Почва восточной части показала большую численность (118×10^5 КОЕ/г), среди всех загрязнённых участков, из которых количество бактерий – 113×10^5 , грибов – 2×10^5 , актиномицетов – 3×10^5), однако, физическое состояние этой почвы свидетельствует о нарушении почвенной структуры. Почвы западной и северной части содержали низкую численность бактерий (36×10^5 и 43×10^5 КОЕ/г соответственно), на расстоянии 2 км от полигона число бактерий составила (40×10^5 КОЕ/г), актиномицетов -1, грибы вообще не были обнаружены, что указывает на длительное влияние загрязнений за пределами полигона.

Ферментативная активность почвы (каталаза, полифенолоксидаза, пероксидаза, инвертаза) также была значительно снижена во всех загрязнённых участках полигона, что свидетельствует о нарушении метаболических процессов в микробном сообществе. Пероксидазная активность больше обнаружена в центре полигона и северной части, полифенолоксидаза демонстрирует аналогичное угнетение – от 2,4 до $4,3 \text{ мг}_{\text{бензох}}/20 \text{ г} \cdot 4 \text{ ч}$ по сравнению с контрольным вариантом $6,8 \text{ ПФО} - 6,8 \text{ мг}_{\text{бензох}}/20 \text{ г}_{\text{почвы}}/4 \text{ ч}$. Особенно низкие значения отмечены в центре полигона ($2,4 \text{ мг}_{\text{бензох}}/20 \text{ г}_{\text{почвы}}/4 \text{ ч}$) и на севере ($3,0 \text{ ПФО} - 6,8 \text{ мг}_{\text{бензох}}/20 \text{ г}_{\text{почвы}}/4 \text{ ч}$), что может свидетельствовать о нарушении метаболизма ароматических соединений фенольной природы почвенной микробиоты. Также, инвертазная активность оказалась существенно низкой в северной части полигона, что свидетельствует о резком снижении углеводного обмена в

почве и, вероятно, о дефиците количества активных сапротрофов. В образце 2,0 км от полигона, наблюдается увеличение ферментативной активности.

Агрохимический анализ выявил, что почва южной и западной части содержит больше гумуса, углерода, но испытывают дефицит калия. Восточная, северная части обеднены по всем показателям: $N-NO_3$ (22,9–69,7 мг/кг), подвижная форма P_2O_5 (18,0–34,0 мг/кг) и калия K_2O (252,8–409,4 мг/кг). Наилучшие показатели выявлены в южной, наихудшие – в восточной и северной частях полигона.

Заключение. Проведённое исследование выявило выраженное техногенное угнетение микробиологической, ферментативной активности и агрохимической структуры почв на территории полигона захоронения ядохимикатов. Наиболее деградированы северная, восточная и центральные зоны. Южная и западная части сохранили частичный потенциал, но требуют коррекции. Полученные данные подтверждают необходимость срочных мер по биоремедиации и агрохимическому восстановлению загрязнённых почв.

Установлено, что число почвенных микроорганизмов и активности ферментов может служить чувствительным биоиндикатором экологического состояния почв могильника ядовитых веществ Форишского района Джизакской области. Выявленные изменения указывают на выраженное техногенное угнетение ферментативной системы микробного сообщества полигона. Это подчёркивает актуальность проведения мероприятий по биологической биоремедиации, включая восстановление численности микробного сообщества и ферментативного потенциала, как важного показателя устойчивости почвенных экосистем.

Ключевые слова: почва; полигон; ядовитые вещества; микробный пейзаж; посевы; бактерии; грибы; осаждаемость; тяжелая почва; физические свойства

Для цитирования. Ахмедова, З. Р., Шонахуннов, Т. Э., Ибрагимов, А. А., Хамраева, З. Т., & Яхяева, М. А. (2026). Изучение микробиома почвы на территории ядохимикатов в Джизакской области Узбекистана. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(1), 141–169. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1401>

Study of soil microbiome in the territory of a toxic waste burial site in Jizzakh Region, Uzbekistan

Z.R. Akhmedova, T.E. Shonakhunov, A.A. Ibragimov,
Z.T. Khamraeva, M.A. Yakhyayeva

*Institute of Microbiology Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Tashkent, Uzbekistan*

Abstract

Background. The pesticide burial site in the Jizzakh region of the Republic of Uzbekistan, covering an area of 12.7 hectares, has been exerting long-term anthropogenic

pressure on the soil, leading to significant disruptions in its microbiological and agrochemical structure. Soil microorganisms and enzymes are highly sensitive to such contamination, and thus their abundance and activity serve as reliable bioindicators of the ecological condition of soil resources. Experimental findings have demonstrated a sharp decline in microbial populations, enzymatic activity, and soil fertility in contaminated areas, underscoring the urgent need for biological remediation and agrochemical correction to restore soil biocenosis and enhance the resilience of the ecosystem as a whole.

Studying the mycobiota of soils contaminated with pesticides allows us to evaluate and assess the impact of these chemicals on the composition and functions of soil microorganisms, which is critical for maintaining the health of the soil and the ecosystem as a whole.

Such studies are conducted using microbiological and molecular methods, which allow us to identify qualitative and quantitative indicators of the metabolic activity of bacteria, fungi, and other soil organisms, as well as to assess their role in the decomposition of pesticides and their impact on soil fertility

Purpose. To assess the microbiological, enzymatic, and agrochemical status of soils from various sections of the pesticide burial site in order to determine the extent of anthropogenic impact and the necessity for implementing biological remediation measures.

Materials and methods. In this study, five soil samples were analyzed, collected from various sections of the pesticide burial site and adjacent territories. For microbiological analysis, aqueous suspensions were prepared from the samples (10 g per 100 mL) and incubated at 30 °C for 24 hours. Microorganisms—including bacteria, fungi, and actinomycetes—were cultivated on selective nutrient media (nutrient agar (NA), Sabouraud agar (HiMedia), and Czapek medium) using serial dilutions of the soil suspension ranging from 10^1 to 10^7 . Colony growth for each microbial group was recorded every 12 hours, with quantification and morphological assessment.

The physical properties of the soils (friability, sedimentation, homogeneity, and color) were evaluated visually. The control sample was collected from the dendropark zone of the Institute of Microbiology of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Tashkent).

Enzymatic activity in soil samples (catalase, peroxidase, polyphenol oxidase, and invertase) was determined using gasometric and colorimetric methods according to standard protocols (Galstyan, Khaziev et al.).

Agrochemical parameters—including pH, humus content, available forms of phosphorus and potassium, exchangeable cations, and degree of salinization—were determined according to GOST standards and methodological guidelines (Tashkent, 2005), using potentiometry, colorimetry, photometry, and gravimetric analysis.

Results. Microbiological analysis revealed a significant decrease in the total number of bacteria, fungi, and actinomycetes in soils from the pesticide burial site compared to

the control sample ($4,905 \times 10^5$ CFU/g). The lowest values were recorded in the central part of the site (25×10^5 CFU/g), which is attributed to unfavorable physicochemical soil conditions. The eastern section exhibited the highest microbial counts among contaminated areas (118×10^5 CFU/g), including bacteria— 113×10^5 , fungi— 2×10^5 , and actinomycetes— 3×10^5 CFU/g. However, the physical structure of this soil showed signs of degradation. Soils from the western and northern parts had lower bacterial counts (36×10^5 and 43×10^5 CFU/g, respectively). Even at a distance of 2 km from the site, bacterial counts were 40×10^5 CFU/g, actinomycetes were present in minimal numbers (1×10^5 CFU/g), and fungi were entirely absent, indicating prolonged contamination effects beyond the site's boundaries.

Enzymatic activity (catalase, polyphenol oxidase, peroxidase, and invertase) was also significantly reduced across all contaminated areas, reflecting disrupted metabolic processes in the soil microbial community. Peroxidase activity was relatively higher in the central and northern parts, while polyphenol oxidase activity was consistently suppressed—ranging from 2.4 to 4.3 mg benzoquinone/20 g·4 h—compared to the control value of 6.8 mg benzoquinone/20 g·4 h. Particularly low values were recorded in the center (2.4 mg/20 g·4 h) and northern areas (3.0 mg/20 g·4 h), suggesting impaired metabolism of phenolic aromatic compounds by the soil microbiota. Invertase activity was also notably reduced in the northern section, indicating a sharp decline in carbohydrate metabolism, likely due to a deficiency of active saprotrophs. A sample collected 2 km from the site showed increased enzymatic activity, indicating partial recovery.

Agrochemical analysis revealed that soils in the southern and western sections had higher levels of humus and carbon but suffered from potassium deficiency. In contrast, the eastern and northern sections were depleted in all major indicators: nitrate nitrogen (N-NO_3) ranged from 22.9 to 69.7 mg/kg, available phosphorus (P_2O_5) from 18.0 to 34.0 mg/kg, and potassium (K_2O) from 252.8 to 409.4 mg/kg. The best agrochemical parameters were observed in the southern section, while the poorest were found in the eastern and northern parts of the site.

Conclusion. The conducted study revealed pronounced anthropogenic suppression of the microbiological, enzymatic activity, and agrochemical structure of soils within the pesticide burial site. The northern, eastern, and central zones were found to be the most degraded. Although the southern and western areas retained partial biological potential, they still require corrective interventions. The obtained data underscore the urgent need for biological remediation and agrochemical restoration of contaminated soils.

It was established that the abundance of soil microorganisms and enzyme activity can serve as sensitive bioindicators of the ecological condition of soils at the toxic waste burial site in the Forish district of the Jizzakh region. The observed changes indicate a significant anthropogenic disruption of the enzymatic system of the microbial commu-

nity within the site. These findings highlight the relevance of implementing biological remediation measures aimed at restoring both microbial populations and enzymatic potential—key indicators of the sustainability of soil ecosystems.

Keywords: soil; polygon; toxic substances; microbial landscape; crops; bacteria; fungi; sedimentation; heavy soil; physical properties

For citation. Akhmedova, Z. R., Shonakhunov, T. E., Ibragimov, A. A., Khamraeva, Z. T., & Yakhyayeva, M. A. (2026). Study of soil microbiome in the territory of a toxic waste burial site in Jizzakh Region, Uzbekistan. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(1), 141–169. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1401>

Введение

В связи с негативными последствиями в окружающей среде и запретом использования множества пестицидов и других ядохимикатов в Узбекистане на сегодняшний день закрываются 167 полигонов, занимающих 1 109 гектаров, которые нуждаются в рекультивации. Взамен планируется создание 56 новых полигонов на общей площади 773 гектара для захоронения и уничтожения остаточных количеств пестицидов, ядохимикатов и др. веществ, являющиеся опасными агентами для почвы, микробного сообщества и элементов почвы, обеспечивающих биологическую активность почвы.

Несмотря на эмбарго множественных видов пестицидов, последние все же активно и широко применяются практике. Изучение динамика применения пестицидов в Российской Федерации показывают, о разнообразии и их количественного объема. Сравнительная динамика применения средств защиты растений различных классов опасности за 39 лет указывает на то, что применение токсичных веществ значительно сократилось. Применение пестицидов 1-го класса опасности в 1990 г. составило 10.93 тыс. т (8.8%), а с 2016 по 2021 гг. остался на уровне 20.0 т (0.03%). Препараты 1-го класса опасности использовали только в группе фумигантов и родентицидов (Дакфосал, Магтоксин, Фоском, Фосфин, Фумифос), инсектицид Хинуфур применяли от амбарных вредителей и болезней и для обработки семян. Вместе с этим увеличилось применение инсектицидов и фунгицидов 2-го класса опасности, их показатели возросли в 2 раза против 1990 г. и составили 24.06 тыс. тонн или 34.6% [13, с. 37].

Следует отметить, что загрязнение почв остаточными количествами пестицидов всё ещё остается я одной из злободневных проблем современной науки, решения которых напрямую зависит от микробиологического разложения пестицидов в засоренных почвах, особенно, изучением микробиоты, выделением деструктивно активных культур, далее, используя

отобранные микроорганизмы, способные быстро и полно утилизировать данные соединения.

Почвы являются одним из крупнейших резервуаров биоразнообразия на Земле, поскольку вмещают мириады микроорганизмов, вносящих фундаментальный вклад в функционирование и плодородие экосистем [25, с. 440; 16]. Особенно важны бактерии и грибы, которые функционируют совместно как микробиом и, например, в значительной степени регулируют круговорот азота в почве - одного из важнейших питательных элементов для роста растений [3; 20, с. 263] связи с этим важно понимать, как загрязнение сельскохозяйственных почв остатками пестицидов влияет на их микробиом и плодородие.

Поллютанты, в частности хлорорганические пестициды, способны загрязнять почвы и оказывать токсическое воздействие на микробное сообщество. Сельскохозяйственные почвы особенно уязвимы, поскольку от 30 до 50 % применяемых пестицидов могут не достигать своей цели и оседать в почве [24].

Недавние исследования показали, что почвы часто загрязнены множеством остатков пестицидов, особенно в поверхностных слоях [22, с. 361; 26, с. 1532; 23, с. 2919;]. Эти остатки встречаются даже в почвах, где синтетические пестициды не применяются. Так, после 20 лет органического земледелия было обнаружено до 16 различных остатков пестицидов [23, с. 2919]. Это свидетельствует о длительном загрязнении почв и потенциальной угрозе для почвенной экосистемы и окружающей среды.

Оказалось, что микробиомные спектры почвы непосредственно связаны с остатками пестицидов на пахотных, орошаемых почвах, оказывающие негативное влияние прежде всего на микробное сообщества почвы [11, с. 43]. Авторами был проведен анализ остатков более 48 широко используемых пестицидов пестицидов и их влияние на микробиому почвы в 60 образцах почвы, содержание которых зависела численностью 113 бактерий 130 грибов, которые относились к таксонам известных деструкторов пестицидов. Разнообразие и численность грибов были напрямую связаны с остатками пестицидов, разнообразием бактерий и численности гена *nifH*, необходимого для биологической фиксации азота, что были отрицательно связаны с концентрацией отдельных остатков пестицидов. Остатки пестицидов изменяли почвенный микробиом, оказывая пролонгированное действия на здоровье и экологии почвенных сообществ [19].

В работе L.A. Belovezhets и др. были исследованы два гербицида, относящиеся к различным классам химических соединений – имазамокс и

хлорсульфурон. Скрининг перспективных микроорганизмов проводился среди различных штаммов бактерий и грибов в жидкой минеральной среде, содержащей пестицид в качестве единственного источника углерода. Установлено, что наиболее активные микроорганизмы способны утилизировать до 90% действующего вещества за короткий промежуток времени. Динамика деградации пестицидов показала, что максимальное разрушение исследуемых соединений происходило в течение первых двух недель культивирования. В дальнейшем скорость разложения резко снижалась или полностью прекращалась. Повышение концентрации пестицидов в питательной среде почти полностью подавляло их деградацию. Примечательно, что бактерии проявили большую эффективность в разложении имазамокса, тогда как грибы обеспечивали более активное разрушение хлорсульфурана [17, с. 15]

Пестициды, особенно широко используемые на практике инсектициды и фунгициды, помимо почвы, являются основными загрязнителями сточных вод из интенсивно используемых сельскохозяйственных земель, также и теплицы. Из-за их регулярного использования и стойкости некоторые пестициды могут накапливаться в почве и/или стекать в соседние водоемы, сточные воды будут выпущены в окружающую среду. Был проведен скрининг пестицидов с несколькими анализами вместе с дробовым метагеномным секвенированием для оценки таксономических профилей микробных сообществ и реакций метаболических путей. В образцах почвы были идентифицированы два инсектицида (имидаклоприд и фипронил) и девять фунгицидов, с общим снижением большинства пестицидов по мере увеличения расстояния от теплиц [18].

В исследованиях М. Swaine и др. пестициды, несмотря на их ключевую роль в области защиты растений, характеризуются как «Краеугольный камень», оказывающий значительное нецелевое воздействие не только на здоровье почвы, но и целый ряд живых организмов, что ещё важнее, на почвенную микробиоту, играющий ключевую роль в функционировании экосистемы в целом. Авторы рассматривают влияние пестицидов на параметры здоровья почвы с выявлением ключевых биоиндикаторов для анализа оценки экологического риска. Показано, что обилие гена *amo-A* у архей, окисляющих аммиак и бактерий является стабильным индикатором воздействия пестицидов, при этом ингибирование обусловлено гербицидами и фунгицидами. Присутствие аммиакоокисляющих микроорганизмов (АОМ) в качестве индикаторов токсичности пестицидов для почвенной микробиоты могут стать движущей силой химических инноваций в рам-

ках «безопасного и устойчивого по своей сути» подхода, что новые пестициды соединения должны служить для устойчивого развития сельского хозяйства и обеспечивать сохранение здоровья почвы [21].

Согласно, современной тенденцией развития сельского хозяйства является его экологизация за счёт использования микроорганизмов, особенно бактерий, обладающих комплексом полезных свойств (деградирующей, антагонистической активностями, ферментопродукцией и др.). Важным критерием отбора микроорганизмов для включения в состав биопрепаратов является их безопасность. Для исследования безопасности природных штаммов *Bacillus* spp., обладающих ценными биотехнологическими свойствами использованы 10 штаммов бацилл. Изучена способность штаммов продуцировать ферменты микробиологическими методами (гемолитическая, фосфатазная, лецитиназная и рибонуклеазная активность). Оказалось, что все исследованные штаммы *Bacillus* spp. проявили как минимум одну ферментативную активность (РНКазу). Для видов *B. pumilus*, *B. toyonensis* и штамма *B. licheniformis* 6 были выявлены 3 из 4 положительных ферментативных тестов (за исключением лецитиназы) [8, с. 188].

В связи с вышеизложенным нами было проведено исследование микробиома почвы на территории полигона по захоронению ядохимикатов в Джизакской области. Следует отметить, что «Специальный полигон для захоронения ядохимикатов и других токсичных веществ», принадлежащий АО «Джизакская агрохимическая защита», расположен в 5 км от жилого массива «Эгизбулок» Форишского района Джизакской области и переданный во владения ООО «Jizzax Cemical Grave» Форишского района.

На сегодняшний день площадь полигона с координатами 40°20'41.411" N, 67°32'56.411" E составляет 12,7 га (рис. 1). Образцы почвы были взяты весной (апрель) 2025 г в соответствии с методиками общей микробиологии и почвоведения.

Изначально, полигон был введён в эксплуатацию в 1987 году на площади 5 га по решению Кабинета Министров Республики Узбекистан. Впоследствии, его территория была расширена. Особую экологическую опасность представляет количество захороненных химикатов различного класса, так как по состоянию на 2013 год было захоронено 22 975 151 тонны ядохимикатов. К сожалению, захоронение продолжается и в настоящее время, поскольку сюда свозят отходы со всех регионов Республики. Следовательно, пестициды, тары, реагенты особо опасного класса, а также захороненные ямы представляют серьёзную угрозу для окружающей среды и здоровья населения ближайших территорий.



Место сбора образцов	Географические координаты
Южная часть	40°20'35.3" N, 67°32'50.0" E
Восточная часть	40°20'36.7" N, 67°32'59.7" E
Северная часть	40°20'46.6" N, 67°33'02.7" E
Западная часть	40°20'44.5" N, 67°32'52.4" E
Центр полигона	40°20'37.8" N, 67°32'54.8" E
2 км от села «Эгизбулок»	40°19'53.3" N, 67°31'35.5" E

Рис. 1. Геолокация и общий вид полигона захоронения ядовитых веществ.

Fig. 1. Geolocation and general view of the toxic waste disposal site.

В связи с этим нами был проведён мониторинг состояния почвы как на территории полигона, так и в его окрестностях, включая близлежащие участки в направлении села Эгизбулок. Были отобраны почвенные образцы в районе центрального бункера полигона, а также по периметру (на расстоянии 50 м с южной, восточной, северной и западной сторон) и на расстоянии 2 км от населенного пункта Эгизбулок. Отбор проводился в соответствии с утверждёнными параметрами и методиками микробиологического и почвенного анализа.

Материалы и методы

В лабораторных условиях из всех 5-ти образцов почвы были приготовлены болтушки, в соотношениях: 10 г/100 мл стерильной водой и оставили на 24 часа при комнатной температуре (30°C). Исследовали физические свойства почвы: сыпучесть, однородность, растворимость, скорость осаж-

дения, цвет (табл.1). Контролем служила почва под садовыми деревьями на территории Института Микробиологии (Ташкент).

Посев образцов почвенной взвеси производили на элективные питательные среды для выявления каждого класса микроорганизмов с разведением в 10 раз (10^1) и с разведением 10^7 в питательные среды «Нутриент агар, (NA - 10^7 и а Чапека (CZ) при разведении 10^4 и среды Сабуро и поместили в термостат (30°C). Через каждые 12 часов наблюдали за появлением роста колоний микроорганизмов с определением их количества, морфологии и цвета (табл. 1).

Определение активности ферментов. В работе определяли активность каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы и инвертазы. При этом учитывали, что каталаза участвует при разложении пероксида водорода до молекулярного кислорода и воды, а также при обезвреживании токсичной для организмов перекиси водорода. Пероксидаза (ПО) участвует в окислении органических веществ почвы за счет кислорода перекиси водорода и в процессах гумификации. Полифенолоксидаза (ПФО) катализирует окисление фенолов (моно-, ди-, три-) до хинонов в присутствии кислорода воздуха. Хиноны в соответствующих условиях при конденсации с аминокислотами и пептидами образуют первичные молекулы гуминовой кислоты [10]. Каталазная активность определялась газометрическим методом [1, с. 41], инвертазная, полифенолоксидазная, пероксидазная – колориметрическим методом [9, с. 40; 14; 15].

Методы агрохимических анализов почв. Агрохимические анализы почв проводили по общепринятым в агрохимии методам [12].

Определение pH почвы. Значение pH измеряли в водной суспензии с соотношением почва: вода 1:5 [6].

Содержание гумуса. Содержание гумуса в почве определяли по методу И.В. Тюрина [4].

Обменный кальций и магний. Количество обменного кальция и магния в почвах определяли по ГОСТ 26487-85.

Доступный фосфор. Доступный для питания растений фосфор определяли методом колориметрирования 1%-ой углеаммонийной вытяжки. В карбонатных почвах региона фосфор в основном находится в виде соединений кальция и магния, которые легко извлекаются слабой кислотой [3].

Калий. Количество доступных форм калия определяли в той же вытяжке с использованием пламенного фотометра [3].

Засоление почвы. Степень засоления почвы определяли в лабораторных условиях, используя метод анализа водной вытяжки. Метод основан

на содержании водно-экстрагируемых солей в почве (TSS). Катионы и анионы определялись с помощью гравиметрического метода [7].

Результаты и обсуждение

Микробиологический анализ почвенных образцов, проведённый на различных элективных питательных средах при степени разведения 10^5 и 72-часовой инкубации, позволил количественно охарактеризовать основные группы микроорганизмов – бактерии, грибы и актиномицеты – в зависимости от зоны отбора и физического состояния почвы (рис. 2).

Результаты показали, что максимальные значения численности микробных сообществ зарегистрированы в контрольной пробе, отобранной на территории Института микробиологии АН РУз. Общая численность составила 4905×10^5 КОЕ/г, включая бактерии (3039×10^5), грибы (987×10^5) и актиномицеты (879×10^5), что свидетельствует о высокой биологической активности и сбалансированном состоянии почвенной экосистемы. Этот образец отличался благоприятными физическими свойствами: рыхлая структура, хорошая осаждаемость, отсутствие мутности (табл.-1).

На фоне контрольного образца все исследованные почвы полигона характеризуются резким снижением микробной численности и разнообразия, что свидетельствует о значительном техногенном воздействии. В частности, в центральной части полигона была зафиксирована минимальная суммарная численность микроорганизмов – 25×10^5 КОЕ/г, что коррелирует с крайне неблагоприятными физико-химическими параметрами: плотная, мутная, плохо осаждающаяся почва.

Почва восточной части полигона демонстрировала наивысшие значения микробиологической численности (118×10^5 КОЕ/г), среди всех загрязнённых участков. При этом были обнаружены все три таксономические группы микроорганизмов в различных количествах (бактерии – 113×10^5 , грибы – 2×10^5 , актиномицеты – 3×10^5). Однако, физическое состояние этой почвы (тяжёлая, мутная, плотная) также свидетельствует о нарушении почвенной структуры.

Почвы западной и северной части характеризовались сравнительно низкой численностью бактерий (36×10^5 и 43×10^5 КОЕ/г соответственно), при этом в западном участке наблюдалось явление осмотического дисбаланса, сопровождающееся плотной и плохо осаждающейся консистенцией.

Почвенный образец, отобранный на расстоянии 2 км от ближайшего населённого пункта к полигону, продемонстрировал несколько лучшие физические характеристики (быстрое осаждение, дисперсная масса), одна-

ко микробиологические показатели также были низкими, а именно число бактерий составила (40×10^5 КОЕ/г), актиномицетов -1, а грибы вовсе не были обнаружены в периодах времени наблюдения, что указывает на возможное длительное влияние загрязнений за пределами самого полигона.

Таблица 1.

Численность микроорганизмов ($\times 10^5$ КОЕ/г почвы) и физико-химические свойства почвенных образцов, отобранных с различных участков полигона хранения токсичных веществ (Джизакская область)

Table 1. Microorganism counts ($\times 10^5$ CFU/g of soil) and physicochemical properties of soil samples collected from various sites at a toxic waste disposal site (Jizzakh Region)

Место отбора образцов почвы	72 –часов роста, $\times 10^5$				Физическая свойства почвенных образцов
	Бактерии	Грибы	Актиномицеты	Всего	
Северная часть	41	2	2	43	Быстрое оседание, тяжелая
Западная часть	34	2	1	36	Осмотическая явление, тяжело осаждается, плотная
Южная часть	92	1	2	93	Тяжелая почва, мутная, плотная
Восточная часть	112	2	3	114	Тяжелая почва, мутная, плотная
Центр полигона	23	2	3	25	Тяжелая почва, плотная, плохо осаждается, мутная
2 км от населённого пункта	40	0	1	40	Быстро осаждается-дисперсионная масса, тяжелая
Контрольная почва (ИМБ АН РУЗ)	3039	987	879	4905	Хорошая осаждаемость, рыхлая почва, не мутная

Таким образом, было установлена прямая взаимосвязь между численностью почвенной микробиоты и физико-химическим состоянием почвы. Чем хуже осаждаемость, выше плотность и мутность почвы – тем ниже показатели микробиологической активности. Полученные данные однозначно свидетельствуют о значительном техногенном нарушении почвенного биоценоза на территории полигона и подчёркивают необходимость проведения мероприятий по биологической ремедиации, направленных на восстановление как микробного разнообразия, так и физико химических свойств почв.

Ферментативная активность почвенных образцов, представленная по показателям активности каталазы, полифенолоксидазы (ПФО), пероксидазы (ПО) и инвертазы, демонстрирует существенное снижение в образцах, отобранных с загрязнённых участков полигона по сравнению с контрольной почвой (рис. 3).

Контрольный образец, характеризующийся отсутствием антропогенного воздействия, показал высокие значения активности изучаемых почвенных ферментов (каталаза – $8,0 \text{ мл } \text{O}_2/\text{г почв.}/\text{ч}$, ПО – $7,5 \text{ мг хинонд.}/20 \text{ г почв.}/4 \text{ ч}$, ПФО – $6,8 \text{ мг бензох.}/20 \text{ г почв.}/4 \text{ ч}$, инвертаза – $6,9 \text{ мг глюкоз.}/\text{г почв.}/\text{ч}$). Эти показатели отражают высокую биологическую активность и сбалансированное состояние микробной ферментативной системы почвы.

На территории полигона отмечено многократное снижение активности всех исследуемых ферментов:

Каталаза, как индикатор общей метаболической активности и аэробного микробного дыхания, разлагая перекись водорода, образуемой глюкоза оксидазой, демонстрирует наиболее резкое снижение – от 2,2 до 4,0 мл $\text{O}_2/\text{г почв.}$ за час. Минимальные значения зарегистрированы в восточной (2,2 мл $\text{O}_2/\text{г почв.}$) и западной (2,6 мл $\text{O}_2/\text{г почв.}$) частях полигона, что указывает на подавление микробной активности и возможное накопление токсикантов, ингибирующих оксидазные реакции.

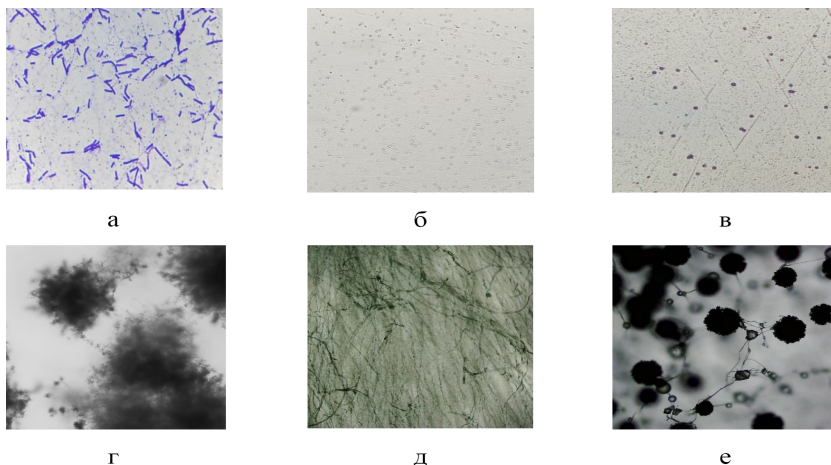


Рис. 2. Микрофотографии выделенных штаммов из исследуемых образцов почвы: а – *Bacillus*; б – кокки; в – дрожжи (*Faex*); г – *Actinomycetota*; д – макромицеты; е – микромицеты (увеличение 100×13,5)

Fig. 2. Microphotographs of strains isolated from the soil samples under study: а – *Bacillus*; б – cocci; в – yeast (*Faex*); д – *Actinomycetota*; е – macromycetes; ф – micromycetes (magnification 100×13.5)

Пероксидазная активность (ПО), важная в процессе деградации ароматических соединений, также резко снижена: с 7,5 мг/20 г (контроль) до значений 2,8–3,35 мг/20 г. Наибольшее угнетение зафиксировано в центре полигона (2,8) и в северной части (3,1).

Полифенолоксидаза (ПФО), играющая ключевую роль в трансформации фенольных загрязнителей, демонстрирует аналогичное угнетение – от 2,4 до 4,3 мг бензох/20 г почвы/4 ч по сравнению с контрольным вариантом 6,8 ПФО – 6,8 мг бензох/20 г почвы/4ч. Особенно низкие значения отмечены в центре полигона (2,4 ПФО – 6,8 мг бензох/20 г почвы/4ч) и на севере (3,0 ПФО – 6,8 мг бензох/20 г почвы/4ч), что может свидетельствовать о нарушении метаболизма ароматических соединений фенольной природы почвенной микробиоты.

Инвертазная активность, отвечающая за разложение углеводов (сахаров), оказалась также существенно сниженной. В частности, в северной части полигона зафиксировано минимальное значение – 1,8 мг глюкоз/г почвы/ч, в то время как в контроле она составляла 6,9 глюкоз/г почвы/ч. Это свидетельствует о резком снижении углеводного обмена в почве и, вероятно, о дефиците количества активных сапротрофов.

Интересно, что в образце, отобранном в 2,0 км от полигона, наблюдается частичное восстановление ферментативной активности (например, ПФО – 4,3 бензох/20 г почвы/4ч; инвертаза – 4,1 глюкоз/г почвы/ч), однако показатели остаются значительно ниже контрольных, что может свидетельствовать о переносе загрязняющих веществ в прилегающие территории.

Таким образом, полученные данные подтверждают, что активность почвенных микроорганизмов и ферментов может служить чувствительным биоиндикатором экологического состояния почв могильника ядовитых веществ Форишского района Джизакской области. Выявленные изменения указывают на выраженное техногенное угнетение ферментативной системы микробного сообщества полигона. Это подчёркивает актуальность проведения мероприятий по биологической биоремедиации, включая восстановление численности микробного сообщества и ферментативного потенциала, как важного показателя устойчивости почвенных экосистем.

Проведённый агрохимический анализ исследуемых почв, отобранных с различных участков полигона и прилегающих территорий на расстоянии 2,0 км, выявил значительную пространственную неоднородность по содержанию гумуса, валовых форм элементов питания (азот, фосфор, калий) и соотношению углерода к азоту (C/N), отражающему степень минерализации органического вещества и обогащённости почвы азотом.

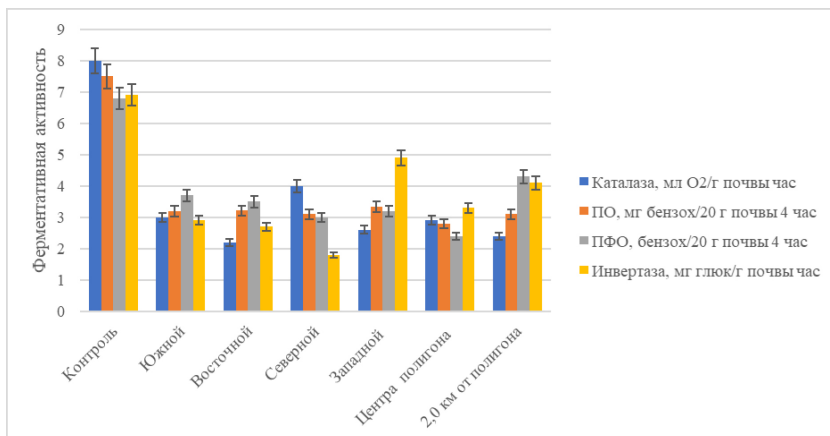


Рис. 3. Ферментативная активность почвенных образцов, отобранных с различных участков полигона хранения токсичных веществ (Джизакская область)

Fig. 3. Enzymatic activity of soil samples collected from various areas of a toxic waste storage site (Jizzakh Region)

Наибольшее содержание гумуса выявлено в **южной** (3,048%) и **западной** (1,977%) частях полигона, что позволяет отнести эти почвы к категории *очень богатых* по органическому веществу. Высокое содержание углерода гумуса (1,772% и 1,149% соответственно) свидетельствует о достаточном накоплении органических остатков, что потенциально может поддерживать их биологическую активность. Тем не менее, **калийное обеспечение в этих участках оценивается как низкое**, особенно в западной части (0,84% – *очень бедная обеспеченность*), что может быть связано с вымыванием калия или его фиксацией в недоступной форме (табл. 2).

Образец почвы из **центра полигона** демонстрирует достаточно высокое содержание гумуса (1,751%) и углерода (1,018%), однако обеспеченность фосфором и калием находится лишь на среднем и низком уровнях, соответственно. Это может свидетельствовать о нарушении круговорота питательных веществ на фоне остаточной органической насыщенности и, возможным влиянием ядовитых веществ.

Наименее плодородные почвы зафиксированы в **восточной** (гумус – 0,844%) и **северной** (гумус – 0,638%) частях полигона. Данные почвы относятся к категории *бедных* по всем ключевым элементам питания – азоту, фосфору и особенно калию. При этом, несмотря на низкие абсолютные показатели, отношение C/N в этих обеих зонах составляет 7,9, что указы-

вает на сравнительно высокую обогащённость азотом в отношении гумусного углерода, возможно за счёт снижения микробной активности и замедления гумусового цикла.

Образец, отобранный в 2 км от полигона, имеет *средний* уровень содержания гумуса (0,949%) и углерода (0,552%), однако оказался бедным по азоту (0,068%) и фосфору (0,138%). При этом калийное содержание остаётся очень низким (1,02%) – несмотря на удалённость от источника загрязнения, это может свидетельствовать о длительном распространении последствий загрязнения на прилегающие территории, а также об истощении почвы.

Таблица 2.

**Агрохимические свойства почвенных образцов полигона ядохимикатов,
Джизакская область**

Table 2. Agrochemical Properties of Soil Samples from the Pesticide Dumping Site, Jizzakh Region

№ п/п	Место отбора образцов почвы, часть*	Гу- мус, %	Оцен- ка обе- спеченно- сти	Угле- род гуму- са, % (Сг, %)	Содержание валовых форм					C/N	Обога- щен- ность азо- том, C/N	
					Азо- та, %	Оцен- ка обе- спеченно- сти	Фос- фора, %	Очень бога- тые	Ка- лия, %			Оценка обеспе- ченно- сти
1	Южной	3,048	Очень бога- тые	1,772	0,186	Очень бога- тые	0,271	Очень бога- тые	1,71	Бедные	9,5	Сред- няя
2	Восточ- ной	0,844	Бед- ные	0,491	0,062	Бед- ные	0,142	Бедные	0,78	Очень бедные	7,9	Высо- кая
3	Север- ной	0,638	Бед- ные	0,371	0,047	Бед- ные	0,194	Сред- ние	0,90	Очень бедные	7,9	Высо- кая
4	Западной	1,977	Очень бога- тые	1,149	0,122	Сред- ние	0,176	Сред- ние	0,84	Очень бедные	9,4	Сред- няя
5	Центра полигона	1,751	Бога- тые	1,018	0,116	Сред- ние	0,170	Сред- ние	0,72	Очень бедные	8,8	Сред- няя
6	2,0 км от полигона	0,949	Сред- ние	0,552	0,068	Бед- ные	0,138	Бедные	1,02	Очень бедные	8,1	Сред- няя

Отношение C/N в диапазоне 7,9–9,5 по всем участкам соответствует значениям, характерным для минеральных почв с органической составляющей, при этом наиболее отмечены в южной, западной и центральной частях (C/N – около 9,0), что подтверждает их относительное преимущество по биогенному потенциалу.

Таким образом, в совокупности проведенных экспериментов и полученных данных было установлено, что южная и западная части полигона

демонстрируют наилучшие агрохимические параметры, особенно по содержанию гумуса и азота, однако требуют компенсации калийного дефицита. Почва центральной зоны характеризуется сохранённым органическим потенциалом, но оказался ограниченным минеральным питанием. Северная и восточная части полигона подверглись наибольшей деградации, отличающиеся бедностью по всем основным элементам, указывающей на техногенное истощение. Участок за пределами полигона в расстоянии 2,0 км также проявляет признаки снижения плодородия, что может быть связано с миграцией загрязняющих веществ со стороны полигона в течение долгих лет.

В совокупности, можно заключить, что полученные результаты подчёркивают необходимость проведения целенаправленных мероприятий по агрохимической коррекции почв на территории и в окрестностях полигона, в том числе внесения органических удобрений, биопрепаратов микробного происхождения, калийных соединений, особенно в зонах с нарушенным микобиотой и минеральным балансом.

Таблица 3.

**Агрохимические показатели почвенных образцов полигона
ядохимикатов Джизакской области**

Table 3. Agrochemical parameters of soil samples from the toxic chemicals disposal site in the Jizzakh Region

№	Место отбора образцов почвы, часть*	Содержание элементов и степени обеспеченности					
		Нитрат N-NO ₃	Оценка обеспеченности	P ₂ O ₅	Оценка обеспеченности	K ₂ O	Оценка обеспеченности
		мг/кг		мг/кг		мг/кг	
1	Южной	69,7	Высокая	33,0	Средняя	409,4	Очень высокая
2	Восточной	22,9	Низкая	34,0	Средняя	252,8	Средняя
3	Северной	28,8	Низкая	27,0	Низкая	325,1	Высокая
4	Западной	26,3	Низкая	26,0	Низкая	349,2	Высокая
5	Центра полигона	25,1	Низкая	32,0	Средняя	301,0	Высокая
6	2,0 км от полигона	42,0	Нормальная	18,0	Низкая	397,3	Высокая

Результаты агрохимического анализа показали существенные различия в содержании подвижных форм основных макроэлементов – азота, фосфора и калия – между различными участками обследуемой территории, что свидетельствует о разной степени техногенного влияния и агроэкологического состояния почв (табл. 2).

Содержание нитратного азота в почвах варьировало от 22,9 до 69,7 мг/кг, что указывает на значительную дифференциацию азотного режима:

Высокий уровень обеспеченности зафиксирован в южной части полигона (69,7 мг/кг), что может быть связано с повышенной микробной активностью или остаточным влиянием органических загрязнителей, способствующих минерализации азотсодержащих соединений.

Низкая обеспеченность наблюдается в большинстве зон полигона – восточной, северной, западной и центральной, где содержание нитратов не превышает 30 мг/кг. Это свидетельствует о слабой активности почвенной микробиоты и нарушении азотного цикла.

Участок на расстоянии 2 км от полигона демонстрирует нормальный уровень обеспеченности $N-NO_3$ (42,0 мг/кг), что может свидетельствовать о частичном восстановлении азотного баланса вне зоны прямого техногенного воздействия.

Содержание подвижного фосфора (P_2O_5) в образцах почв варьирует от 18,0 до 34,0 мг/кг: средний уровень обеспеченности P_2O_5 наблюдается в южной, восточной и центральной частях полигона (32,0–34,0 мг/кг), что, вероятно, отражает остаточное присутствие доступных фосфорсодержащих соединений.

Низкий уровень фосфора зафиксирован в северной и западной частях, а также на удалённом участке (18,0 мг/кг), что может быть следствием низкой микробиологической активности и слабой фосфатмобилизующей способности почв.

Содержание подвижного калия (K_2O) колеблется в диапазоне 252,8–409,4 мг/кг, что отражает, в целом, благоприятное калийное обеспечение:

Очень высокая обеспеченность K_2O характерна для южной части (409,4 мг/кг), а также участка в 2 км от полигона (397,3 мг/кг), что может быть связано как с природной калийной насыщенностью почвообразующих пород, так и с остаточным техногенным калийным фоном.

В остальных точках (восточная, северная, западная, центральная части) содержание калия также находится на уровне высокой и средней обеспеченности, что даёт определённые основания для сохранения калийного потенциала в этих почвах, несмотря на их общую деградацию.

Агрохимический анализ показывает, что южная часть полигона обладает наилучшим уровнем обеспеченности основными тремя макроэлементами (азот, фосфор, калий), что делает её потенциально пригодной для биорекультивации с минимальными затратами на агрохимическую коррекцию.

Почвы северной, западной и центральной зоны характеризуются недостаточным содержанием азота и фосфора при умеренном и/или высоком содержании калия, что указывает на необходимость внесения азотных и фосфорных удобрений при проведении рекультивационных мероприятий и процессов биоремедиации.

Отдалённый участок (2 км от полигона) демонстрирует тенденцию к восстановлению, однако низкий уровень подвижного фосфора остаётся ограничивающим фактором.

Таким образом, содержание подвижных форм элементов питания чётко отражает степень техногенной трансформации почв и может служить индикатором для разработки зонально-ориентированных стратегий биоремедиации загрязнённых территорий.

Заключение

Микробиологический анализ почвенных образцов, проведённый на различных элективных питательных средах при степени разведения 10^5 и 72-часовой инкубации, позволил количественно охарактеризовать основные таксономические группы микроорганизмов – бактерии, грибы и актиномицеты – в зависимости от зоны отбора и физического состояния почвы (рис. 2).

Результаты показали, что максимальные значения численности микробных сообществ зарегистрированы в контрольной пробе, отобранной на территории Института микробиологии АН РУз (г.Ташкент), в которой общая численность составила 4905×10^5 КОЕ/г, включая бактерии (3039×10^5), грибы (987×10^5) и актиномицеты (879×10^5), что свидетельствует о высокой биологической активности и сбалансированном состоянии почвенной экосистемы. Данный образец отличался также благоприятными физическими свойствами: рыхлая структура, хорошая осаждаемость, отсутствие мутности (табл. 1).

На фоне контрольного образца все исследованные почвы полигона характеризуются резким снижением микробной численности и разнообразия, что свидетельствует о значительном техногенном воздействии окружающей среды. Минимальная суммарная численность микроорганизмов – 25×10^5 КОЕ/г – зафиксирована в центральной части полигона и сопровождается крайне неблагоприятными физико-химическими параметрами почвы.

Анализ ферментативной активности почв показал, что наиболее высокие активности всех изученных ферментов (каталаза, ПФО, ПО, инвертаза) наблюдаются в контрольном образце. В загрязнённых зонах каталаза варьирует от 2,2 до 4,0 мл O_2 /г·ч, инвертаза от 1,8 до 4,9 мг глюкоз/г·ч, что

свидетельствует о подавлении роста микробного сообщества, активности и снижении метаболического потенциала почвенного биоценоза.

Агрохимический анализ выявил пространственную неоднородность, проявляющиеся в содержании гумуса, валовых форм элементов питания (азота, фосфора, калия) и подвижных соединений (N-NO_3 , P_2O_5 , K_2O). Южная и западная части полигона показали наилучшие показатели по содержанию гумуса и углерода, но характеризуются бедным калийным обеспечением. Восточная и северная зоны наиболее обеднены по всем питательным элементам.

Содержание нитратного азота в исследуемых почвах колебалось от 22,9 до 69,7 мг/кг, подвижного фосфора – от 18,0 до 34,0 мг/кг, а калия – от 252,8 до 409,4 мг/кг. Высокая обеспеченность всеми элементами зафиксирована в южной части полигона, тогда как восточная и северная части продемонстрировали низкие уровни, что указывает на техногенную деградацию и ухудшение агрохимических характеристик.

Исходя из вышеуказанных экспериментальных данных, можно заключить: контрольный образец характеризуется высоким уровнем микробиологической и ферментативной активности, а также сбалансированными агрохимическими свойствами, что делает его эталоном ненарушенной почвы.

Южная и западная части полигона демонстрируют наилучшие агрохимические параметры, особенно по содержанию гумуса и азота, однако требуют компенсации калийного дефицита.

Центральная зона обладает сохранённым органическим потенциалом, но ограниченным минеральным питанием и низкой микробной активностью.

Северная и восточная части полигона подверглись наибольшей деградации, характеризуясь бедностью по основным элементам питания, низкой ферментативной активностью и ухудшенными физико-химическими свойствами.

Участок, расположенный на расстоянии 2 км от полигона, проявляет признаки частичного восстановления, однако сохраняет дефицит по ряду показателей, особенно по фосфору.

В совокупности, полученные результаты подчёркивают необходимость проведения целенаправленных мероприятий по биологической ремедиации и агрохимической коррекции, включая внесение прежде всего биологических препаратов микробного происхождения, органических и скорректированных количеств минеральных удобрений, особенно калий-содержащих, а также восстановление ферментативного и микробиологического потенциала почв.

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках бюджетной тематике Института микробиологии АН РУз по теме «Создание технологии биоремедиации на основе изучения загрязненных почв, микробиоты водоемов, мониторинга очагов поражения и деструктивно активных аборигенных микроорганизмов» и по контракту FL-7923051836 Узбекистан-Белоруссия.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам Государственного комитета экологии и охрана окружающей среды Джизакской области и инженеру экологу ООО «Jizzakh cement plant» Ш.М. Бурханову за оказания помощи и предоставление возможности доступа к территории полигона.

Список литературы

1. Галстян, А. Ш. (1983). Итоги изучения биологической активности почв. В *Итоги научно-исследовательских работ по генезису, биохимии, мелиорации, агрохимии и эрозии почв* (с. 41–59). Ереван.
2. ГОСТ 17.5.4.02-84. *Охрана природы. Рекультивация земель. Метод измерения и расчёта суммы токсичных солей во вскрышных и вмещающих породах.*
3. ГОСТ 26205-91. *Методы определения подвижного фосфора и калия по Чирикову и К. Мачигину.*
4. ГОСТ 26213-91. *Почвы. Методы определения органического вещества.*
5. ГОСТ 26487-85. *Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО.*
6. ГОСТ 27753.3-88. *Грунты тепличные. Метод определения pH водной суспензии.*
7. ГОСТ Р 59540-2021. *Грунты. Методы лабораторного определения степени засоленности.*
8. Иркитова, А. Н., Дудник, Д. Е., Малкова, А. В., & Хлопова, К. В. (2025). Оценка биобезопасности природных штаммов *Bacillus spp.*, обладающих ценными биотехнологическими свойствами. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(3), 188–207. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-3-1186>. EDN: <https://elibrary.ru/DSUPHE>
9. Карагіна, Л. А., & Михайлоўская, Н. А. (1986). Вызначэнне актыўнасці поліфенолаксідазы і пераксідазы у глебе. *Весці Акадэміі навук БССР. Серыя сельскагаспадарчых навук*, (2), 40–41.
10. Ковриго, В. П., Кауричев, И. С., & Бурлакова, Л. М. (2000). *Почвоведение с основами геологии*. Москва: Колос. 416 с. ISBN: 5-10-003135-2. EDN: <https://elibrary.ru/QYVLSJ>

11. Котенко, М. Е., Сорокин, А. Е., Савич, В. И., Подволоцкая, Г. В., & Мохаммади, Ш. (2020). Изменение засоления почв во времени и в пространстве. *Плодородие*, (1), 43–48. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.112.13>. EDN: <https://elibrary.ru/CYZGPH>
12. Академия наук УзССР. (1999). *Методы агрохимических, агрофизических и микробиологических исследований в поливных хлопковых районах*. Ташкент. Лаборатория массовых анализов. (2005). *Методы химических анализов почвы, применяемые в лаборатории массовых анализов*. Ташкент.
13. Михайликова, В. В., & Стребкова, Н. С. (2023). Динамика применения пестицидов в Российской Федерации. *Агрохимия*, (9), 37–41. <https://doi.org/10.31857/S0002188123090089>. EDN: <https://elibrary.ru/VYIKSQ>
14. Хазиев, Ф. Х. (1990). *Методы почвенной энзимологии*. Москва: Наука. 186 с. ISBN: 5-02-003454-1. EDN: <https://elibrary.ru/VYSCSV>
15. Хазиев, Ф. Х., Агафарова, Я. М., & Гулько, А. Е. (1988). Ускоренный колориметрический метод определения инвертазной активности почв. *Почвоведение*, (11), 119–12.
16. Orgiazzi, A., Bardgett, R. D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M. J. I., Chotte, J. L., De Deyn, G. B., Eggleton, P., Fierer, N., Fraser, T., Hedlund, K., Jeffery, S., Johnson, N. C., Jones, A., et al. (2016). *Global Soil Biodiversity Atlas*.
17. Belovezhets, L. A., Levchuk, A. A., & Pristavka, E. O. (2023). Prospects for application of microorganisms in bioremediation of soils contaminated with pesticides. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 59(1), 15–20. <https://doi.org/10.1080/03601234.2023.2281197>. EDN: <https://elibrary.ru/VPFGJJ>
18. Ewere, E. E., White, S., Mauleon, R., & Benkendorff, K. (2024). Soil microbial communities and degradation of pesticides in greenhouse effluent through a woodchip bioreactor. *Environmental Pollution*, 359, 124561. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124561>
19. Walder, F., Schmid, M. W., Riedo, J., Valzano-Held, A. Y., Banerjee, S., Büchi, L., Bucheli, T. D., & van der Heijden, M. G. A. (2022). Soil microbiome signatures are associated with pesticide residues in arable landscapes. *Soil Biology and Biochemistry*, 174, 108830. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108830>
20. Kuypers, M. M. M., Marchant, H. K., & Kartal, B. (2018). The microbial nitrogen-cycling network. *Nature Reviews Microbiology*, 16(5), 263–276. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2018.9>. EDN: <https://elibrary.ru/VGWXWK>
21. Swaine, M., Bergna, A., Oyserman, B., Vasileiadis, S., Karas, P. A., Screpanti, C., & Karpouzias, D. G. (2025). Impact of pesticides on soil health: Identification of key soil microbial indicators for ecotoxicological assessment strategies through meta-analysis. *FEMS Microbiology Ecology*, 101(6), fiaf052. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiaf052>

22. Hvězdová, M., Kosubová, P., Košíková, M., Scherr, K. E., Šimek, Z., Brodský, L., Šudoma, M., Škulcová, L., Sářka, M., Svobodová, M., Krkošková, L., Vašíčková, J., Neuwirthová, N., Bielská, L., & Hofman, J. (2018). Currently and recently used pesticides in Central European arable soils. *Science of the Total Environment*, 613–614, 361–370. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.049>
23. Riedo, J., Wettstein, F. E., Rösch, A., Herzog, C., Banerjee, S., Büchi, L., Charles, R., Wächter, D., Martin-Laurent, F., Bucheli, T. D., Walder, F., & van der Heijden, M. G. A. (2021). Widespread occurrence of pesticides in organically managed agricultural soils – the ghost of a conventional agricultural past? *Environmental Science & Technology*, 55(5), 2919–2928. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06405>. EDN: <https://elibrary.ru/POZEMG>
24. Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2018). *Soil Pollution: A Hidden Reality*. Rome: FAO. 142 p.
25. Bender, S. F., Wagg, C., & van der Heijden, M. G. A. (2016). An underground revolution: Biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(6), 440–452. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016>
26. Silva, V., Mol, H. G. J., Zomer, P., Tienstra, M., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2019). Pesticide residues in European agricultural soils – a hidden reality unfolded. *Science of the Total Environment*, 653, 1532–1545. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.441>. EDN: <https://elibrary.ru/TLGKDA>

References

1. Galstyan, A. Sh. (1983). Results of studying the biological activity of soils. In *Results of research works on the genesis, biochemistry, reclamation, agrochemistry and erosion of soils* (pp. 41–59). Yerevan.
2. GOST 17.5.4.02-84. *Nature protection. Land reclamation. Method for measuring and calculating the amount of toxic salts in overburden and enclosing rocks.*
3. GOST 26205-91. *Methods for determining mobile phosphorus and potassium according to Chirikov and K. Machigin.*
4. GOST 26213-91. *Soils. Methods for determining organic matter.*
5. GOST 26487-85. *Soils. Determination of exchangeable calcium and exchangeable (mobile) magnesium by TsINAO methods.*
6. GOST 27753.3-88. *Greenhouse soils. Method for determining the pH of an aqueous suspension.*
7. GOST R 59540-2021. *Soils. Methods for laboratory determination of the degree of salinity.*
8. Irkitova, A. N., Dudnik, D. E., Malkova, A. V., & Khlopova, K. V. (2025). Assessment of the biosafety of natural *Bacillus spp.* strains with valuable biotechnologi-

- cal properties. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(3), 188–207. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-3-1186>. EDN: <https://elibrary.ru/DSUPHE>
9. Karahina, L. A., & Mikhailouskaya, N. A. (1986). Determination of polyphenol oxidase and peroxidase activity in soil. *Vestsi Akademii navuk BSSR. Seryya sel'skagaspadarchykh navuk*, (2), 40–41.
 10. Kovrigo, V. P., Kaurichev, I. S., & Burlakova, L. M. (2000). *Soil science with the basics of geology*. Moscow: Kolos. 416 p. ISBN: 5-10-003135-2. EDN: <https://elibrary.ru/QYVLSJ>
 11. Kotenko, M. E., Sorokin, A. E., Savich, V. I., Podvolotskaya, G. V., & Mohammadi, Sh. (2020). Changes in soil salinity over time and space. *Plodorodie*, (1), 43–48. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.112.13>. EDN: <https://elibrary.ru/CYZGPH>
 12. Academy of Sciences of the UzSSR. (1999). *Methods of agrochemical, agrophysical and microbiological research in irrigated cotton areas*. Tashkent. Laboratory of Mass Analyses. (2005). *Methods of chemical soil analyses used in the Laboratory of Mass Analyses*. Tashkent.
 13. Mikhailikova, V. V., & Strebkova, N. S. (2023). Dynamics of pesticide use in the Russian Federation. *Agrokhimiya*, (9), 37–41. <https://doi.org/10.31857/S0002188123090089>. EDN: <https://elibrary.ru/VYIKSQ>
 14. Khaziev, F. Kh. (1990). *Methods of soil enzymology*. Moscow: Nauka. 186 p. ISBN: 5-02-003454-1. EDN: <https://elibrary.ru/VYSCSV>
 15. Khaziev, F. Kh., Agafarova, Ya. M., & Gulko, A. E. (1988). Accelerated colorimetric method for determining invertase activity in soils. *Pochvovedenie*, (11), 119–12.
 16. Orgiazzi, A., Bardgett, R. D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M. J. I., Chotte, J. L., De Deyn, G. B., Eggleton, P., Fierer, N., Fraser, T., Hedlund, K., Jeffery, S., Johnson, N. C., Jones, A., et al. (2016). *Global Soil Biodiversity Atlas*.
 17. Belovezhets, L. A., Levchuk, A. A., & Pristavka, E. O. (2023). Prospects for application of microorganisms in bioremediation of soils contaminated with pesticides. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 59(1), 15–20. <https://doi.org/10.1080/03601234.2023.2281197>. EDN: <https://elibrary.ru/VPFGJJ>
 18. Ewere, E. E., White, S., Mauleon, R., & Benkendorff, K. (2024). Soil microbial communities and degradation of pesticides in greenhouse effluent through a wood-chip bioreactor. *Environmental Pollution*, 359, 124561. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124561>
 19. Walder, F., Schmid, M. W., Riedo, J., Valzano-Held, A. Y., Banerjee, S., Büchi, L., Bucheli, T. D., & van der Heijden, M. G. A. (2022). Soil microbiome signatures are associated with pesticide residues in arable landscapes. *Soil Biology and Biochemistry*, 174, 108830. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108830>

20. Kuypers, M. M. M., Marchant, H. K., & Kartal, B. (2018). The microbial nitrogen cycling network. *Nature Reviews Microbiology*, 16(5), 263–276. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2018.9>. EDN: <https://elibrary.ru/VGWXWK>
21. Swaine, M., Bergna, A., Oyserman, B., Vasileiadis, S., Karas, P. A., Screpanti, C., & Karpouzas, D. G. (2025). Impact of pesticides on soil health: Identification of key soil microbial indicators for ecotoxicological assessment strategies through meta-analysis. *FEMS Microbiology Ecology*, 101(6), fiaf052. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiaf052>
22. Hvězdová, M., Kosubová, P., Košíková, M., Scherr, K. E., Šimek, Z., Brodský, L., Šudoma, M., Škulcová, L., Sářka, M., Svobodová, M., Krkošková, L., Vašíčková, J., Neuwirthová, N., Bielská, L., & Hofman, J. (2018). Currently and recently used pesticides in Central European arable soils. *Science of the Total Environment*, 613–614, 361–370. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.049>
23. Riedo, J., Wettstein, F. E., Rösch, A., Herzog, C., Banerjee, S., Büchi, L., Charles, R., Wächter, D., Martin Laurent, F., Bucheli, T. D., Walder, F., & van der Heijden, M. G. A. (2021). Widespread occurrence of pesticides in organically managed agricultural soils – the ghost of a conventional agricultural past? *Environmental Science & Technology*, 55(5), 2919–2928. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06405>. EDN: <https://elibrary.ru/POZEMG>
24. Rodríguez Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2018). *Soil pollution: A hidden reality*. Rome: FAO. 142 p.
25. Bender, S. F., Wagg, C., & van der Heijden, M. G. A. (2016). An underground revolution: Biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(6), 440–452. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016>
26. Silva, V., Mol, H. G. J., Zomer, P., Tienstra, M., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2019). Pesticide residues in European agricultural soils – a hidden reality unfolded. *Science of the Total Environment*, 653, 1532–1545. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.441>. EDN: <https://elibrary.ru/TLGKDA>

ВКЛАД АВТОРОВ

Ахмедова З.Р.: планирование всех экспериментов, основная идея, обеспечение исходными материалами, реактивами, отбор почвенных образцов, контроль, обсуждение и участия в экспериментах, написание, окончательное редактирование статьи.

Шонахунов Т.Э.: изучение микробиологического состава почв полигона, взятые различных участков, выделение изолятов культур, определение активностей ферментов, статистический анализ результатов, написание раздела статьи результаты,

Ибрагимов А.А.: изучение микробиологического состава почв полигона, интерпретация, агрохимический анализ, статистическая обработка, анализ результатов, оформления раздела статьи обсуждение

Хамраева З.Т.: выделение чистых культур почвенных микроорганизмов, локализованных в участках полигона, участие в проведении агрохимических анализов почв полигона, содержание солей, микропирование, статистический анализ результатов, написание раздела статьи результаты

Яхяева М.А.: изучение ферментативной активности почв полигона, подвижные формы элементов почвы, содержание гумуса, статистический анализ результатов, написание раздела статьи методы исследований.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Zakhro R. Akhmedova: planning of all experiments, main idea, provision of source materials, reagents, collection of soil samples, control, discussion and participation in experiments, writing, final editing of the article.

Tulkin E. Shonakhunov: study of the microbiological composition of the soils of the landfill, taken from different areas, isolation of culture isolates, determination of enzyme activities, statistical analysis of the results, writing the results section of the article,

Abdulaziz A. Ibragimov: study of the microbiological composition of the landfill soils, interpretation, agrochemical analysis, statistical processing, analysis of the results, design of the discussion section of the article

Ziyoda T. Khamraeva: isolation of pure cultures of soil microorganisms localized in the areas of the landfill, participation in conducting agrochemical analyses of the landfill soils, salt content, microcopying, statistical analysis of the results, writing the results section of the article

Munavvar A. Yakhyayeva: study of the enzymatic activity of the landfill soils, mobile forms of soil elements, humus content, statistical analysis of the results, writing the section of the article on research methods.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Ахмедова Захро Рахматовна, д.б.н., профессор, академик АН Турон, заведующая лабораторией «Природоохранных биотехнологий»

Институт микробиологии Академии наук Республики Узбекистан

ул. А. Кадыри, 7Б, г. Ташкент, Узбекистан

akhmedovazr@mail.ru

Шонахунов Тулкин Эркинович, PhD, старший научный сотрудник лаборатории «Природоохранных биотехнологий»

Институт микробиологии Академии наук Республики Узбекистан

ул. А. Кадыри, 7Б, г. Ташкент, Узбекистан
brus_li89@mail.ru

Ибрагимов Абдулазиз Адхамович, базовый докторант

Институт микробиологии Академии наук Республики Узбекистан
ул. А. Кадыри, 7Б, г. Ташкент, Узбекистан
a.adkhamovich@gmail.com

Хамраева Зиёда Таштемировна, младший научный сотрудник лаборатории
«Природоохранных биотехнологий»

Институт микробиологии Академии наук Республики Узбекистан
ул. А. Кадыри, 7Б, г. Ташкент, Узбекистан
ziyoda.khamraeva@mail.ru

Яхяева Мунаввар Абдукаххаровна, младший научный сотрудник лаборатории
«Природоохранных биотехнологий»

Институт микробиологии Академии наук Республики Узбекистан
ул. А. Кадыри, 7Б, г. Ташкент, Узбекистан
yakhyayeva_munavvar@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Zakhro R. Akhmedova, Head of the Laboratory Environmental Biotechnology

Institute of Microbiology Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
7B, A. Kadyri Str., Tashkent, Uzbekistan
akhmedovazr@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7749-2507>

ResearcherID: EJD-2266-2022

Scopus AuthorID: 57222581782

Researcher EJD-2266-2022

Tulkin E. Shonakhunov, Senior Research Fellow of the Laboratory Environmental
Biotechnology

Institute of Microbiology Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
7B, A. Kadyri Str., Tashkent, Uzbekistan
brus_li89@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6527-5316>

ResearcherID: GWJ-1603-2022

Scopus AuthorID: 57836402100

Abdulaziz A. Ibragimov, PhD Student of the Laboratory Environmental Biotechnology
Institute of Microbiology Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
7B, A. Kadyri Str., Tashkent, Uzbekistan
a.adkhamovich@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5862-3858>

Ziyoda T. Khamraeva, Junior Researcher of the Laboratory Environmental Biotechnology
Institute of Microbiology Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
7B, A. Kadyri Str., Tashkent, Uzbekistan
ziyoda.khamraeva@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0911-6155>
Scopus AuthorID: 57835925300

Munavvar A. Yakhyayeva, Junior Researcher of the Laboratory Environmental Biotechnology
Institute of Microbiology Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
7B, A. Kadyri Str., Tashkent, Uzbekistan
yakhyayeva_munavvar@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2708-7286>

Поступила 08.07.2025

После рецензирования 02.10.2025

Принята 23.10.2025

Received 08.07.2025

Revised 02.10.2025

Accepted 23.10.2025