

А.Ә. Қонысбаева^{1*}, З.Б. Есимсиитова^{1,2}, М. Токтар^{1,2}

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²ТОО «Научный производственный технический центр «Жалын»», Алматы, Казахстан

*e-mail: konysbaeva.aizhan@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ФОСФОРА НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОЧВЕННОЙ ФАУНЫ

Исследование рассматривает отрицательное воздействие выбросов производства фосфорного завода, расположенного недалеко от города Тараз в Жамбылской области, на экологические функции почв, включая активность почвенной фауны в качестве биоиндикатора, по сравнению с почвами в регионе, удаленными на 10 км от завода. Почвенная фауна играет важную роль в формировании свойств почвы, таких как её плодородие, гумификация и минерализация растительных остатков, а также изменение солевого режима и реакции почвы, что улучшает её физико-химические характеристики. Кроме того, деятельность почвенных животных способствует формированию гранулированной структуры почвы, что делает её более устойчивой к воздействию окружающей среды. В ходе исследования были изучены виды *Isotoma*, *Folsomia*, *Onychinus*, *Hypogastrura*, представленные в семействе *Collembola* (длинноногие насекомые), в составе почвенной фауны. Выявлено, что вид *Onychinus* чаще всего встречается в песчаниковом слое на глубинах 0–5 см и 5–10 см по сравнению с другими видами. Вид *Folsomia*, который является менее подвижным, обнаружен лишь в глубоких слоях почвы (5–10 см). Среди представителей *Oribatei* (почвенные клещи) наблюдается только вид *Zygoribatula* на глубине 5–10 см. Также отмечено, что виды, встречающиеся в *Coleoptera* (кандалы), включая *Lasius Niger Linnaeus* (черные муравьи), *Formicidae* (желтые муравьи), и другие, обильно присутствуют на поверхности региональной почвы. Микроартроподы чаще встречаются в 5–10 см глубоком слое почвы. В статье были выявлены количественные и качественные характеристики почвенной фауны, играющей важную роль в качестве биоиндикаторов состояния почвы на глубинах 0–5 см и 5–10 см.

Ключевые слова: окружающая среда, производство фосфора, почвенная фауна, биоиндикатор, почва

A.A. Konysbayeva^{1*}, Z.B. Yessimsiitova^{1,2}, M. Toktar^{1,2}

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²LLC «Scientific production technical center «Jalyn»», Almaty, Kazakhstan

*e-mail: konysbaeva.aizhan@mail.ru

Influence of phosphorus production waste on the life activity of soil fauna

The study examines the negative impact of emissions from a phosphorus plant located near the city of Taraz in the Zhambyl region on the ecological functions of soils, including the activity of soil fauna as a bioindicator, compared to soils in the region 10 km away from the plant. Soil fauna plays an important role in the formation of soil properties, such as its fertility, humification and mineralization of plant residues, as well as changes in the salt regime and soil reaction, which improves its physicochemical characteristics. In addition, the activity of soil animals contributes to the formation of a granular soil structure, which makes it more resistant to environmental influences. The study examined the species *Isotoma*, *Folsomia*, *Onychinus*, *Hypogastrura*, represented in the *Collembola* (long-legged insects), as part of the soil fauna. It was revealed that the *Onychinus* species is most often found in the sandstone layer at depths of 0–5 cm and 5–10 cm compared to other species. The *Folsomia* species, which is less mobile, was found only in deep soil layers (5–10 cm). Among the representatives of *Oribatei* (soil mites), only the species *Zygoribatula* is observed in the 5–10 cm layer. It is also noted that species found in *Coleoptera* (shackles), including *Lasius Niger Linnaeus* (black ants), *Formicidae* (yellow ants), and others, are abundant present on the regional soil surface. Microarthropods are more often found in a 5–10 cm deep soil layer. The article identified quantitative and qualitative characteristics of soil fauna, which plays an important role as bioindicators of soil condition at depths of 0–5 cm and 5–10 cm.

Key words: environment, phosphorus production, soil fauna, bioindicator, soil.

А.Ә. Қонысбаева¹, З.Б. Есимсиитова^{1,2}, М. Тоқтар^{1,2}

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²«Жалын» ғылыми өндірістік-техникалық орталығы» ЖШС, Алматы, Қазақстан

*e-mail: konysbaeva.aizhan@mail.ru

Фосфор өндірісі қалдықтарының топырақ фауналарының тіршілігіне әсері

Зерттеуде Жамбыл облысындағы Тараз қаласына жақын жерде орналасқан фосфор зауытының шығарындыларының топырақтың экологиялық қызметіне, оның ішінде биоиндикатор ретіндегі топырақ фаунасының белсенділігіне кері әсері облыстан 10 км қашықтықтағы аймақтағы топырақтармен салыстырғанда зерттеледі. өсімдік. Топырақ фаунасы топырақтың құнарлылығы, өсімдік қалдықтарының гумификациясы және минералдануы, сондай-ақ оның физика-химиялық сипаттамаларын жақсартатын тұз режимі мен топырақ реакциясының өзгеруі сияқты топырақ қасиеттерінің қалыптасуында маңызды рөл атқарады. Сонымен қатар, топырақ жануарларының белсенділігі топырақтың түйіршікті құрылымының қалыптасуына ықпал етеді, бұл оны қоршаған орта әсерлеріне төзімді етеді. Зерттеу барысында топырақ фаунасының бір бөлігі ретінде *Collembola* тұқымдасына жататын *Isotoma*, *Folsomia*, *Onychinus*, *Hypogastrus* (ұзын аяқты жәндіктер) түрлері зерттелді. *Onychinus* түрі басқа түрлерге қарағанда құмтас қабатында 0–5 см және 5–10 см тереңдікте жиі кездесетіні анықталды. Қозғалысы аз *Folsomia* түрі топырақтың терең қабаттарында (5–10 см) ғана кездеседі. *Oribatei* (топырақ кенелері) өкілдерінің ішінде 5–10 см қабатта тек *Zygoribatula* түрі байқалады, сонымен қатар гемиптерада кездесетін түрлер (қағалар), соның ішінде *Lasius Niger Linnaeus* (қара құмырсқалар), *Formicidae* (сары құмырсқалар) және басқалары аймақтық топырақ бетінде көп кездеседі. Микроартроподтар 5–10 см тереңдіктегі топырақ қабатында жиі кездеседі. Мақалада 0–5 см және 5–10 см тереңдікте топырақ жағдайының биоиндикаторы ретінде маңызды рөл атқаратын топырақ фаунасының сандық және сапалық сипаттамалары анықталды.

Түйін сөздер: қоршаған орта, фосфор өндірісі, топырақ фаунасы, биоиндикатор, топырақ.

Введение

Охрана окружающей природной среды – одна из наиболее актуальных социально-экономических проблем, затрагивающих интересы всех людей напрямую или косвенно. В настоящее время почва становится ещё более значимой как важная полифункциональная система взаимодействия природных и антропогенных факторов. В городах антропогенными источниками фосфора являются выбросы промышленных предприятий, содержащие высокие концентрации фосфатов, а также поверхностные стоки. Фосфорные соединения могут также поступать на поверхность почв из промышленных и бытовых отходов. За последние три века изменения в использовании земель привели к изменению 50% естественного покрова земли по всему миру, оказывая значительное экологическое воздействие. Сегодня в стране все более заметны последствия воздействия деятельности по добыче и переработке полезных ископаемых на окружающую среду. Одним из примеров является Жамбылская область, где интенсивная промышленная деятельность приводит к почвенно-экологической деградации. Общая площадь этой области составляет 144,3 тыс. кв. км, что состав-

ляет 5,3% территории Республики Казахстан. Объем промышленных земель в Жамбылской области занимает 5-е место в стране – 174,7 млн га. Требуется всестороннее исследование экосистем окружающей среды в этом регионе [1].

Процессы обмена веществ и энергии живых организмов, обитающих в почве, тесно связаны не только друг с другом, но и с другими компонентами почвы. И.В. Вернадский, основавший изучение микроорганизмов, отмечал, что очень важно решать проблемы сохранения полезного генофонда почвы от любых видов загрязнения. Он выявил связь между жизнью почвенной биоты и химическим составом почвенных организмов. Вся почвенная биота подразделяется на следующие несколько групп [2-3]:

1. Микрофлора – бактерии, актиномицеты, грибы, водоросли.
2. Микрофауна (0,002–0,2 мм) – инфузории, корненожки.
3. Мезофауна (0,2–2,0 мм) – нематоды, клещи.
4. Макрофауна (2–20 мм) – энхитреиды, моллюски, жуки и их личинки.
5. Мегафауна (20–200 мм) – дождевые черви, позвоночные.
6. В почве временно живут мыши.

Нанофауна – почвенные простейшие. Микрофауна – почвенные микроартроподы. Мезофауна – крупные почвенные беспозвоночные. Макрофауна – почвенные позвоночные (Рисунок 1). Избирательным методом из почвы можно извлечь только микроартропод, в том числе членистоногих и панцирных клещей. Это влаго-

любивые животные. Когда поверхность почвы начинает подсыхать, они начинают двигаться в сторону большего увлажнения. По этой причине в лабораторных условиях лампу помещают на поверхность электора, а в случае полевых экспедиций электор можно отделить, поместив его под солнце.

Нанофауна	Микрофауна	Мезофауна	Макрофауна
	Грызуны Насекомоядные Дождевые черви Моллюски	Моркрицы Энхитреиды Земноводные Пауки Членистоногие Клещи Нематоды	Коловратки Насекомые
0,04 0,16	0,64	2,56 10,2	40,8
0,02 0,08	0,32	1,28 5,12	20,4 81,6

Рисунок 1 – Группы почвенной фауны, мм
(по Бабевай, Зеновай)

Сегодня по результатам многих исследований, проводимых в мире, эдафическую фауну определяют как «Сверхорганизм», имеющий решающее значение в улучшении физико-химических и биологических процессов в почве. Почвенная биота способствует разложению органического вещества в почве, образованию черного гумуса, улучшению циркуляции питательных веществ, а также других необходимых почве веществ участвует в увеличении и образовании многих элементов (азота, серы, углерода). Также в процессе своей деятельности почвенная фауна образует в почве различные поры, улучшает водопроницаемость и воздухообменную функцию почвы. Создает условия для распределения органических веществ в слоях почвы. Почвенная фауна считается самым сильным аргументом в пользу сохранения эдафического биоразнообразия в экосистеме. Органическое вещество разлагается в результате деятельности почвенных организмов. Поэтому почвенные организмы, которые непосредственно способствуют росту растений и их первичной продукции, играют важ-

ную роль в функционировании экосистемы [4]. Почвенные микроартроподы – небольшие организмы обитающие в почве на глубине 5–10 см. Они считаются важными компонентами почвенной экосистемы, поскольку участвуют в формировании структуры почвы, переработке органических отходов и повышении биологической активности почвы. К микроартроподам относятся различные почвенные мелкие членистоногие, такие как нематоды, акари, личинки различных насекомых и другие мелкие членистоногие. Эти животные участвуют в разложении органических веществ в почве, а также способствуют изменению химических и физических свойств почвы. На одном квадратном метре почвы обитают более двух тысяч крупных почвенных беспозвоночных [5]. Кроме того, основная роль почвенных микроартропод в экосистемах – разложение органического вещества: Микроартроподы играют важную роль в разложении органического материала путем переработки растительных остатков и преобразования их в доступные растительные формы.

Аэрация почвы. Деятельность микроартропод, таких как коллемболы, помогает улучшить структуру и аэрацию почвы, что, в свою очередь, увеличивает поступление воды и кислорода к корням растений. Контроль микробных популяций. Многие виды клещей и других хищных микроартропод помогают контролировать популяцию микробов и других мелких организмов в почве, регулируя тем самым биоценоз.

Перераспределение питательных веществ. Микроартроподы активно участвуют в перераспределении питательных веществ, таких как азот и углерод, что способствует здоровью почвы и росту растений [6].

Почвенная фауна считается ключевым аргументом в поддержке разнообразия в почвенной экосистеме. Благодаря деятельности почвенных организмов органическое вещество разлагается, что способствует функционированию экосистемы. Эти организмы играют важную роль в обеспечении здоровья экологической системы, непосредственно влияя на рост растений и первичные продукты [7]. В одном квадратном метре почвы проживает более двух тысяч крупных наземных беспозвоночных [8].

В комплексе беспозвоночных, обитающих в почве, сапрофаги, питающиеся органическими отходами, составляют более 80% от общей зоомассы. Пропуская через свой кишечник растительные и почвенные отходы, сапрофаги осуществляют их механическое разложение и смешивают с минеральной массой. Они участвуют не только в формировании слоя черной гнили почвы. Также большую роль играет оседание органического вещества по почвенным образцам. Сапрофаги ускоряют разложение растительных остатков. Они не только непосредственно обрабатывают растительные остатки, но и повышают активность микроорганизмов. В отсутствие почвенных животных микробы разлагают растительные остатки в два-шесть раз медленнее. Распространяя свои экскременты по поверхности почвы и нижним слоям почвы, почвенные животные создают благоприятные условия для микробной жизни и размножения. В кишечнике сапрофагов возникают благоприятные возможности для массового развития представителей микрофлоры [9-10]. Структура комплекса коллембол и ногохвосток хорошо отражает особенности почвенно-экологических и климатических факторов. Многие виды коллембол комбинируются с определенными биотопами или микросостояниями, поэтому при изучении формирования почвенно-раститель-

ного покрова, разложения органических отходов можно использовать в качестве индикатора. Коллемболы мало использовались для биоиндикации промышленного загрязнения до 90-х годов прошлого века, и полученные данные в основном касались влияния этих загрязнений на общее количество коллембол. Однако из-за промышленных выбросов плотность популяций видов, обитающих в лесу, уменьшается, то есть группа видов, обитающих в почве, обменивается другими формами. Индикаторное значение имеют как виды, характерные для конкретного биоценоза, численность которых резко сокращается или уничтожается воздействием излучения, так и редкие виды, численность которых резко возрастает. Наиболее крупные индикаторные значения имеют широко распространенные виды, на которые непосредственно влияет или ограничивает фактор излучения [11-12]. Исходя из вышеизложенного, почва приобретает все большее значение как основное место обитания для всего органического мира на Земле. Она представляет собой специальную систему взаимодействия между живыми организмами на поверхности и горными породами под ними, которая функционирует при различных условиях климата, рельефа и хозяйственной деятельности человека. Хотя роль почвы как основного фактора в сельском хозяйстве очевидна, ее значение в жизни человека еще далеко не полностью осознано. Поэтому сегодняшняя актуальность состоит в необходимости изучения количественных и качественных характеристик почвенной фауны как ключевого индикатора для оценки экологических функций почвенной среды.

Материалы и методы

Техногенно-нарушенные территории месторождений фосфоритов Жамбылской области (42°56'16.2»N 71°18'00.4»E) объект исследования в основном относится к равнинной зоне вблизи г. Тараза, почвенный покров серо-почвенный, произрастает полын, типчак, терескен, саксаул и другие растения.

Характерными особенностями климата Жамбылской области являются значительная засуха и континентальность.

Лето очень жаркое, средняя температура июля колеблется от 21 до 25° С, в некоторые дни температура воздуха достигает 45–48 ° С. Зимой холодный арктический воздух, проникая на юг региона, вызывает сильные морозы, достигающие -45, -50 ° С.

В целом в регионе мало осадков, особенно в его равнинной части (140–220 мм в год). Небольшое количество осадков (135 мм в год) наблю-

дается на северо-востоке области на берегу озера Балхаш. В предгорных районах количество осадков увеличивается до 210–330 мм.



Рисунок 2 – Объект исследования

Экстракция мелких суставных ножек определялась методом термоэлемента Берлезе-Тулгрена. Для учета мезофауны был использован метод ручной разборки образца грунта на площади 0,25 м². Личинки представителей мезофауны были собраны в 70 С⁰ спиртов, а взрослые особи были собраны в бумажную коробку. Определение сознания микроартроподатов осуществлялось с помощью бинокля МБС – 10 и прибора Богарева [13-14]. Обнаружение длинноногих было обнаружено с помощью определителей клещей [15]. Для определения почвенной фауны было взято в общей сложности 45 образцов из 3-х повторений слоя почвы 0–5 см, 5–10 см.

Для статистической обработки данных использовались стандартные методы биостатистики. Средние значения и стандартные отклонения рассчитывались с применением программных

пакетов SPSS 26.0 и R 4.2.1. Проверка нормальности распределения данных проводилась с помощью теста Шапиро–Уилка [16]. Для оценки различий между группами использовали дисперсионный анализ [17] и непараметрический критерий Манна–Уитни [18] для независимых выборок. Взаимосвязь между количественными характеристиками почвенной фауны и уровнем загрязнения анализировали методом корреляционного анализа по Пирсону [19].

Все статистические тесты проводились при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Исследованные почвенные фауны, играющие биоиндикаторную роль в почвенном составе почв 0–5 см и 5–10 см почвенного покрова в

предгорьях фосфорного завода в г. Таразе Жамбылской области, сравнительно с региональными почвенными фаунами. Объектом исследования являются виды *Isotoma*, *Folsomia*, *Onychinus*, *Hypogastrura* из представителей *Collembola* (длинноногих) из почвенной фауны. Среди них вид *Onychinus* чаще встречается в песчаниковом слое 0–5 см, 5–10 см по сравнению с другими. Наименее бродячий вид *Folsomia* встреча-

ется только в 5–10-сантиметровом слое почвы. Из представителей *Oribatei* (клещей) встречается только вид *Zygoribatula*. Встречается на глубине 5–10 см. Среди видов, встречающихся у насекомых *Coleoptera* (кандалы), *Lasius Niger Linnaeus* (черные муравьи), *Formicidae* (желтые муравьи), *Coleoptera* (кандалы) в изобилии встречаются на поверхности кургана [20]. (таблица 1).

Таблица 1 – Количественный и качественный показатель почвенной фауны в почвах

Почвенные беспозвоночные	Точка		Точка 2		Точка 3		Точка 4	
	0–5 см	5–10 см	0–5 см	5–10 см	0–5 см	5–10 см	0–5 см	5–10 см
<i>Collembola:</i>								
<i>Isotoma</i>	4	2	3	2	1	3	1	2
<i>Folsomia</i>	6	1	-	-	-	-	-	-
<i>Oribatei</i>								
<i>Oribatula</i>	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Squte Insects- insects</i>								
<i>Carabidae</i>	4	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sphecidae</i>	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Aphididae</i>	-	-	1	1	-	-	-	-
<i>Formicidae</i>	-	-	-	-	-	-	1	-

Примечание: Символ «-» обозначает отсутствие данных, что может быть связано с отсутствием вида в исследуемой области или его редкостью.

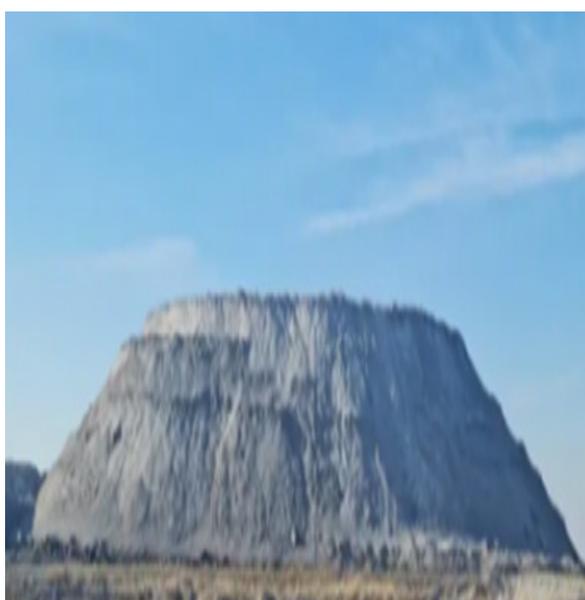


Рисунок 2 – Остаточные выбросы фосфорного завода

Количественный и качественный показатели почвенной фауны региональных почв на расстоянии 10 км от фосфорного завода отличается повышением показателей почвенной фауны по сравнению с почвами вблизи техногенно по-

врежденного фосфорного завода (таблица 2). Почвенная фауна играет роль биологического адсорбента и нейтрализатора загрязнения в почвенном покрове, минерализатора различных органических веществ [21-22].

Таблица 2 – Количественный и качественный показатель региональной почвенной фауны в 10 км от фосфорного завода

Почвенные беспозвоночные	Количество	
	0–5 см	5–10 см
<i>Collembola:</i>		
<i>Isotoma</i>	4	4
<i>Folsomia</i>	1	3
<i>Folsomia</i>	5	5
<i>Onychinus</i>	8	10
<i>Hypogastrura</i>	6	8
<i>Oribatei</i>		
<i>Zygoribatula</i>	5	6
<i>Insecta</i>		
<i>Coleoptera</i>	>600	
<i>Lasius Niger Linnaeus</i>	>700	
<i>Formicidae</i>	>1000	>900

Потребление грибов и бактерий, ускорение их минерализации, а также микроартроподы превращают минеральные частицы в важные почвообразователи, фекалии которых превращаются в крошечные структурные особенности почвы. Микроартроподы играют важную роль в пищевой цепи почвенного слоя биогеоценоза, поскольку сами являются пищевой базой для многих представителей высших трофических уровней [23-26]. Можно заметить, что высокий количественный и качественный показатель региональной почвенной фауны в 10 км от фосфорного завода по сравнению с техногенными нарушенными землями напрямую влияет на биоразнообразие на загрязнение почв вблизи фосфорного завода. Сокращение почвенной фауны, играющей в ней биоиндикаторную роль в почве, является прямым влиянием внешних факторов, загрязняющих почву, на климатические условия окружающей среды, растительный покров. По результатам нашего исследования основными представителями почвенной фауны в объекте исследования являются микроартроподы [27].

Основными загрязняющими компонентами отходов производства фосфора являются фос-

форные соединения, фториды, тяжелые металлы (кадмий, свинец, цинк, медь), а также сернистые соединения и остатки органических соединений [28-29]. Эти элементы попадают в почву в результате атмосферных выбросов, осаждения аэрозолей и инфильтрации промышленных стоков, вызывая изменения в составе и функционировании почвенной биоты.

Фосфорные соединения и фториды могут накапливаться в почве, приводя к изменению pH и снижению микробного разнообразия, что, в свою очередь, влияет на численность и распределение почвенных беспозвоночных. Например, повышенная кислотность почвы снижает популяции почвенных клещей (*Oribatida*) и коллембол (*Collembola*), которые чувствительны к изменениям кислотно-щелочного баланса [30].

Тяжелые металлы (Cd, Pb, Zn, Cu) оказывают токсическое действие на почвенных беспозвоночных, угнетая активность сапрофагов и редуцентов. Исследования показали, что накопление тяжелых металлов приводит к снижению численности коллембол и увеличению доли нематод, которые более устойчивы к загрязнению [31].

Сернистые соединения и органические остатки могут вызывать гипоксию почвы, что ограничивает распространение аэробных микроорганизмов и, следовательно, изменяет пищевые сети почвенной фауны. Это приводит к замещению типичных видов (например, *Folsomia candida*) более устойчивыми к низкому содержанию кислорода видами [32].

В результате техногенного загрязнения наблюдается локальная утрата биоразнообразия вблизи фосфорного завода, сокращение популяций чувствительных видов (например, представителей *Collembola* и *Oribatida*) и увеличение доли стрессоустойчивых групп, таких как ногохвостки (*Entomobryidae*) и нематоды. В зонах, удаленных от источника загрязнения на 10 км, биоразнообразие почвенной фауны восстанавливается, что подтверждается увеличением численности почвенных беспозвоночных.

Заклучение

Почвы служат накопителями вредных веществ, включая загрязнения из атмосферы, сточные воды и промышленные отходы. Одним из показателей состояния почвы и растительного покрова является наличие в них различных загрязнителей, таких как нефтепродукты и тяжелые металлы, а также баланс биогенных элементов, таких как азот, калий и фосфор. Фосфор играет ключевую роль в питании растений и энергетических процессах в их клетках. Проблема недостатка или избытка фосфора в почвах изучается в экспериментальных исследованиях и обзорах [33-34]. Загрязнение почв является одной из наиболее опасных форм деградации

земель, обусловленной различными причинами, включая дальний транспорт загрязняющих веществ и их негативное воздействие на живые организмы, включая человека. Цель нашей работы заключалась не только в выявлении проблем, связанных с химическим загрязнением почвы, таких как миграция загрязнителей и их аккумуляция, но и в понимании экономических и социальных последствий этого загрязнения. микроартроподы, такие как панцирные клещи и коллемболы, играют важную роль в процессе гумификации почв как деструкторы растительного опада [35]. Они являются наиболее активными разрушителями растительных остатков среди организмов почвенной микрофауны [36]. На основании проведенного исследования установлено, что по объекту исследования установлено, что под воздействием промышленных выбросов вблизи фосфорного завода, количество микроартроподов в почве, питающихся бактериями, грибковыми спорами и способствующих их распространению в почву, встречается в очень малых количествах по сравнению с региональными почвами. Показывает, что микроартроподы чувствительны к загрязнению почвы. Микроартроподы встречаются в большом количестве в 5–10 см слое почвы.

Источник финансирования

Исследование выполнено в рамках реализации проекта ИРН АР19677698 «Оценка влияния техногенных отходов на свойства почвенных покровов и разработка способа по реабилитации экологически неблагополучных промышленных земель».

Литература

1. Ellis E., Klein C., Goldewijk K., Siebert S., Lightman D., Ramankutty N. Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000 // *Global Ecology and Biogeography*. – 2010. – № 19. – P. 589-606.
2. Гиляров А.М. Индекс разнообразия и экологическая сукцессия // *Журнал общей биологии*. – 1969. – Т. 30. – № 6. – С. 652-657.
3. Мелецис В.П. Биоиндикационное значение коллембол (*Collembola*) при загрязнении почвы березняка-кисличника индустриальной кальцийсодержащей пылью // *Загрязнение природной среды кальцийсодержащей пылью*. – Рига, 1985. – С. 149-209.
4. Стриганова Б.Р. Роль почвенных животных в процессе разложения растительных остатков // *Проблемы почвенной зоологии*. – Вильнюс, 1975. – С. 32-35.
5. Harris J.A. Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration // *European Journal of Soil Science*. – 2003. – Т. 54. – P. 801-808.
6. Winding A., Hund-Rinke K., Rutgers M. The use of microorganisms in ecological soil classification and assessment concepts // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2005. – Т. 62. – P. 230-248.

7. Wang Q., Wang R., Tian C., Yu Y., Zhang Y., Dai J. Using microbial community functioning as the complementary environmental condition indicator: a case study of an iron deposit tailing area // *European Journal of Soil Biology*. – 2012. – Т. 51. – P. 22-29.
8. Пономаренко А.В., Труфанов Г.В., Голубев С.Н. Микроэлементы в организме наземных беспозвоночных // *Экология*. – 1974. – № 3. – С. 84-96.
9. Симонович Е.И. Интегральный критерий оценки гумусного состояния черноземов обыкновенных и возможные пути его восстановления с использованием процессов стимуляции активности природных компонентов почвенного ценоза // *Международный журнал экспериментального образования*. – 2013. – № 1. – С. 57-60.
10. Стриганова Б.П. Питание почвенных сапрофагов. – Москва, 1980. – 242 с.
11. Darwin Ch. The formation of vegetable mould through the action of worms, with observation in their habits. – London: Murray, 1881. – 328 p.
12. Hansen V. Die Tätigkeit des Regenwurms (*Lumbricus terrestris*) für die Fruchtbarkeit des Erdbodens // *Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie*. – 1877. – Bd. 28. – H. 3. – S. 354-364.
13. Hartenstein R. Soil Macroinvertebrates, aldehyde oxidase, catalase, cellulase and peroxidase // *Soil Biology and Biochemistry*. – 1982. – Т. 14. – P. 387-391.
14. Определитель обитающих в почве клещей. – Москва, 1975. – 491 с.
15. Определитель коллембол фауны СССР. – Москва: Наука, 1988. – 214 с.
16. Fisher R.A. *Statistical Methods for Research Workers*. – Edinburgh: Oliver & Boyd, 1925.
17. Shapiro S.S., Wilk M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples) // *Biometrika*. – 1965. – Vol. 52, No. 3-4. – P. 591-611.
18. Mann H.B., Whitney D.R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other // *Annals of Mathematical Statistics*. – 1947. – Vol. 18, No. 1. – P. 50-60.
19. Pearson K. Notes on regression and inheritance in the case of two parents // *Proceedings of the Royal Society of London*. – 1895. – Vol. 58. – P. 240-242.
20. Гельцер Ю.Г. Почвенные простейшие как тест для изучения биологически активных веществ // *Вестник Московского университета*. – 1967. – № 2. – С. 39.
21. Гиляров М.С. Закономерности приспособлений членистоногих к жизни на суше. – Москва, 1970. – 262 с.
22. Гиляров М.С. Учет крупных почвенных беспозвоночных (мезофауны) // *Методы почвенно-зоологических исследований*. – Москва, 1975. – С. 12-29.
23. Гиляров М.С. Коллемблы, их место в системе, особенности и значение // *Фауна и экология ногохвосток*. – Москва, 1984. – С. 3-11.
24. Докучаев В.В. Русский чернозем. – Санкт-Петербург: тип. Деклерона и Евдокимова, 1883. – 376 с.
25. Ковда В.А. Биосфера и человечество // *Биосфера и её ресурсы*. – Москва, 1971. – С. 7-53.
26. Бобров В. В. Почвенные микроскопические животные: виды и роль в экосистемах. – Москва: Наука, 2001.
27. Барнаулова С. И. Роль микроартроподов в почвенных экосистемах. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2013.
28. Sutton M.A., Strachan W.M. Deposition and fate of atmospheric phosphorus // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 1991. – Vol. 56. – P. 1-12.
29. Loganathan P., Hedley M.J., Grace N.D. Pasture soils contaminated with fertilizer-derived cadmium and fluorine: Livestock effects // *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. – 2008. – Vol. 192. – P. 29-66.
30. Haimi J., Huhta V. Effects of fertilization on soil decomposer animal communities in coniferous forests // *Ecological Bulletins*. – 1996. – Vol. 45. – P. 68-70.
31. Maharning A.R., Mills A.A., Adl S.M. Soil community changes during secondary succession to naturalized grasslands // *Soil Ecology*. – 2008. – № 41. – P. 137-147.
32. Hodkinson I.D., Jackson J.K. Terrestrial and aquatic invertebrates as bioindicators for environmental monitoring, with particular reference to mountain ecosystems // *Environmental Management*. – 2005. – Vol. 35, No. 5. – P. 649-666.
33. Артемьев С. Н. Биология почвенных животных. – Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2004.
34. Pankhurst C. E., Doube B. M. Soil Biota and Soil Fertility // *Soil Biology and Biochemistry*. – 1999. – Т. 31(1). – P. 83-92.
35. Zwerger P. Soil Collembola: Their Role in Soil and Agroecosystems // *Biology and Fertility of Soils*. – 2009. – Т. 46(5). – P. 403-412.
36. Bengtsson G., Gunnarsson T., Rundgren S. Effects of metal pollution on the nematode fauna in forest soil // *Ambio*. – 1983. – Vol. 12. – P. 76-78.

References

1. Artemyev S.N. (2004) *Biologiya pochvennykh zhivotnykh*. Novosibirsk: Sibirskoe otdelenie RAN.
2. Barnaulova S.I. (2013) *Rol' mikroartropodov v pochvennykh ekosistemakh*. Sankt-Peterburg: SPbGU.
3. Bengtsson G., Gunnarsson T., Rundgren S. (1983) Effects of metal pollution on the nematode fauna in forest soil. *Ambio*, vol. 12, pp. 76-78.

4. Bobrov V.V. (2001) Pochvennye mikroskopicheskie zhitovnye: vidy i rol' v ekosistemakh. Moskva: Nauka.
5. Darwin Ch. (1881) The formation of vegetable mould through the action of worms, with observation in their habits. London: Murray, 328 p.
6. Dokuchaev V.V. (1883) Russkii chernozem. Sankt-Peterburg: Tip. Deklerona i Evdokimova, 376 s.
7. Ellis E., Klein C., Goldewijk K., Siebert S., Lightman D., Ramankutty N. (2010) Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 19, pp. 589-606.
8. Fisher R.A. (1925) Statistical Methods for Research Workers. Edinburgh: Oliver & Boyd.
9. Geltser Yu.G. (1967) Pochvennye prosteyschie kak test dlya izucheniya biologicheskii aktivnykh veshchestv. *Vestnik Moskovskogo universiteta*, no. 2, p. 39.
10. Gilyarov A.M. (1969) Indeks raznoobraziya i ekologicheskaya suksessiya. *Zhurnal obshchei biologii*, vol. 30, no. 6, pp. 652-657.
11. Gilyarov M.S. (1970) Zakonomernosti prispособlenii chlenistonogikh k zhizni na sushe. Moskva, 262 s.
12. Gilyarov M.S. (1975) Uchet krupnykh pochvennykh bespozvonochnykh (mezofauna). *Metody pochvenno-zoologicheskikh issledovaniy*, Moskva, pp. 12-29.
13. Gilyarov M.S. (1984) Kollembly i ikh mesto v sisteme, osobennosti i znachenie. *Fauna i ekologiya nogokhvostok*, Moskva, pp. 3-11.
14. Haimi J., Huhta V. (1996) Effects of fertilization on soil decomposer animal communities in coniferous forests. *Ecological Bulletins*, vol. 45, pp. 68-70.
15. Hansen V. (1877) Die Tätigkeit des Regenwurms (*Lumbricus terrestris*) für die Fruchtbarkeit des Erdbodens. *Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie*, vol. 28, no. 3, pp. 354-364.
16. Hartenstein R. (1982) Soil Macroinvertebrates, aldehyde oxidase, catalase, cellulase and peroxidase. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 14, pp. 387-391.
17. Harris J.A. (2003) Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration. *European Journal of Soil Science*, vol. 54, pp. 801-808.
18. Hodkinson I.D., Jackson J.K. (2005) Terrestrial and aquatic invertebrates as bioindicators for environmental monitoring, with particular reference to mountain ecosystems. *Environmental Management*, vol. 35, no. 5, pp. 649-666.
19. Kovda V.A. (1971) Biosfera i chelovechestvo. *Biosfera i ee resursy*, Moskva, pp. 7-53.
20. Loganathan P., Hedley M.J., Grace N.D. (2008) Pasture soils contaminated with fertilizer-derived cadmium and fluorine: Livestock effects. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 192, pp. 29-66.
21. Maharning A.R., Mills A.A., Adl S.M. (2008) Soil community changes during secondary succession to naturalized grasslands. *Soil Ecology*, no. 41, pp. 137-147.
22. Mann H.B., Whitney D.R. (1947) On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Annals of Mathematical Statistics*, vol. 18, no. 1, pp. 50-60.
23. Meletsis V.P. (1985) Bioindikatsionnoe znachenie kollemboly (Collembola) pri zagryaznenii pochvy bereznyiaka-kisluchniko industrialnoi kaltsiisoderzhashchei pyl'yu. *Zagryaznenie prirodnoi sredy kaltsiisoderzhashchei pyl'yu*, Riga, pp. 149-209.
24. Opredelel' obitayushchikh v pochve kleshchei. (1975) Moskva, 491 s.
25. Opredelel' kollemboly fauny SSSR. (1988) Moskva: Nauka, 214 s.
26. Pankhurst C.E., Doube B.M. (1999) Soil Biota and Soil Fertility. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 31, no. 1, pp. 83-92.
27. Parmesan C. (2006) Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. S.*, vol. 37, no. 12, pp. 637-669.
28. Pearson K. (1895) Notes on regression and inheritance in the case of two parents. *Proceedings of the Royal Society of London*, vol. 58, pp. 240-242.
29. Ponomarenko A.V., Trufanov G.V., Golubev S.N. (1974) Mikroelementy v organizme nazemnykh bespozvonochnykh. *Ekologiya*, no. 3, pp. 84-96.
30. Shapiro S.S., Wilk M.B. (1965) An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, vol. 52, no. 3-4, pp. 591-611.
31. Simonovich E.I. (2013) Integral'nyi kriterii otsenki gumusnogo sostoyaniya chernozemov obyknovennykh i vozmozhnye puti ego vosstanovleniya. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya*, no. 1, pp. 57-60.
32. Sutton M.A., Strachan W.M. (1991) Deposition and fate of atmospheric phosphorus. *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 56, pp. 1-12.
33. Striganova B.R. (1975) Rol' pochvennykh zhitovnykh v protsesse razlozheniya rastitel'nykh ostatkov. *Problemy pochvennoi zoologii*, Vilnius, pp. 32-35.
34. Striganova B.R. (1980) Pitanie pochvennykh saprofagov. Moskva, 242 s.
35. Winding A., Hund-Rinke K., Rutgers M. (2005) The use of microorganisms in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 62, pp. 230-248.
36. Zwerger P. (2009) Soil Collembola: Their Role in Soil and Agroecosystems. *Biology and Fertility of Soils*, vol. 46, no. 5, pp. 403-412.

Авторлар туралы мәлімет:

Қонысбаева Айжан Әміржанқызы (корреспондент-автор) – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ биоалуантүрлік және биоресурстар кафедрасының PhD докторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: konysbaeva.aizhan@mail.ru)

Есимсиитова Зура Беркутовна – биология ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ биоалуантүрлік және биоресурстар кафедрасының доценті (Алматы, Қазақстан, e-mail: zura1958@bk.ru)

Тоқтар Мұрат – PhD, Ө.О.Оспанов атындағы Қазақ топырақтаңу және агрохимия ғылыми-зерттеу институтының Топырақ экологиясы бөлімінің аға ғылыми қызметкері доценті (Алматы, Қазақстан, e-mail: murat-toktar@mail.ru)

Information about authors:

Konysbayeva Aizhan Amirzhankyzy (corresponding author) – PhD student of the Department of Biodiversity and Bioresources of al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: konysbaeva.aizhan@mail.ru)

Yessimsiitova Zura Berkutovna – candidate of biological sciences, associate professor of the Department of Biodiversity and Bioresources of al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: zura1958@bk.ru)

Murat Toktar – PhD, Researcher, Department of soil ecology, Kazakh Research institute of soil science and agricultural chemistry named after U.Uspanova (Almaty, Kazakhstan, e-mail: murat-toktar@mail.ru)

Поступило 25 июля 2024 года
Принято 20 февраля 2025 года