

Амангалиев Тлеген Гарипович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель, НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Республика Казахстан, 090009, г. Уральск, ул. Жангир хана 51, e-mail: tlegenag@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9138-3059>.

Губашев Нуркен Маратович* – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, доцент, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 090000 Орал қ., <https://orcid.org/0000-0002-0914-601X>, gubashevnrken@gmail.com.

Күлбаев Рұхан Мадиярович – PhD, аға оқытушы, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 090000 Орал қ., Rukhan89@mail.ru orcid.org/0000-0001-9143-7264.

Шукуров Марклен Жексенович – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, доцент, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 090000 Орал қ., <https://orcid.org/0000-0002-9665-1814>, shukurov.marklen@mail.ru.

Амангалиев Тлеген Гарипович – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы 090000 Орал қ., Жәңгір хан көш 51, <https://orcid.org/0000-0001-9138-3059>, tlegenag@mail.ru.

Gubashev Nurken Maratovich* – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University NPJSC, Republic of Kazakhstan, 090009, Uralsk, 51 Zhangir Khan Str., e-mail: gubashevnrken@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-0914-601X>.

Kulbayev Rukhan Madiyarovich – PhD, Senior Lecturer, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University NPJSC, Republic of Kazakhstan, 090009, Uralsk, e-mail: Rukhan89@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-9143-7264>.

Shukurov Marklen Zheksenovich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University NPJSC, Republic of Kazakhstan, 090009, Uralsk, e-mail: shukurov.marklen@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9665-1814>.

Amangaliyev Tlegen Garipovich – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University NPJSC, Republic of Kazakhstan, 090009, Uralsk, 51 Zhangir Khan Str., e-mail: tlegenag@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-9138-3059>.

МРНТИ 87.21.15

УДК 631.453

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621125>

АГРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ И ФИЛЬТРАТОВ ПОЛИГОНОВ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ И ИХ РОЛИ В ФОРМИРОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ АГРОЦЕНОЗОВ

Курманбаева А.С. – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, НАО «Кокшетауский университет им. Ш.Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Баязитова З.Е.* – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, НАО «Кокшетауский университет им. Ш.Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Сафронова Н.М. – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, НАО «Кокшетауский университет им. Ш.Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Жапарова С.Б. – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, НАО «Кокшетауский университет им. Ш.Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

В работе проведена комплексная агрохимическая оценка загрязнения почв и фильтрата действующих полигонов твёрдых бытовых отходов Акмолинской области Республики Казахстан с целью выявления миграционных механизмов загрязняющих веществ и оценки экологического риска для агроценозов. Исследование основано на анализе композитных проб почв и фильтрата, отобранных на 15 полигонах ТБО и контрольном участке. Для интегральной оценки загрязнения использованы показатель суммарного загрязнения (Zс) и индекс геоаккумуляции (Igeo), рассчитанные с применением локального фонового уровня. Миграционные связи между компонентами системы «фильтрат–почва» проанализированы с использованием коэффициента корреляции Пирсона и визуализированы с помощью тепловых карт.

Установлено, что загрязнение почв в зоне влияния полигонов носит хронический и диффузный характер, часто проявляясь в латентной форме без превышения санитарных нормативов. Доминирующим элементом суммарного загрязнения является цинк, тогда как кадмий формирует устойчивый техногенный фон, выявляемый по значениям Igeo даже при низких концентрациях в фильтрате. Локальные очаги накопления ртути и свинца характеризуются повышенной экологической значи-

мостью. Анализ фильтрата показал высокую степень минерализации и преобладание труднорастворимых органических соединений, способствующих миграции токсичных элементов. Корреляционный анализ подтвердил ключевую роль фильтрата в формировании вторичного загрязнения почв, особенно для Cd, As, Pb и K.

Полученные результаты обосновывают необходимость применения интегральных индексов и риск-ориентированного подхода при экологической оценке полигонов ТБО и мониторинге состояния агроландшафтов.

Ключевые слова: загрязнение почв, полигоны ТБО, тяжелые металлы, фильтрат, экологический риск, агроценозы, геохимические индексы загрязнения

ҚАТТЫ ТҰРМЫСТЫҚ ҚАЛДЫҚТАР ПОЛИГОНДАРЫ ТОПЫРАҚТАРЫ МЕН ФИЛЬТРАТТАРЫНЫҢ ЛАСТАНУЫН АГРОХИМИЯЛЫҚ БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ АГРОЦЕНОЗДАР ҮШІН ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІП-ҚАТЕРДІ ҚАЛЫПТАСТЫРУДАҒЫ РӨЛІ

Құрманбаева А.С. – биология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Баязитова З.Е.* – биология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Сафронова Н.М. – биология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Жапарова С.Б. – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада Қазақстан Республикасының Ақмола облысындағы қатты тұрмыстық қалдықтар (ҚТҚ) полигондарының топырақтары мен фильтраттарының ластануына кешенді агрохимиялық баға беріліп, ластаушы заттардың миграциялық механизмдері анықталып, агроценоздар үшін экологиялық қауіп-қатер деңгейі бағаланды. Зерттеу 15 ҚТҚ полигонында және бір бақылау учаскесінде алынған топырақ пен фильтраттың композиттік үлгілерін талдауға негізделген. Ластанудың интегралды бағасын алу үшін жергілікті фон деңгейін ескере отырып есептелген суммарлық ластану көрсеткіші (Zc) және геоаккумуляция индексі (Igeo) қолданылды. «Фильтрат–топырақ» жүйесіндегі миграциялық байланыстар Пирсон корреляция коэффициенті арқылы талданып, жылулық карталар көмегімен визуализацияланды.

Зерттеу нәтижесінде полигондар әсер ететін аймақтарда топырақ ластануының созылмалы және диффузиялық сипатта екені, көптеген жағдайларда санитарлық нормативтерден асусыз латентті түрде көрінетіні анықталды. Суммарлық ластануда негізгі элемент ретінде мырыш басым болды, ал кадмий фильтраттағы төмен концентрацияларына қарамастан Igeo мәндері бойынша тұрақты техногендік фон қалыптастыратыны көрсетілді. Сынап пен қорғасынның локальды жиналу ошақтары экологиялық тұрғыдан жоғары маңыздылығымен ерекшеленеді. Фильтрат құрамын талдау оның жоғары минералданғанын және қиын ыдырайтын органикалық қосылыстардың басым екенін көрсетті, бұл улы элементтердің миграциясын күшейтеді. Корреляциялық талдау фильтраттың топырақтың екінші реттік ластануын қалыптастырудағы шешуші рөлін, әсіресе Cd, As, Pb және K элементтері үшін, растады.

Алынған нәтижелер ҚТҚ полигондарын экологиялық бағалау мен агроландшафттардың жағдайын мониторингтеу кезінде интегралды индекстерді және қауіп-қатерге бағдарланған тәсілді қолданудың қажеттілігін негіздейді.

Түйінді сөздер: топырақтың ластануы, ҚТҚ полигондары, ауыр металдар, фильтрат, экологиялық қауіп-қатер, агроценоздар, геохимиялық ластану индекстері.

AGROCHEMICAL ASSESSMENT OF SOIL AND LEACHATE CONTAMINATION AT MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS AND THEIR ROLE IN FORMING ECOLOGICAL RISK FOR AGROCENOSSES

Kurmanbayeva A.S. – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Bayazitova Z. Ye.* – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Safronova N.M. – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Zhaparova S.B. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

This study presents a comprehensive agrochemical assessment of soil and leachate contamination at operating municipal solid waste (MSW) landfills in the Akmola region of the Republic of Kazakhstan, aimed at identifying pollutant migration mechanisms and assessing ecological risks for agrosystems. The research is

based on the analysis of composite soil and leachate samples collected from 15 MSW landfills and one control site. To conduct an integrated assessment of contamination, the total contamination index (Z_c) and the geoaccumulation index (I_{geo}) were calculated using a local background level. Migration relationships within the "leachate–soil" system were analyzed using Pearson correlation coefficient and visualized through heat maps.

The results indicate that soil contamination in landfill impact zones is chronic and diffuse in nature, often occurring in a latent form without systematic exceedance of sanitary standards. Zinc was identified as the dominant contributor to total contamination, whereas cadmium forms a stable technogenic background, revealed by elevated I_{geo} values even at low concentrations in leachate. Localized accumulation of mercury and lead is characterized by increased ecological significance. Leachate analysis showed a high degree of mineralization and a predominance of poorly biodegradable organic compounds, which facilitate the migration of toxic elements. Correlation analysis confirmed the key role of leachate in the formation of secondary soil contamination, particularly for Cd, As, Pb, and K.

The obtained results substantiate the necessity of applying integrated indices and a risk-oriented approach in the environmental assessment of MSW landfills and in monitoring the condition of agricultural landscapes.

Keywords: soil contamination, municipal solid waste landfills, heavy metals, leachate, ecological risk, agrosystems, geochemical pollution indices.

Введение. В условиях роста объёмов образования твёрдых бытовых отходов и ограниченного внедрения современных технологий их переработки полигоны ТБО остаются основным источником длительного техногенного воздействия на компоненты окружающей среды [1, с. 45]. Одним из ключевых факторов экологической опасности полигонов является образование фильтрата – высокоминерализованной многокомпонентной среды, содержащей органические вещества, тяжёлые металлы и другие токсиканты, способные мигрировать в почвы и вовлекаться в биогеохимические циклы [2, с. 62, 3, с. 182].

Согласно современным концепциям экологической геохимии и техногенного почвообразования, почвы в зоне влияния полигонов ТБО функционируют как аккумуляционно-трансформационные среды, в которых происходит перераспределение и накопление загрязняющих веществ, в том числе элементов I–II классов опасности (Cd, Pb, Hg, As) [4, с. 263, 5, с. 145].

При этом фильтрат рассматривается не только как источник загрязнения водных объектов, но и как ключевой механизм вторичного загрязнения почвенного покрова, особенно в условиях отсутствия инженерных систем его сбора и очистки [6, с. 52, 7, с. 63, 8, с. 85, 9, с. 78].

Для аграрно ориентированных регионов, к которым относится Акмолинская область Республики Казахстан, проблема загрязнения почв вблизи полигонов ТБО приобретает особую значимость [10, с. 86]. Почвы, используемые в сельскохозяйственном обороте или находящиеся в непосредственной близости от агроценозов, при накоплении тяжёлых металлов могут становиться источником загрязнения сельскохозяйственной продукции [11, с. 145, 12, с. 99] и представлять угрозу продовольственной безопасности [13, с. 44].

С позиций законодательства Республики Казахстан, охрана почв и предотвращение их деградации являются приоритетными направлениями экологической политики. В соответствии с Экологическим кодексом РК от 2 января 2021 года № 400-VI ЗПК «Охране от уничтожения, деградации, истощения, повреждения, загрязнения или иного вредного воздействия подлежат все компоненты природной среды, включая почвы» – что подчёркивает обязательство государства предотвращать и устранять негативные воздействия на земельные ресурсы [14]. Предотвращение негативного воздействия отходов на земельные ресурсы и обеспечение экологической безопасности агроэкосистем входит в число обязательных задач при эксплуатации объектов размещения отходов. Аналогичные положения закреплены в Земельном кодексе РК и санитарных нормативах, регламентирующих предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в почвах сельскохозяйственного назначения [15].

Несмотря на наличие нормативных требований, на практике экологический контроль полигонов ТБО зачастую ограничивается оценкой отдельных показателей и не учитывает интегральный характер загрязнения и миграционные процессы между фильтратом и почвенным покровом [16, с. 89]. В этом контексте применение интегральных индексов загрязнения (Z_c) и индекса геоаккумуляции (I_{geo}) [17, с. 205] соответствует современному риск-ориентированному подходу к экологической оценке, широко используемому в международных исследованиях для диагностики диффузного и латентного загрязнения почв [4, с. 305].

Особую научную и практическую значимость представляет выявление взаимосвязей между химическим составом фильтрата и почв, поскольку именно такие связи позволяют обосновать механизмы миграции тяжёлых металлов, отличить антропогенные источники от фоновых и перейти от констатации загрязнения к его причинно-следственной интерпретации [18, с. 99].

Целью настоящего исследования является проведение комплексной агрохимической оценки загрязнения почв и фильтрата полигонов твёрдых бытовых отходов Акмолинской области Республики Казахстан, выявление миграционных механизмов загрязняющих веществ в системе «фильтрат–почва» и оценка экологического риска для агроценозов.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи**:

1. Провести агрохимическую оценку почв в зоне влияния полигонов ТБО и определить содержание тяжёлых металлов и других загрязняющих веществ.

2. Исследовать химический состав фильтрата полигонов ТБО и выявить его роль как источника вторичного загрязнения почвенного покрова.
3. Выполнить интегральную оценку уровня загрязнения почв с использованием геохимических индексов (Z_c и I_{geo}) с учётом локального фонового уровня.
4. Проанализировать миграционные связи в системе «фильтрат–почва» на основе корреляционного анализа и выявить ключевые элементы-загрязнители.
5. Оценить характер и степень экологического риска загрязнения почв для агроценозов и обосновать применение риск-ориентированного подхода при мониторинге агроландшафтов.

Методы и материалы

Объектом исследования являлись почвы и фильтрат действующих и несанкционированных полигонов твёрдых бытовых отходов (ТБО), расположенных в пределах Акмолинской области Республики Казахстан (рисунок 1).



Рисунок 1 – Расположение исследуемых полигонов ТБО на территории Акмолинской области

В исследование были включены 15 полигонов твёрдых бытовых отходов различного эксплуатационного статуса, а также контрольные участки. Контрольные пробы почв и фильтрата отбирались на территориях, расположенных вне зоны влияния полигонов ТБО, на расстоянии не менее 5–10 км от ближайшего объекта, при сопоставимых природных условиях (тип почвы, рельеф и характер землепользования). Полевые и лабораторные исследования проводились в период с августа по октябрь 2025 года, что соответствует позднему вегетационному периоду и позволяет оценить устойчивое техногенное воздействие полигонов на почвенный покров и агроценозы. Отбор почвенных проб осуществлялся по стандартной схеме точечного отбора: на каждом объекте отбирали по десять индивидуальных проб с глубины 0–20 см. Для повышения репрезентативности применялся метод композитных проб, формируемых путём объединения равных навесок индивидуальных образцов в пределах одного полигона (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание элементов в композитных пробах почв

Полигон	Al	Cd	Ca	Co	Mg	Pb	Hg	As	K	Cr	Zn	Cu	Mo	Sn
ПДК	н/н	н/н	н/н	5,0	н/н	32,0	2,1	2,0	н/н	6,0	23,0	3,0	н/н	н/н
Бурабай	2,665	0,60	344,3	1,44	47,40	33,5	0,10	2,042	251,1	5,6	32,1	2,06	0,50	1,1
Кокшетау	0,041	1,60	2164	2,04	186,6	40,36	1,9	2,8	291,0	6,3	45,6	2,8	0,8	2,6
Зеренда	0,065	1,30	1157	1,041	109,4	26,5	0,6	1,246	335,1	4,5	36,8	2,4	0,9	1,3
Щучинск	0,326	1,05	861,2	0,84	60,32	34,2	0,5	1,2	152,5	5,1	39,4	3,2	0,26	1,02
Макинск	6,169	1,06	156,8	0,84	17,64	26,9	0,7	0,9	236,1	4,9	29,35	1,59	0,5	0,9
Степняк	0,101	0,96	842,9	0,75	101,4	21,3	0,3	0,429	43,66	4,3	19,25	2,8	0,2	0,9
Державинск	0,293	0,85	697,9	1,04	60,65	35,6	0,3	1,423	156,1	4,1	14,25	2,3	0,3	0,8
Степногорск	0,01	0,50	3175	1,04	141,1	41,2	1,9	2,136	168,1	3,2	18,26	2,14	0,8	0,9
Есиль	18,11	0,94	220,6	1,35	16,91	29,2	1,8	1,75	172,7	4,03	20,14	2,05	0,2	0,9
Акмол	1,142	0,46	404,0	1,42	48,53	16,3	0,8	0,756	238,3	4,26	18,25	2,054	0,2	1,0
Ерейментау	0,126	1,10	708,8	1,04	83,43	16,9	0,03	1,015	313,8	4,25	20,35	2,049	0,125	1,1
Атбасар	0,101	0,43	842,9	2,10	101,4	14,6	0,62	1,856	43,66	4,19	32,5	2,47	0,2	0,8

Продолжение таблицы 1

Аршалы	0,293	0,74	697,9	0,74	60,65	11,2	0,10	1,016	156,1	5,75	30,4	1,45	0,59	0,6
Акколь	0,01	1,02	3175	0,98	141,1	9,08	0,10	1,31	168,1	4,26	25,26	1,46	0,89	0,8
Егиндыколь	18,11	0,82	220,6	0,83	16,91	8,29	0,16	0,944	172,7	4,16	24,36	1,75	0,2	0,9
Контроль	0,126	0,01	708,8	0,80	83,43	5,04	0,30	0,89	313,8	2,9	13,5	0,87	0,125	0,6

Дополнительно при формировании композитных проб учитывались функциональные зоны полигонов: тело полигона и прилегающая территория в радиусе до 50 м. от его границы, что позволило получить интегральную характеристику загрязнения почвенного покрова в зоне прямого техногенного воздействия.

Отбор проб фильтрата осуществлялся независимо от точек отбора почвенных проб, поскольку формирование инфильтрационных вод на полигонах ТБО носит пространственно неоднородный и эпизодический характер и не имеет жёсткой привязки к поверхностным координатам.

Пробы фильтрата отбирались из зон естественного выхода фильтрата на поверхность (подошва тела полигона, откосы) на полигонах, не оборудованных инженерными системами сбора фильтрата.

В условиях отсутствия фильтрата в сухой период отбор проб проводился после выпадения атмосферных осадков (дождей), с интервалом 12–48 часов после осадков. При каждом отборе фиксировались гидрометеорологические условия (дата, характер и интенсивность осадков), что позволяло корректно интерпретировать полученные результаты.

Для каждого полигона формировались композитные пробы фильтрата путём объединения равных объёмов нескольких отдельных проб, отобранных в различных точках выхода фильтрата или в разные временные интервалы, табл. 2-3. Такой подход обеспечивал получение интегральной характеристики химического состава фильтрата и снижал влияние кратковременных пиковых концентраций.

Отбор проб на контрольных участках осуществлялся аналогично отбору проб почв и фильтратов на полигонах ТБО. Для каждого участка отбиралось несколько точечных проб, из которых формировались композитные (усреднённые) пробы путём объединения равных навесок почвы и равных объёмов фильтрата.

Таблица 2 – Содержание элементов в композитных пробах фильтрата

Полигон	Al	Cd	Ca	Co	Mg	Pb	Hg	As	K	Cr	Zn	Cu	Mo	Sn
Бурабай	0,32	0,05	397	0,06	56	0,13	0,10	0,94	90,4	0,078	0,09	0,023	0,042	0,13
Кокшетау	0,03	0,01	179	0,01	24	0,26	0,70	0,03	30,1	0,002	0,02	0,004	0,001	0,03
Зеренда	0,29	0,01	196	0,13	30	0,148	0,16	0,22	337	0,030	0,07	0,022	0,028	0,15
Щучинск	0,02	0,03	92	0,16	16	0,19	0,35	0,05	15,3	0,03	0,07	0,07	0,08	0,02
Макинск	0,1	0,03	202	0,22	16	0,46	0,28	0,02	15,1	0,050	0,04	0,073	0,048	0,03
Степняк	0,30	0,06	376	0,58	59	0,41	0,01	0,05	73,7	0,086	0,03	0,092	0,001	0,03
Державинск	0,20	0,04	102	0,44	23	0,31	0,10	0,30	19,9	0,037	0,04	0,054	0,001	0,03
Степногорск	0,26	0,07	93	0,50	12	0,27	0,01	0,38	11,3	0,033	0,02	0,052	0,072	0,02
Есиль	0,1	0,03	202	0,19	16	0,36	0,21	0,69	14,9	0,050	0,03	0,070	0,048	0,03
Акмол	0,30	0,06	376	0,28	59	0,31	0,20	0,05	73,7	0,086	0,03	0,071	0,001	0,03
Ерейментау	0,2	0,04	102	0,24	23	0,11	0,02	0,09	19,9	0,037	0,03	0,034	0,001	0,04
Атбасар	0,3	0,07	93	0,5	12	0,17	0,09	0,08	11,3	0,033	0,02	0,022	0,072	0,03
Аршалы	0,1	0,03	202	0,22	16	0,46	0,03	0,02	14,9	0,054	0,03	0,073	0,052	0,04
Акколь	0,30	0,06	376	0,06	58,6	0,41	0,10	0,05	71,5	0,074	0,03	0,092	0,007	0,03
Егиндыколь	0,12	0,04	102	0,05	22,2	0,31	0,02	0,30	19,9	0,047	0,02	0,054	0,004	0,02
Контроль	0,02	0,03	92,1	0,05	11,8	0,19	0,01	0,05	11,3	0,03	0,02	0,005	0,008	0,02

Таблица 3 – Содержание показателей органического загрязнения в композитных пробах фильтрата

Полигон	ХПК	БПК ₅
Бурабай	260	5,5
Кокшетау	61	15,6
Зеренда	381	6,3
Щучинск	23	12,7
Макинск	17	15,7
Степняк	90	12,4
Державинск	30	12,6
Степногорск	150	11,7
Есиль	19	12,7
Акмол	50	10,4
Ерейментау	25	10,6
Атбасар	120	10,7

Продолжение таблицы 3

Аршалы	25	11,7
Акколь	50,0	13,4
Егиндыколь	18,0	11,6
Контроль	10,0	1,0

Лабораторный анализ композитных проб почв и фильтрата включал определение валового содержания макро- и микроэлементов, а также токсичных компонентов (Al, Cd, Ca, Co, Mg, Pb, Hg, As, K, Cr, Zn, Cu, Mo и Sn). Концентрации элементов выражались в мг/кг сухого вещества для почв и в мг/дм³ для фильтрата. Аналитические процедуры выполнялись в соответствии с действующими стандартами с применением атомно-абсорбционной спектрометрии и/или ИСП-методов. Полученные значения сопоставлялись с нормативами ПДК для почв сельскохозяйственного назначения, а для нерегулируемых элементов оценка проводилась на основе сравнительного анализа и их экологической значимости. Комплексная агрохимическая оценка включала анализ абсолютных концентраций, степени превышения нормативов и вклада приоритетных токсикантов (Cd, Pb, Hg, As, Cr, Zn, Cu) в общее загрязнение, с акцентом на элементы I–II классов опасности. Результаты интерпретировались с позиций экологического риска для агроценозов, включая потенциальную миграцию тяжёлых металлов из фильтрата в почву и их накопление в корнеобитаемом слое. Статистическая обработка данных включала расчёт описательных показателей, корреляционный анализ и интегральные индексы загрязнения. Для интегральной оценки использованы показатель суммарного загрязнения (Zc) и индекс геоаккумуляции (Igeo), рассчитанные с применением контрольной композитной пробы (№16) в качестве фонового уровня. На первом этапе для каждого элемента i рассчитывали коэффициент концентрации относительно фона:

$$K_{c,i} = \frac{C_i}{C_{i,фон}} \tag{1}$$

где C_i – концентрация элемента в почве, мг/кг; $C_{i,фон}$ – фоновая концентрация по контрольной пробе, мг/кг. Интегральный показатель суммарного загрязнения определяли по формуле:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n (K_{c,i} - 1) \tag{2}$$

В расчёт включались элементы с $K_{c,i} > 1$; элементы с фоновыми значениями ($K_{c,i} \leq 1$) вклад в Z_c не вносили.

Индекс геоаккумуляции для каждого элемента рассчитывали по формуле:

$$I_{geo,i} = \log_2 \left(\frac{C_i}{1.5 \cdot C_{i,фон}} \right) \tag{3}$$

где коэффициент 1,5 учитывает естественную вариабельность фоновых концентраций.

Использование контрольной пробы в качестве фонового уровня обеспечило корректное выявление техногенного обогащения и сопоставимость результатов между исследуемыми полигонами.

Результаты и обсуждение

Результаты анализа композитных проб почв показали, что химический состав почвенного покрова в зоне влияния действующих полигонов ТБО характеризуется выраженной пространственной неоднородностью и наличием локальных превышений предельно допустимых концентраций (ПДК) по ряду токсичных элементов. На рисунке 2 показана частота превышений ПДК в почвах полигонов ТБО.

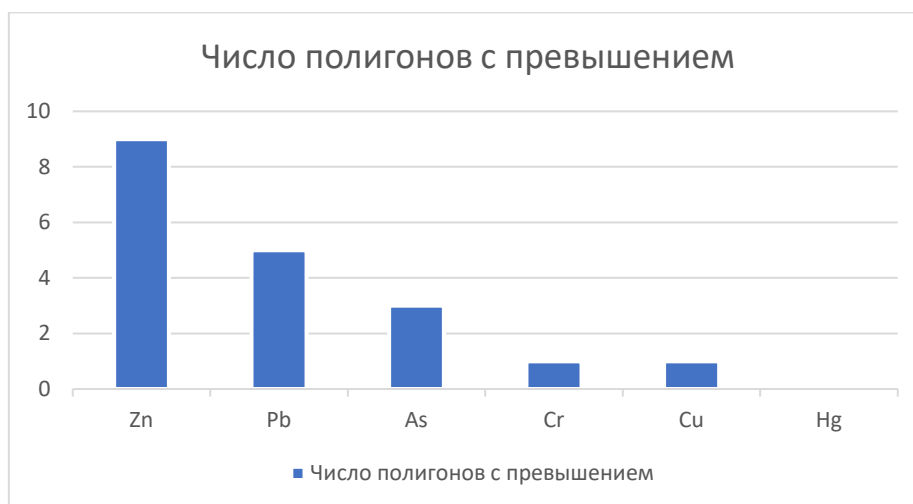


Рисунок 2 – Частота превышений ПДК в почвах полигонов ТБО

Наиболее частые превышения ПДК выявлены для цинка (Zn), концентрации которого превышали норматив (23 мг/кг) в 9 из 15 полигонов. Превышения по свинцу (Pb) зафиксированы на пяти объектах, а по мышьяку (As) – на трёх, что указывает на локальные очаги повышенного экологического риска, учитывая их высокую токсичность и способность к биоаккумуляции. Для ртути (Hg) превышений ПДК не отмечено, однако на отдельных полигонах её концентрации приближались к нормативным значениям, что требует повышенного внимания при мониторинге. В целом результаты свидетельствуют о хроническом техногенном воздействии полигонов ТБО, при котором доминирует загрязнение Zn как наиболее распространённого и подвижного элемента, тогда как Pb и As, несмотря на меньшую распространённость, имеют более высокий экологический приоритет.

Для комплексной оценки диффузного загрязнения почвенного покрова были рассчитаны интегральные показатели суммарного загрязнения (Zc) и индекс геоаккумуляции (Igeo) с использованием контрольной пробы в качестве фоновый уровня. В расчёты включались приоритетные токсиканты (Cd, Pb, Hg, As, Cr, Zn и Cu). В Таблице 4 представлены значения интегрального индекса суммарного загрязнения Zc, а также перечень приоритетных элементов, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК) в почвах исследованных полигонов ТБО.

Таблица 4 – Значения интегрального индекса Zc для исследованных полигонов

Полигон	Zc	Приоритетные элементы	Число превышений ПДК	Уровень загрязнения*
Бурабай	69,95	Zn–Pb–As	3	Опасный
Кокшетау	180,26	Zn–Pb–As–Cr	4	Чрезвычайно опасный
Зеренда	139,69	Zn	1	Чрезвычайно опасный
Щучинск	117,16	Zn–Pb–Cu	3	Опасный
Макинск	114,37	Zn	1	Опасный
Степняк	101,84	нет превышений; относит. повышены: Cu–Zn	0	Опасный
Державинск	93,78	Pb	1	Опасный
Степногорск	65,82	Pb–As	2	Опасный
Есиль	107,0	нет превышений; относит. повышены: Pb–Zn	0	Опасный
Акмол	51,93	нет превышений; относит. повышены: Zn–Cr	0	Опасный
Ерейментау	113,92	нет превышений; относит. повышены: Zn–Cr	0	Опасный
Атбасар	50,74	Zn	1	Опасный
Аршалы	77,6	Zn	1	Опасный
Акколь	104,63	Zn	1	Опасный
Егиндыколь	84,49	Zn	1	Опасный
Шкала Zc: <16 допустимый; 16–32 умеренно опасный; 32–128 опасный; ≥128 чрезвычайно опасный.				

Значения Zc варьируют в диапазоне 50,7–180,3, что свидетельствует о существенной дифференциации полигонов по уровню суммарной техногенной нагрузки. Максимальные значения индекса зафиксированы для полигонов Кокшетау (Zc = 180,3) и Зеренда (Zc = 139,7), что соответствует категории чрезвычайно опасного загрязнения. Для остальных объектов значения Zc находятся в интервале 51,9–117,2, что соответствует опасному уровню загрязнения.

Анализ столбца «Приоритетные элементы» показал, что превышения ПДК носят селективный характер и различаются между полигонами. Наиболее часто превышения зафиксированы для цинка (Zn), который выявлен как приоритетный элемент в большинстве объектов. Превышения по свинцу (Pb) и мышьяку (As) носят локальный характер и отмечены преимущественно на полигонах с максимальными значениями Zc (Кокшетау, Щучинск, Бурабай, Степногорск).

В ряде полигонов (Ерейментау, Есиль, Степняк, Акмол) превышения ПДК по контролируемым элементам отсутствуют, однако повышенные значения Zc указывают на относительное обогащение почв по сравнению с фоном и потенциальное накопление загрязнителей при длительной эксплуатации полигонов. Интегральный показатель суммарного загрязнения Zc показал высокую информативность для диагностики диффузного загрязнения, позволяя выявлять как полигоны с экстремальной техногенной нагрузкой, так и объекты с умеренным, но устойчивым загрязнением. Использование контрольной пробы в качестве фоновый уровня обеспечило сопоставимость результатов и позволило выявить латентные формы загрязнения, при которых суммарная геохимическая трансформация почв ещё не сопровождается превышением ПДК, но может реализоваться при изменении гидрологических или кислотно-щелочных условий.

В таблице 5 представлены средние значения индекса геоаккумуляции (I_{geo_mean}), а также значения I_{geo} для отдельных приоритетных элементов (Cd, Pb, Hg, As) в почвах действующих полигонов ТБО.

Таблица 5 – Диапазоны средних значений I_{geo} и по отдельным элементам

№	Полигон	I_{geo_mean}	I_{geo_Cd}	I_{geo_Pb}	I_{geo_Hg}	I_{geo_As}
1.	Кокшетау	2,16	6,74	2,42	2,08	1,07
2.	Есиль	1,55	5,97	1,95	2,0	0,39
3.	Щучинск	1,54	6,13	2,18	0,15	0,15
4.	Зеренда	1,48	6,44	1,81	0,42	0,1
5.	Степногорск	1,48	5,06	2,45	2,08	0,68
6.	Макинск	1,29	6,14	1,83	0,64	0,57
7.	Атбасар	1,18	4,84	0,95	0,46	0,48
8.	Державинск	1,11	5,82	2,24	0,58	0,09
9.	Бурабай	1,09	5,32	2,15	2,17	0,61
10.	Акмол	0,93	4,94	1,11	0,83	0,82
11.	Степняк	0,9	6,0	1,49	0,58	1,64
12.	Аршалы	0,68	5,62	0,57	2,17	0,39
13.	Акколь	0,66	6,09	0,26	2,17	0,03
14.	Егиндыколь	0,65	5,77	0,13	1,49	0,5
15.	Ерейментау	0,53	6,2	1,16	3,91	0,4

Значения I_{geo_mean} варьируют от 0,53 до 2,16, отражая различную степень техногенного преобразования почв. Максимальное значение зафиксировано на полигоне Кокшетау (2,16), что соответствует умеренно-сильно загрязнённым почвам, тогда как для большинства объектов I_{geo_mean} находится в диапазоне 0,65–1,55, характерном для незагрязнённых–умеренно загрязнённых условий. Минимальные значения отмечены на полигоне Ерейментау, близком к фоновому состоянию. Наибольшие значения I_{geo} выявлены для кадмия: I_{geo_Cd} превышает 4,8 на всех полигонах и достигает 6,74, что указывает на экстремальное техногенное обогащение и ведущую роль Cd как элемента I класса опасности. Для Pb значения I_{geo_Pb} варьируют от низких до умеренно высоких (до 2,45), отражая очаговый характер загрязнения, тогда как I_{geo_Hg} характеризуется высокой пространственной изменчивостью (0,15–3,91) с локальными зонами накопления. Для As значения I_{geo_As} в основном не превышают 1,0, за исключением полигона Степняк. В целом индекс I_{geo} подтвердил элемент-специфический характер загрязнения почв, при котором кадмий формирует устойчивый техногенный фон, а ртуть и свинец – локальные очаги накопления, что согласуется с распределением суммарной нагрузки по индексу Zс. Пространственная неоднородность химического состава фильтрата (табл. 6) дополнительно подчёркивает роль морфологии полигонов и гидрогеологических условий в формировании миграционных процессов.

Таблица 6 – Диапазоны концентраций показателей в фильтрате полигонов ТБО

Показатель, мг/л	Min	Max	Среднее
ХПК	10,0	381,0	88,1
БПК ₅	1,0	15,7	10,6
Al,	0,02	0,32	0,19
Cd,	0,01	0,07	0,04
Ca,	92,0	397,0	203,5
Co,	0,01	0,58	0,26
Mg,	11,8	59,0	29,8
Pb,	0,11	0,46	0,29
Hg,	0,01	0,70	0,18
As,	0,02	0,94	0,24
K,	11,3	337,0	71,4
Cr,	0,002	0,086	0,042
Zn,	0,02	0,09	0,04
Cu,	0,004	0,092	0,05
Mo,	0,001	0,072	0,026
Sn,	0,02	0,15	0,05

Значения ХПК в фильтрате варьировали от 10,0 до 381,0 мг/л (среднее 88,1 мг/л), с повышенными уровнями на полигонах Бурабай, Степногорск и Атбасар, что указывает на высокую органическую

нагрузку. Диапазон БПК₅ (1,0–15,7 мг/л; среднее 10,6 мг/л) и соотношение ХПК/БПК₅ характерны для полигонов на стадии стабилизации. Содержание Ca, Mg и K отличалось широкими интервалами, отражая активное выщелачивание минеральных компонентов и формирование высокоминерализованного фильтрата, способного изменять ионный состав почв. Тяжёлые металлы демонстрировали выраженную вариабельность, особенно As, Pb и Hg, что указывает на их высокую миграционную активность; Cd характеризуется устойчивым поступлением в водную фазу, тогда как Cr, Zn и Cu проявляют умеренную, а Sn и Mo – низкую мобильность. В целом фильтрат отличается высокой химической неоднородностью и выступает важным источником вторичного загрязнения почв, что подтверждается выявленными корреляционными связями между его составом и содержанием элементов в почвах (n = 16) (табл.7).

Таблица 7 – Корреляционный анализ между концентрациями элементов «почва – фильтрат»

Элемент	r	Связь	Интерпретация
Cd	0,81	сильная	Активная миграция из фильтрата
Pb	0,69	средняя–сильная	Фильтрат – основной источник
As	0,73	сильная	Высокая подвижность
Zn	0,58	умеренная	Частичное закрепление в почве
Cu	0,61	умеренная	Комплексообразование с органическим веществом
Cr	0,46	умеренная	Ограниченная миграция
Hg	0,64	умеренная	Связь с органикой фильтрата
Co	0,39	слабая	Литогенный контроль
Mo	0,52	умеренная	Растворимая форма
Sn	0,33	слабая	Низкая мобильность
Ca	0,71	сильная	Минерализация фильтрата
Mg	0,68	средняя–сильная	Ионный обмен
K	0,75	сильная	Выщелачивание и миграция

Использован коэффициент Пирсона (r), n = 16.

Наиболее высокие корреляции выявлены для Cd (r = 0,81), As (r = 0,73) и K (r = 0,75), что указывает на их высокую подвижность и ведущую роль фильтрата в формировании почвенного загрязнения; особенно значим кадмий как элемент повышенного экологического риска. Средне-сильные связи для Ca (r = 0,71) и Mg (r = 0,68) отражают процессы минерализации и ионного обмена, формирующие общий геохимический фон почв. Для Pb установлена средне-сильная корреляция (r = 0,69), свидетельствующая о сочетании техногенного поступления и последующей фиксации в почвенной матрице. Умеренные корреляции для Zn, Cu, Cr и Mo указывают на ограниченную миграцию и частичное закрепление этих элементов, тогда как слабые связи для Co и Sn отражают преимущественно литогенный контроль. В целом результаты подтверждают ключевую роль фильтрата как источника вторичного загрязнения, при котором элементы Cd, As, Pb, K, Ca и Mg формируют основную группу экологического риска для агроценозов.

Корреляционный анализ между концентрациями элементов в композитных пробах почв и фильтрата (n = 16), представленный в виде тепловой карты, выявил выраженную неоднородность миграционных связей в системе «фильтрат–почва» (рис.3.).

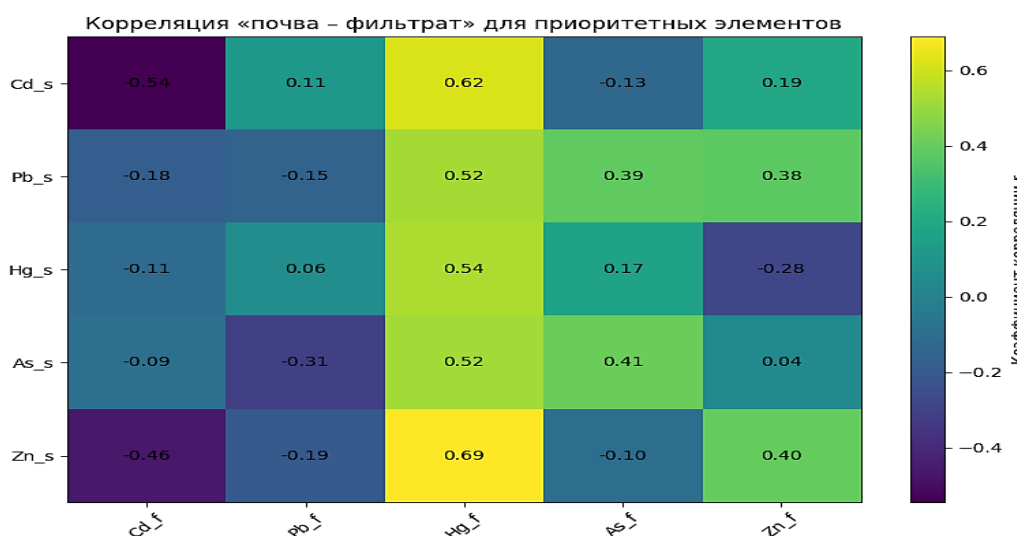


Рисунок 3 – Тепловая карта корреляции «почва- фильтрат» для приоритетных элементов

Наиболее высокие положительные корреляции установлены для Cd, As и K, что указывает на их высокую подвижность и ведущую роль фильтрата в формировании почвенного загрязнения. Значимые корреляции с участием Hg в фильтрате свидетельствуют о его роли как индикатора подвижной органо-металлической фазы и фактора, усиливающего перенос других токсичных элементов.

Сильные и средне-сильные связи для Ca и Mg отражают процессы минерализации и ионного обмена, формирующие общий геохимический фон и влияющие на миграцию тяжёлых металлов. Средняя корреляция для Pb указывает на сочетание техногенного поступления и последующей фиксации в почвенной матрице, тогда как умеренные и слабые корреляции для Zn, Cu, Cr, Mo, Co и Sn свидетельствуют о частичном геохимическом закреплении и литогенном контроле их содержания.

В целом, результаты подтверждают ключевую роль фильтрата полигонов ТБО как источника вторичного загрязнения почв. Совместное применение интегральных индексов Zc и Igeo с анализом химического состава фильтрата и корреляционных связей позволяет выявлять как явные, так и латентные формы техногенного воздействия. С позиций экологического риска для агроценозов наибольшую опасность представляет хроническое накопление кадмия и локальное обогащение ртути, потенциально влияющие на продуктивность сельскохозяйственных культур и качество растительной продукции.

Выводы

1. Установлено, что в зоне влияния действующих полигонов твёрдых бытовых отходов формируется хроническое диффузное загрязнение почв, которое во многих случаях носит латентный характер и не сопровождается систематическими превышениями ПДК, но проявляется в устойчивом техногенном обогащении отдельных химических элементов.

2. Анализ состава фильтрата показал, что он представляет собой высокоминерализованную многокомпонентную среду с преобладанием труднорастворимых органических соединений, что создаёт условия для активной миграции растворённых неорганических компонентов и формирования вторичного загрязнения почвенного покрова.

3. Интегральный показатель суммарного загрязнения Zc продемонстрировал высокую информативность при оценке диффузного загрязнения почв, позволяя выявлять как полигоны с экстремальной техногенной нагрузкой, так и объекты с умеренным, но устойчивым уровнем антропогенного воздействия.

4. Индекс геоаккумуляции Igeo позволил выявить элемент-специфический характер загрязнения, при этом показано, что кадмий формирует устойчивый техногенный фон во всех исследованных почвах, тогда как ртуть характеризуется очаговым накоплением, связанным с неоднородностью состава отходов.

5. Корреляционный анализ подтвердил ключевую роль фильтрата в процессах миграции загрязняющих веществ, наиболее выраженную для Cd, As, Pb и K, для которых установлены высокие и средние коэффициенты корреляции между концентрациями в фильтрате и почвах.

6. Показано, что элементы с высокой токсичностью и миграционной активностью (Cd, Pb и As) формируют основную группу экологического риска для агроценозов, поскольку способны накапливаться в почвах и вовлекаться в пищевые цепи при длительном использовании прилегающих земель.

7. Комплексное применение интегральных индексов Zc и Igeo, анализа состава фильтрата и корреляционных зависимостей обеспечивает риск-ориентированную оценку воздействия полигонов ТБО, которая может быть использована для экологического мониторинга, зонирования территорий и обоснования природоохранных мероприятий.

Благодарность. Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. Грантовое финансирование научных и (или) научно-технических проектов на 2025-2027 годы со сроком реализации 36 месяцев. Тема проекта: «Разработка риск-ориентированной модели устойчивого управления полигонами твердых бытовых отходов Акмолинской области». Проект ИРН: AP26196213.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Агаркова С. В. Проблемы утилизации твердых бытовых отходов** [Текст] // Вестник науки. – 2020. – № 3 (24). – С. 45–49. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-utilizatsii-tverdyh-bytovykh-othodov> (дата обращения: 30.01.2026).

2. **Бабурин Т. А. Экологическая оценка негативного влияния сточных вод полигона ТБО (фильтрата) на окружающую среду** [Текст] // Вопросы науки и образования. – 2017. – № 6 (7). – С. 62–66. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-otsenka-negativnogo-vliyaniya-stochnyh-vod-poligona-tbo-filtrata-na-okruzhayushchuyu-sredu> (дата обращения: 30.01.2026).

3. **Kurmanbayeva A., Bayazitova Z., Talal A., Kakabayev A., Zhaparova S. Waste accumulation and geocological assessment of the territories around the landfills in Kokshetau** [Text] // International Journal of GEOMATE. – 2022. – Vol. 23, Issue 96. – pp. 179–185. DOI: <https://doi.org/10.21660/2022.96.j2384>

4. **Alloway B. J. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability** [Text]. – 3rd ed. – Dordrecht: Springer, 2013. – 614 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>.

5. **Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants** [Text]. – 4th ed. – Boca Raton: CRC Press, 2011. – 505 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/b10158>.

6. Beinabaj S. et al., “Assessment of heavy metal contamination in soil, leachate and plants around a municipal solid waste landfill,” [Text] *Heliyon*, vol. 9, no. 2, p. 13224, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e13224.
7. Hussein M., Yoneda K., Zaki Z. M., Othman N. A., and Amir A., “Leachate migration from unsanitary landfills and its impact on surrounding soil and groundwater quality,” [Text] *Chemosphere*, vol. 262, p. 128350, 2021, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128350.
8. Essien J. P., Inam E. D., Ikpe D. I., and Udofia G. E., “Heavy metal contamination and ecological risk assessment of soils around a municipal solid waste dumpsite,” [Text] *PLOS ONE*, vol. 17, no. 2, p. e0263279, 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0263279.
9. Rouhani A. and Hejzman M., “Soil pollution around municipal solid waste landfills: A review,” [Text] *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 2024, doi: 10.1007/s13762-024-05728-z.
10. Kenzhebaev A. Z., Baizhumanov A. S., and Issanova G. N., “Assessment of heavy metal contamination and ecological risk of soils in steppe ecosystems of Akmola region, Kazakhstan,” [Text] *Sustainability*, vol. 17, no. 14, Art. no. 6576, 2025, doi: 10.3390/su17146576.
11. Ali H., Khan E., and Ilahi I., “Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation,” [Text] *Journal of Chemistry*, vol. 2019, Art. no. 6730305, 2019, doi: 10.1155/2019/6730305.
12. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Soil Pollution: A Hidden Reality*. – [Online]. – Rome: FAO, 2018. – 142 p. URL: <https://www.fao.org/3/I9183EN/i9183en.pdf>.
13. Sharma A. K., Tiwari S., and Singh R. K., “Impact of landfill leachate on soil properties and plant metal uptake: Implications for agroecosystem sustainability,” [Text] *Heliyon*, vol. 9, no. 2, Art. no. e13324, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e13324.
14. Экологический кодекс Республики Казахстан. Закон № 400-VI ЗПК от 2 января 2021 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> (дата обращения: январь 2026 г.).
15. Гигиенические нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в почве [Электронный ресурс]. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100022595> (дата обращения: февраль 2026 г.).
16. Mohammadi A., Salehi M., Ghanavati H. *Assessment of heavy metal contamination of landfill soil using geoaccumulation index and contamination factor*. [Text] // *Biological and Biomedical Reports*. – 2020. – Vol. 10, No. 2. – pp. 87–96.
17. Islam A. M., Ahmed M., Raknuzzaman M. *Risk assessment of heavy metals in soils using pollution indices* [Text] // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11, No. 2. – Art. no. 548.
18. FAO, WHO. *Evaluation of Certain Contaminants in Food: Heavy Metals and Soil-Plant Transfer*. [Online]. – Rome: Codex Alimentarius Commission, 2021. – 120 p. URL: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>.

REFERENCES:

1. Agarkova S.V. *Problemy' utilizacii tverdy'h by'tovy'h otkhodov* [Problems of municipal solid waste disposal]. *Vestnik nauki*, 2020, no. 3 (24), pp. 45-49. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-utilizatsii-tverdyh-bytovyh-otkhodov> (accessed 30 January 2026). (In Russian)
2. Baburina T.A. *E'kologicheskaya ocenka negativnogo vliyaniya stochny'h vod poligona TBO (filtrata) na okruzhayushchuyu sredu* [Environmental assessment of the negative impact of landfill leachate (MSW landfill wastewater) on the environment]. *Voprosy' nauki i obrazovaniya*, 2017, no. 6 (7), pp. 62-66. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-otsenka-negativnogo-vliyaniya-stochnyh-vod-poligona-tbo-filtrata-na-okruzhayuschuyu-sredu> (accessed 30 January 2026). (In Russian)
3. Kurmanbaeva A., Bayazitova Z., Talal A., Kakabaev A., Zhaparova S. *Waste accumulation and geoecological assessment of the territories around the landfills in Kokshetau*. *International Journal of GEOMATE*, 2022, vol. 23, iss. 96, pp. 179-185. <https://doi.org/10.21660/2022.96.j2384>.
4. Alloway B.J. *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. Dordrecht, Springer, 2013. 614 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>.
5. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton, CRC Press, 2011. 505 p. <https://doi.org/10.1201/b10158>.
6. Beinabaj S. et al. *Assessment of heavy metal contamination in soil, leachate and plants around a municipal solid waste landfill*. *Heliyon*, 2023, vol. 9, no. 2, art. e13224. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13224>.
7. Hussein M., Yoneda K., Zaki Z.M., Othman N.A., Amir A. *Leachate migration from unsanitary landfills and its impact on surrounding soil and groundwater quality*. *Chemosphere*, 2021, vol. 262, art. 128350. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128350>.
8. Essien J.P., Inam E.D., Ikpe D.I., Udofia G.E. *Heavy metal contamination and ecological risk assessment of soils around a municipal solid waste dumpsite*. *PLOS ONE*, 2022, vol. 17, no. 2, art. e0263279. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263279>.

9. Rouhani A., Hejzman M. **Soil pollution around municipal solid waste landfills: A review.** *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05728-z>.
10. Kenzhebaev A.Z., Baizhumanov A.S., Issanova G.N. **Assessment of heavy metal contamination and ecological risk of soils in steppe ecosystems of Akmola region, Kazakhstan.** *Sustainability*, 2025, vol. 17, no. 14, art. 6576. <https://doi.org/10.3390/su17146576>.
11. Ali H., Khan E., Ilahi I. **Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation.** *Journal of Chemistry*, 2019, vol. 2019, art. 6730305. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>.
12. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).** *Soil Pollution: A Hidden Reality.* Rome, FAO, 2018. 142 p. Available at: <https://www.fao.org/3/I9183EN/i9183en.pdf> (accessed 30 January 2026).
13. Sharma A.K., Tiwari S., Singh R.K. **Impact of landfill leachate on soil properties and plant metal uptake: Implications for agroecosystem sustainability.** *Heliyon*, 2023, vol. 9, no. 2, art. e13324. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13324>.
14. **E'kologicheskij kodeks Respubliki Kazahstan. Zakon No. 400-VI ZRK ot 2 yanvarya 2021 g.** [Environmental Code of the Republic of Kazakhstan. Law No. 400-VI dated January 2, 2021]. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> (accessed January 2026). (In Russian)
15. **Gigienicheskie normativy' predel'no dopustimy'h kontsentracij (PDK) himicheskix veshhestv v pochve** [Hygienic standards for maximum permissible concentrations (MPC) of chemical substances in soil]. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100022595> (accessed February 2026). (In Russian)
16. Mohammadi A., Salehi M., Ghanavati H. **Assessment of heavy metal contamination of landfill soil using geoaccumulation index and contamination factor.** *Biological and Biomedical Reports*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 87-96.
17. Islam A.M., Ahmed M., Raknuzzaman M. **Risk assessment of heavy metals in soils using pollution indices.** *Applied Sciences*, 2021, vol. 11, no. 2, art. 548.
18. **FAO, WHO. Evaluation of Certain Contaminants in Food: Heavy Metals and Soil-Plant Transfer.** Rome, Codex Alimentarius Commission, 2021. 120 p. Available at: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius> (accessed 30 January 2026).

Сведения об авторах:

Курманбаева Айгуль Сапарбековна – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор кафедры горного дела, строительства и экологии, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, Акмолинская область, г. Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87019587235, e-mail: akurmanbayeva@shokan.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-6133-3226>.

Баязитова Зульфия Ерзатовна* – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор кафедры горного дела, строительства и экологии, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, Акмолинская область, г. Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87022245222, e-mail: z_bayazitova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1106-0573>.

Сафронова Наталья Михайловна – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор кафедры биологии и методики преподавания, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, Акмолинская область, г. Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87013161047, e-mail: natalyasafronova@shokan.edu.kz; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5176-4404>.

Жапарова Саягуль Бекетовна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры горного дела, строительства и экологии, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, Акмолинская область, г. Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87013737639, e-mail: zharparova77@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5346-5528>.

Құрманбаева Айгүл Сапарбекқызы – биология ғылымдарының кандидаты, тау-кен ісі, құрылыс және экология кафедрасының профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Ақмола облысы, Көкшетау қ., Абай көш, 76, тел.: 8701 9587235, e-mail: akurmanbayeva@shokan.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6133-3226>.

Баязитова Зульфия Ерзатовна* – биология ғылымдарының кандидаты, тау-кен ісі, құрылыс және экология кафедрасының профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Ақмола облысы, Көкшетау қ., Абай көш, 76, тел.: 8702 2245222, e-mail: z_bayazitova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1106-0573>.

Сафронова Наталья Михайловна – биология ғылымдарының кандидаты, биология және оқыту әдістемесі кафедрасының профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Ақмола облысы, Көкшетау қ., Абай көш, 76, тел.: 87013161047, e-mail: natalyasafronova@shokan.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5176-4404>.

Жапарова Саягүл Бекетқызы – техника ғылымдарының кандидаты, тау-кен ісі, құрылыс және экология кафедрасының профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Ақмола облысы, Көкшетау қ., Абай көш, 76, тел.: 87013737639, e-mail: zharparova77@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5346-5528>.

Kurmanbayeva Aigul Saparbekovna – Candidate of Biological Sciences, Professor, Department of mining, construction and ecology, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Republic of Kazakhstan, 020000, Akmola region, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87019587235, e-mail: akurmanbayeva@shokan.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6133-3226>.

Bayazitova Zulfiya Yertzatovna * – Candidate of Biological Sciences, Professor, Department of mining, construction and ecology, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Republic of Kazakhstan, 020000, Akmola region, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87022245222, e-mail: z_bayazitova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1106-0573>.

Safronova Natalya Mikhailovna – Candidate of Biological Sciences, Professor, Department of biology and teaching methods, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Republic of Kazakhstan, 020000, Akmola region, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87013161047, e-mail: natalyasafrova@shokan.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5176-4404>.

Zhpararova Sayagul Beketovna – Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of mining, construction and ecology, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Republic of Kazakhstan, 020000, Akmola region, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87013737639, e-mail: zhpararova77@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5346-5528>.

XҒТАР: 68.35.41

ӨОЖ 633.11:631.8:631.559(574.24)(045)

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621137>

АҚМОЛА ОБЛЫСЫ ЖАҒДАЙЫНДА БИОПРЕПАРАТТАРДЫҢ ЖАЗДЫҚ БИДАЙДЫҢ ӨНІМДІЛІГІ МЕН САПАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ ӘСЕРІ

Кульжабаев Е.М.* – 8D08102 «Органикалық егіншілік» білім беру бағдарламасының 2 курс докторанты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Курбанбаев А.И. – Танаптық дақылдар агротехникасы және өсімдік шаруашылығын әртарап-тандыру зертханасының меңгерушісі, «А.И.Бараев атындағы АШҒӨО» ЖШС, Шортанды ауылы, Қазақстан Республикасы.

Кульжанова С.М. – з.ғ.к., аға менеджер, Педагогикалық шеберлік орталығы, «Назарбаев Зияткерлік мектептері» дербес білім беру ұйымы, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Мұратұлы Оразхан – 6M08101 «Агротехнология» білім беру бағдарламасының 2 курс магистранты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада Ақмола облысы жағдайында биологиялық препараттардың жаздық жұмсақ бидайдың өнімділігі мен дән сапасының негізгі көрсеткіштеріне әсері зерттелді. Зерттеу барысында бақылау және биопрепараттар қолданылған нұсқаларда өнімділік, ақуыз мөлшері, шикі желімше, шикі желімшенің ИДК бірлігі, сондай-ақ 1000 дән массасы, натуралдық масса және дәннің шынылығы анықталды. Нәтижелер бойынша өнімділік 17,4–23,4 ц/га аралығында өзгеріп, ең жоғары көрсеткіш *Muscoviza* нұсқасында байқалып (23,4 ц/га), ақуыз мөлшері 12,5–15,1% аралығында өзгерді. Шикі желімше мөлшері 20,6–29,8% аралығында болды және дән желімшесінің көрсеткіші бойынша I классқа бақылау (28,5%), *COLD* (29,8%), *BRONZE* (29,6%) және *Muscoviza* (28,4%) нұсқалары жатқызылды. Шикі желімшенің ИДК мәні 68,6–76,8 бірлік аралығында болып, ең жоғары көрсеткіш *Organit N+P+S+V* нұсқасында байқалды -76,8. Дәннің сапа көрсеткіштері бойынша 1000 дән массасы 33,4–34,7 г, натуралдық масса 653,3–694,0 г/л, шынылық 46,0–55,5% қалыптасты. Жалпы, биопрепараттарды қолдану өнімділік пен дән сапасының жекелеген көрсеткіштерін жақсартуға мүмкіндік беретінін көрсетті. Сондай-ақ зерттеу нәтижелері көрсеткендей *Muscoviza* нұсқасы өнімділік бойынша, ал *COLD* және *BRONZE* ақуыз көрсеткіштері бойынша перспективті нұсқалар ретінде бағаланды.

Түйінді сөздер: жаздық жұмсақ бидай, биологиялық препараттар, өнімділік, ақуыз, шикі дән желімшесі, натуралдық масса.

ВЛИЯНИЕ БИОПРЕПАРАТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Кульжабаев Е.М.* – докторант 2 курса образовательной программы 8D08102 – Органическое земледелие, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Курбанбаев А.И. – PhD, Заведующий лабораторией агротехники полевых культур и диверсификации растениеводства, ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева», п. Шортанды, Республика Казахстан.