

ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

ГРНТИ 68.33.29; 87.21.15

DOI: 10.51886/1999-740X_2025_1_28

Т.Б. Байназарова^{1*}, А.Д. Акбасова^{1*}, Г.А. Саинова², К.Т. Сарбаева¹**ВЛИЯНИЕ ВЕРМИКОПОСТА НА ТРАНСФОРМАЦИЮ И ТРАНСЛОКАЦИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ГРУНТАХ И В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-РАСТЕНИЕ»**¹Международный Казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави,

161200, Туркестан, пр. Бекзата Саттарханова, 29, Казахстан,

²Научно-исследовательский институт «Экология»,

161200, Туркестан, пр. Бекзата Саттарханова, 29, Казахстан

*e-mail: togzhan.bainazarova@ayu.edu.kz, ecolog_kz@mail.ru

Аннотация. Настоящее исследование направлено на оценку эффективности вермикомпоста для стабилизации тяжелых металлов в почвах, подверженных антропогенному загрязнению, с целью снижения их биодоступности и предотвращения транслокации в сельскохозяйственные кормовые культуры (клевер, люцерна). Вермикомпост, богатый гумусовыми кислотами, способствует образованию устойчивых хелатных комплексов с ионами тяжелых металлов (Cu, Pb, Ni, Cr, Zn, Cd) и снижает их подвижность на 30-40% и более. Эти хелатные соединения эффективно предотвращают биотрансформацию металлов в более доступные для растений формы, тем самым способствуя длительной фитостабилизации загрязненных почв. Внесение в почву вермикомпоста усиливает сорбционную емкость почвы, помогая предотвратить вертикальную и горизонтальную миграцию токсичных элементов и снижая их биоаккумуляцию в растительные ткани как клевера, так и люцерны. На основе экспериментально полученных результатов показана перспективность использования вермикомпоста как экологически безопасного метода ремедиации, способствующего долговременному сохранению плодородия и экологического равновесия почв. Применение этого метода даст возможность эффективно управлять свойствами агроэкосистем и снизить экологические риски в условиях загрязнения почв тяжелыми металлами.

Ключевые слова: почва, грунт, тяжелые металлы, вермикомпост, транслокация, клевер, люцерна, фитостабилизация.

ВВЕДЕНИЕ

Основными источниками загрязнения окружающей среды являются промышленные предприятия, транспорт, сельскохозяйственные стоки и другие. Особую опасность среди токсикантов представляют соединения тяжелых металлов, особенно свинца, кадмия, цинка, меди, хрома [1]. Основная масса загрязняющих веществ выбрасывается в атмосферу, которые с осадками выпадает на поверхность почв и водных объектов, далее подвергается миграционным, аккумуляционным и другим процессам. Эти загрязнители, попадая в почвенную систему, не только негативно воздействуют на ее состояние, но и циркулируя в цепях питания, непосредственно из почвы или через растения переходят в

организмы биоты, вызывая угрозу их жизнеспособности [2].

Аккумуляция тяжелых металлов делает почву ключевым звеном пищевой цепи для распространения токсикантов [3]. Они в процессе дифференциации перемещаются в растительные организмы или смываются в водные объекты [4]. С течением времени тяжелые металлы, сорбируясь почвенным поглощающим комплексом, включаются в почвообразовательные процессы, вступают во взаимодействие с органическими и другими веществами, перераспределяются по профилю. Особое значение в этом процессе имеет природа и концентрация загрязнителей, которые могут усиливать (синергетический эффект) или ослаблять (антагонистический эффект) действия друг на друга [5].

На поведение тяжелых металлов в почвенной системе существенное влияние оказывают газообразные атмосферные выбросы промышленных объектов, а именно кислоты и соли, образованные за счет трансформации кислотных и других оксидов. Накопление этих соединений в воздушной среде способствует образованию кислотных или солевых атмосферных осадков. Эти осадки, попадая в почву, изменяют значения pH среды, способствуют переходу тяжелых металлов в ионные подвижные формы, тем самым активизируется их участие в обменных процессах [6]. Изменение кислотно-основного баланса также воздействует на окислительно-восстановительные свойства почвы, создавая условия для протекания химических реакций, которые усугубляют негативное воздействие на почвенную биоту и растения [7].

Такие факторы, как метеорологические условия, рельеф, физико-химические свойства почвы и присутствие различных видов биоты определяют характер распространения загрязнителей. Например, тяжелые металлы могут накапливаться в почвах, изменяя их химический состав и снижая плодородие. Важно учитывать эти факторы при изучении миграции тяжелых металлов, поскольку они помогают понять механизмы загрязнения и разрабатывать методы контроля и способы управления их поведением в системе «почва-растение». В связи с этим целью данной работы является исследование влияния вермикомпоста на трансформацию и транслокацию тяжелых металлов в грунтах и в системе «почва-растение».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования отобраны пробы насыпного грунта и часто встречающихся растений – клевера лугового (*Trifolium pratense L.*) и люцерны полевой (*Medicago sativa L.*) с территорий, прилегающих к объектам железной дороги. Выбор этих объектов обуслов-

лен особенностями распределения тяжелых металлов вблизи источников техногенного загрязнения. Для анализа уровня загрязнения были использованы стандартные методы отбора и подготовки проб, основанные на «Временных методических рекомендациях по контролю загрязнения почв» [8].

При проведении отбора проб учитывалась протяженность и топография зон загрязнения с учетом розы ветров, их скорости и продолжительности по сезонам года. Пробы грунта и образцы из контрольных почв были отобраны с использованием титанового почвенного бура по методу квадрата. Используемые для исследований пробы представляют собой насыпные, намывные и перемешанные грунты, имеют включения строительного и бытового мусора в верхних горизонтах, загрязнены тяжелыми металлами (ТМ) и нефтепродуктами, обладают особыми физико-механическими свойствами. В грунтах в отличие от почв отсутствуют генетические почвенные горизонты, у них верхние горизонты являются антропогенно нарушенными.

Для исследования подвижных форм тяжелых металлов в исследованных техногенно загрязненных почвах применен метод экстракции с различными реагентами. Использование таких экстрагентов, как 1,0 М HCl, 0,1 М NaOH и ацетатно-аммонийный буфер с pH=4,8 и pH=7,0 позволило получить полную картину доступности и подвижности металлов в почвенной системе. Экстракция водой проводилась с целью выделения истинно растворимых форм металлов, что позволяет оценить их потенциальную биодоступность для растений [9]. Для каждого образца соблюдалось соотношение экстрагент:образец равное, соответственно, 1:10, что дало возможность обеспечить достаточную концентрацию металлов в растворе.

Вермикомпост, использованный для экспериментальных исследований получен по методике, предложенной авторами патента России А. Акбасовой и О. Исаковым [10]. Вермикомпост внесен в почвенную систему в виде 2% и 5% растворов. В исходном концентрированном растворе содержание общих органических веществ 60,3-65,0%, гумусовых веществ 26,9-30,1% [11].

Процедуры диализа и электродиализа применялись для определения распределения тяжелых металлов в насыпном грунте по следующим фракциям: истинно растворимые, сорбированные коллоидами, нейтральные комплексные соединения, анионные и катионные формы. Фильтрация вытяжек выполнялась с использованием фильтров «синяя лента», после чего фильтраты анализировались методом атомной абсорбции на спектрофотометре, что позволяет точно определить кислоторастворимые соединения тяжелых металлов [12].

Методы экстракций с различными реагентами, особенно кислотами и буферами с разными уровнями pH, позволяют учесть влияние кислотности почвы на подвижность тяжелых металлов, что важно для оценки их доступности для растений. Например,

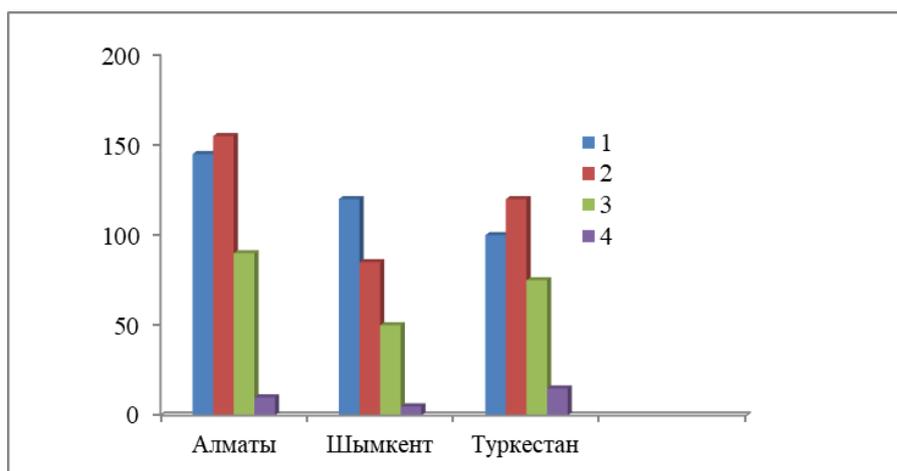
подвижность металлов, таких как свинец, значительно зависит от pH среды, в то время как кадмий проявляет высокую подвижность при уменьшении pH. Эти данные помогают лучше понять, как различные формы тяжелых металлов взаимодействуют с почвенными компонентами, обеспечивая всестороннюю оценку их поведения в системе.

В таблицах приведены средние арифметические значения и их стандартные ошибки по двум независимым опытам. Достоверность различий между опытами оценивалась с помощью критерия Стьюдента ($P \leq 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 и в таблице 1 приведены данные, полученные при проведении анализа грунта на содержание некоторых тяжелых металлов (ТМ) территорий, примыкающих к локомотивным депо.

В ходе исследований было установлено, что максимум аккумуляции Pb наблюдается в верхних слоях насыпного грунта (рисунок 1). Загрязнение грунта чаще всего ограничивается глубиной до 10-20 см. Максимальные значения приурочены к поверхностному слою грунта (0-5 см).



Глубина отбора проб: 1 – 0-5 см; 2 – 5-10 см; 3 – 10-25 см; 4 – 40-50 см
Рисунок 1 – Накопление Pb в верхних слоях грунта на территориях локомотивных депо

Как следует из результатов экспериментальных исследований грунт вокруг локомотивного депо характеризуется повышенным содержанием тяжелых металлов, особенно свинца и никеля по сравнению с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов в грунте (0-20 см) территории локомотивных депо, мг/кг

Элемент, ПДК, мг/кг	Локомотивное депо					
	Шымкент	Туркестан	Павлодар	Алматы	Кызылорда	Актюбе
Медь 3,0	<u>15-26</u> 22,5	<u>17-22</u> 19,7	<u>17-23</u> 20,6	<u>12-32</u> 25,0	<u>10-26</u> 19,0	<u>9-15</u> 13,1
Свинец 30,0	<u>72-98</u> 85,2	<u>48-83</u> 75,5	<u>38-81</u> 69,5	<u>54-180</u> 127,4	<u>44-101</u> 82,8	<u>52-74</u> 63,9
Никель 4,0	<u>12-65</u> 48,5	<u>13-58</u> 35,9	<u>19-31</u> 25,6	<u>14-46</u> 31,0	<u>18-31</u> 25,5	<u>16-25</u> 20,5
Хром 6,0	<u>14-150</u> 89,1	<u>19-89</u> 59,0	<u>38-57</u> 47,9	<u>27-61</u> 46,3	<u>16-79</u> 48,5	<u>25-150</u> 97,5
Цинк 37,0	<u>20-130</u> 85,0	<u>19-164</u> 93,5	<u>41-70</u> 56,5	<u>30-150</u> 99,0	<u>25-89</u> 59,8	<u>22-93</u> 59,5
Кадмий 0,5	<u>1,8-3,7</u> 2,9	<u>1,6-1,9</u> 1,8	<u>1,2-1,3</u> 1,2	<u>0,9-1,1</u> 1,0	<u>0,6-1,0</u> 0,9	<u>1,9-2,4</u> 2,1

Примечание: По каждому элементу в числителе указаны пределы колебаний, а в знаменателе – среднее содержание из 8-10 образцов грунтов.

Среднее содержание тяжелых металлов на территории локомотивных депо составляет в мг/кг: для меди от 13,1 до 25,0, для свинца от 63,9 до 127,4, для никеля от 20,5 до 48,5, для хрома от 46,3 до 97,5; для цинка от 59,5 до 99,0.

Кроме валового содержания тяжелых металлов (Cu, Pb, Ni, Cr, Zn, Cd) были определены содержание потенциально подвижных (соляно-кислая вытяжка) и подвижных (аммоний-ацетатные вытяжки) форм на грунтах и почвах территории станции Туркестан в различных удаленных местах (таблица 2). Почвы на расстоянии 500 м от источника загрязнения и вне территории станции использованы в качестве контрольных, т.е. они практически не подвержены влиянию кислотосодержащих выбросов, образуемых при испытании реостатов. Эти почвы представляют собой сероземы, практически не содержащие в своем составе искусственные техногенные включения.

Как видно из данных таблицы 2 экстремально высокие уровни подвиж-

ных форм тяжелых металлов обнаружены в пробах грунта, отобранных непосредственно с территории, где осуществляются реостатные испытания. Такая закономерность, видимо, связана с изменением форм металлов под влиянием техногенных кислотного характера выбросов из дизелей тепловозов (оксиды азота, углерода, серы и др.).

В почвенно-грунтовых системах тяжелые металлы подвергаются различным превращениям и каждый из них по-разному реагирует с почвенными компонентами. Например, у свинца в нейтральной и слабощелочной среде растворимость соединений в почвах в 100 раз меньше, чем у кадмия, т.е. подвижность Pb более низкая. Свинец по сравнению с другими металлами образует более прочные связи с почвенными органическими веществами. Адсорбция свинца гумусом, способность к комплексообразованию и устойчивость образующихся соединений возрастают с повышением значений pH среды. Этот элемент образует с

гуминовыми (ГК) и фульвокислотами (ФК) более устойчивые комплексы, чем цинк и кадмий. Фиксация и уровень сорбции свинца с глинистыми минералами также зависит от рН среды. С повышением этого показателя сорбция свинца минералами резко возрастает, причем он удерживается более прочно, чем другие металлы. Этим объясняется незначительная подвижность соединений свинца в почвах аридных и

полуаридных зон даже при наличии металла в больших количествах. Эффективными поглотителями, т.е. фиксаторами свинца являются карбонатные горизонты, для которых характерны высокие значения рН.

На рисунке 2 (а, б) приведены коэффициенты вымывания из почвы свинца, меди, цинка, кадмия, хрома, никеля.

Таблица 2 – Содержание потенциально подвижного числитель и подвижного знаменатель тяжелых металлов в грунтах и почвах

Показатель	Станция Туркестан		Почвы вне территории станции Туркестан (контроль 2)
	грунты территории реостатных испытаний	почвы на расстоянии 500 м от места реостатных испытаний (контроль 1)	
Количество проб	8	5	5
Свинец			
Валовое содержание, мг/кг	202,3	124,5	168,0
Доля подвижных форм, %	$\frac{72,3}{84,1}$	$\frac{46,8}{45,0}$	$\frac{43,5}{39,9}$
Цинк			
Валовое содержание, мг/кг	196,2	189,1	204,6
Доля подвижных форм, %	$\frac{78,0}{86,8}$	$\frac{51,2}{47,3}$	$\frac{37,1}{35,2}$
рН	5,1	6,0	5,9

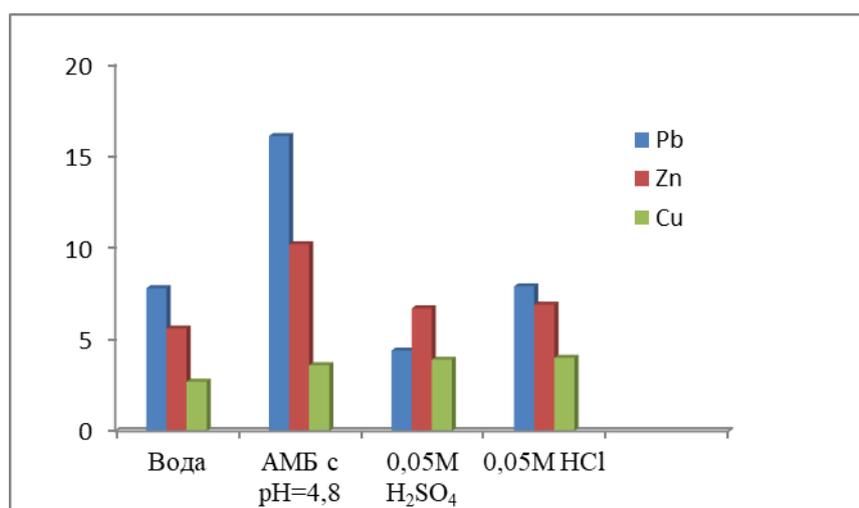
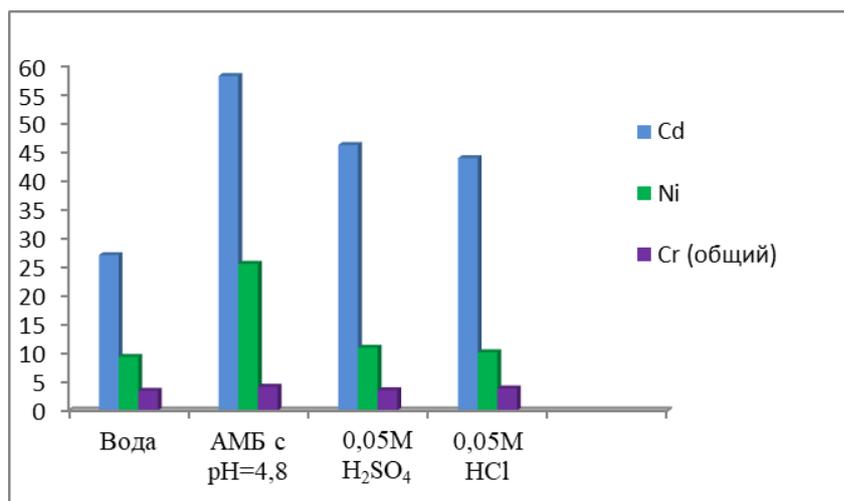


Рисунок - 2 (а) – Коэффициенты вымывания тяжелых металлов из почв, $K_{в_ы_м}, \%$



б)

Рисунок - 2 (б) – Коэффициенты вымывания тяжелых металлов из почв, $K_{\text{вым.}}$, %

Опираясь на экспериментальные данные, приведенные на рисунке 2 (а, б), можно отметить наибольшую способность к вымыванию кадмия. С понижением значений pH кадмий переходит в катионную форму. По сравнению с другими элементами, легко вымываясь с атмосферными осадками, кадмий не только загрязняет поверхностные и грунтовые воды, но и переходит через питательные растворы из почвы в растения. А у хрома, наоборот, по сравнению с другими тяжелыми металлами подвижная способность очень низкая. Например, если у кадмия коэффициент вымывания находится в пределах 43-60 %, у хрома не более 5%. Исходя из этого можно сказать, что с экологической точки зрения наличие хрома в почве не представляет опасности для

растений. Низкое содержание подвижных форм хрома объяснимо образованием нерастворимых комплексов с органическими веществами, или мало-растворимых соединений с минеральной частью почв.

В связи с разным поведением тяжелых металлов в почвенной системе определенный интерес представил процесс их транслокации в растения. В качестве растения нами выбраны клевер и люцерна, распространенные на близлежащих территориях станции Туркестан. На примере свинца исследован процесс транслокации в системе «почва-растение» (таблица 3). При изучении процесса транслокации в почву (на глубину – 0-40 см) искусственно были внесены различные концентрации свинца (от 64,2 до 190,5 мг/кг).

Таблица 3 – Влияние вермикомпоста на процесс транслокации Pb в системе почва-клевер и почва-люцерна.

Содержание Pb в почве и в наземной части растений, мг/кг						
без внесения вермикомпоста			при внесении вермикомпоста			
			2%		5%	
почва	клевер	люцерна	клевер	люцерна	клевер	люцерна
64,2±2,0	16,2±0,1	21,1±0,1	5,6±0,1	9,4±0,1	0,62±0,1	0,15±0,1
150,0±2,5	76,3±0,1	79,8±0,1	7,3±0,1	12,3±0,1	0,90±0,1	0,26±0,1
190,5±3,1	72,1±0,1	81,9±0,1	10,0±0,1	15,5±0,1	1,03±0,1	0,39±0,1

Результаты, представленные в таблице 3, демонстрируют значительное снижение содержания свинца (Pb) в надземной части клевера и люцерны, при внесении вермикомпоста. Это снижение можно объяснить комплексобразующими свойствами органических соединений, содержащихся в вермикомпосте. Гумусовые кислоты (гуминовые и фульвокислоты) обладают высокой способностью к хелатообразованию, что позволяет им связывать ионы тяжелых металлов, переводя их в менее подвижные формы. Такие соединения эффективно снижают биодоступность металлов и тем самым ограничивают их проникновение в растительные ткани.

Процесс комплексобразования металлов с гумусовыми кислотами можно описать следующими реакциями: $n\text{Me}^{n+} + \text{ГК} = \text{Me}_n\text{ГК} + n\text{H}^+$ или $n\text{Me}^{n+} + \text{ФК} = \text{Me}_n\text{ФК} + n\text{H}^+$, где ГК и ФК представляют гуминовые и фульвокислоты, соответственно. В результате этих реакций образуются устойчивые хелатные комплексы, которые адсорбируются на поверхности почвенных частиц, фиксируются в почвенном слое и становятся недоступными или малодоступными для корневых систем растений. Это существенно снижает вероятность перехода металлов, таких как свинец, в надземные части растений. Помимо комплексобразования, вермикомпост также способствует ряду ионообменных реакций, которые обеспечивают дополнительное закрепление тяжелых металлов в почве.

Наиболее важными являются нижеследующие реакции:

1. $\text{Me}^{2+} + \text{CaCO}_3 = \text{MeCO}_3 + \text{Ca}^{2+}$: данная реакция способствует образованию карбонатных форм металлов, которые являются малоподвижными и менее доступными для растений.

2. $[(x+y) \text{Me}(\text{OH})_2 + y \text{CO}_3^{2-} + 2x\text{OH}^- = \text{Me}(\text{OH})_2 \cdot y \text{MeCO}_3]_{\text{ТВ}}$: образование смешанных гидроксид-карбонатных

форм, которые устойчивы в почвенной системе.

3. $\text{CaCO}_3_{\text{ТВ}} + \text{Me}^{2+} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + \text{Me}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2$: образование малорастворимых гидроксидов, которые дополнительно ограничивают подвижность металлов.

Таким образом, результаты данного эксперимента подтверждают, что внесение вермикомпоста является эффективным методом фитостабилизации почв, загрязненных тяжелыми металлами. Вермикомпост, обладая высокой способностью к комплексобразованию, связывает ионы тяжелых металлов в устойчивые формы, что существенно снижает их биодоступность и токсичность для растений. Этот процесс способствует созданию более безопасных условий для роста растений на загрязненных почвах.

Перечисленные выше механизмы ведут к снижению концентрации подвижных форм свинца и замедляют его транслокацию в растительные ткани, что является ключевым фактором в уменьшении экологической нагрузки на агроэкосистемы.

Полученные данные также подчеркивают, что форма и поведение ионов тяжелых металлов в почве зависят как от их химической природы, так и от состава почвенных компонентов. Например, кадмий, по сравнению с другими металлами, демонстрирует слабое сродство как к минеральным, так и к органическим компонентам почвы, что приводит к его повышенной подвижности. Эти результаты согласуются с литературными данными, свидетельствующими о слабой прочности связи ионов кадмия с почвенными частицами [13].

При увеличении pH почвы многие тяжелые металлы, например свинец, могут превращаться в малорастворимые или нерастворимые гидроксиды, что ограничивает их доступность для растений. Полученные нами экспери-

ментальные результаты о зависимости растворимости тяжелых металлов от значений pH среды хорошо согласуются с данными работ [14, 15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты экспериментальных исследований территорий, подвергающихся воздействию объектов железной дороги, свидетельствуют о большей кислотности среды в грунтах, находящихся под влиянием реостатных испытаний, и вблизи других антропогенных источников. Для грунта значение $pH \sim 5,1$, а для почв из контрольных участков, удаленных от источников загрязнения на расстоянии 500 м и более, соответственно $pH \sim 5,9$ и $pH \sim 6,0$.

Обнаружены существенные различия в количественном содержании подвижных форм тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Cr) с увеличением кислотности среды, что можно объяснить преобразованиями форм накопления тяжелых металлов под действием выбросов кислотных оксидов и аэрозо-

лей кислот из дизелей тепловозов при реостатных испытаниях.

Рассчитаны коэффициенты вымывания тяжелых металлов из почво-грунтов. Согласно результатам проведенных опытов получены следующие значения коэффициентов: для Cd - $\leq 58,3\%$; Cr - $\leq 4,2$; Pb - $\leq 16,1$; Zn - $\leq 10,2$; Cu - $\leq 4,0$.

Установлено, что одним из эффективных способов управления миграционными и транслокационными способностями тяжелых металлов в грунтах и почвах является применение вермикомпоста. Гумусовые кислоты, содержащиеся в вермикомпосте, формируют в корнеобитаемом слое устойчивые комплексы с катионами металлов, переводя их в менее подвижные формы. Образование этих комплексов способствует ингибированию процесса транслокации тяжелых металлов в надземные органы бобовых культур, т.е. создаются условия для получения экологически безопасных кормовых растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Srivastava, V., Sarkar, A., Singh, S., Singh, P., Araujo, A., Singh, R. Agroecological responses of heavy metal pollution with special emphasis on soil health and plant performances// *Frontiers in Environmental Science*. – 2017. – Vol. 5. – № 64. – P. 19.
2. Wang R., Shafi M., Ma J., Zhong B., Guo J., Hu X., Xu W., Yang Y., Ruan Z., Wang Y., Ye Z., Liu D. Effect of amendments on contaminated soil of multiple heavy metals and accumulation of heavy metals in plants// *Environmental Science and Pollution research*. – 2018. – Vol. 25. – P. 28695-28704.
3. Wang S., Wu W., Liu F., Liao R., Hu Y. Accumulation of heavy metals in soil-crop systems: a review for wheat and corn// *Environmental Science and Pollution Research*. – 2017. – Vol. 24. – №18. – P. 15209–15225.
4. Петухов А. С. Влияние транслокации тяжёлых металлов в системе «почва-растение» на биохимические показатели растений: дис. канд. хим. наук. – Тюмень, 2023. – 208 с.
5. Alengebawy A., Abdelkhalek S. T., Qureshi S. R., Wang M. Q. Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants: Ecological Risks and Human Health Implications// *Toxics*. – 2021. – Vol. 9. – №3. – P. 42.
6. Thomas G. W. Soil pH and soil acidity// *Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods/ SSSA, ASA*. – Madison. - 1996. – P. 475–490.
7. Chen H., Yuan X., Li T., Hu S., Ji J., Wang C. Characteristics of heavy metal transfer and their influencing factors in different soil-crop systems of the industrialization region, China// *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2016. – Vol. 126. – P. 193–201.

8. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв. – Москва: Гидрометеиздат, 1983. – С. 82–84.
9. Довбыш С. А. Формы тяжелых металлов в природных и техногеннозагрязненных черноземных почвах Алтайского Приобья : автореф. дис. канд. с.-х. наук. – Барнаул, 2000. – 18 с.
10. Акбасова А.Д., Исаков О.А. «Ускоренный способ комплексного вермикомпостирования и вермикультивирования». Патент РФ № RU2577059. Оpubл. 10.03.16.
11. Саинова Г.А., Акбасова А.Д., Нурдиллаева Р.Н., Жумабай Б.Ж., Байхамурова М.О. Природа гумусовых кислот в вермикомпосте// Вестник Казахстанско-Британского технического университета. – 2020. – Т. 17. - № 1. – С. 93–98.
12. Громакова Н. В., Минкина Т. М. Радсорбция тяжелых металлов при определении их подвижных форм в черноземе обыкновенном// Инженерный вестник Дона. – 2016. – Т. 43. - № 4 (43). – 32 с.
13. Ладонин Д. И. Конкурентные взаимоотношения ионов при загрязнении почвы тяжелыми металлами// Почвоведение. – 2000. - № 10. – С. 1285-1293.
14. Кулюк В.Н., Кулешова О.М., Карабин Л.А. Производство растворимости. – Новосибирск: Наука, 1983. –267 с.
15. Пестриков С.И., Исаева О.Ю., Сапожникова Е.Н., Легуш Э Ф., Красногорская Н.Н. Гидроэкология: упрощенный расчет минимальной растворимости и рН осаждения тяжелых металлов в водных растворах// Инженерная экология. – 2004. - № 5. – С. 37-43.

REFERENCES

1. Srivastava, V., Sarkar, A., Singh, S., Singh, P., Araujo, A., Singh, R. Agroecological responses of heavy metal pollution with special emphasis on soil health and plant performances// *Frontiers in Environmental Science*. – 2017. – Vol. 5. –P. 19. – № 64.
2. WangR., Shafi M., MaJ., ZhongB., GuoJ., Hu X., Xu W., YangY., RuanZ., Wang Y., YeZ., LiuD. Effect of amendments on contaminated soil of multiple heavy metals and accumulation of heavy metals in plants// *Environmental Science and Pollution Research*. – 2018. – Vol. 25. - P. 28695–28704.
3. Wang S., Wu W., Liu F., Liao R., Hu Y. Accumulation of heavy metals in soil-crop systems: a review for wheat and corn// *Environmental Science and Pollution Research*. – 2017. – Vol. 24. - №18. – P. 15209–15225.
4. PetukhovA. S. Influence of translocation of heavy metals in the soil-plant system onbiochemical indicators ofplants: PhDthesis in chemical sciences. – Tyumen, 2023. – 208p.
5. AlengebawyA., AbdelkhalekS.T., QureshiS.R., WangM.Q. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: ecological risks and human health implications// *Toxics*. – 2021. – Vol. 9. - № 3. – P. 42.
6. ThomasG. W. Soil pH and soil acidity// *Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods*. SSSA, ASA. – Madison. - 1996. – P. 475–490.
7. Chen H., Yuan X., Li T., Hu S., Ji J., Wang C. Characteristics of heavy metal transfer and their influencing factors in different soil-crop systems of the industrialization region, China// *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2016. – Vol. 126. – P. 193–201.
8. Temporary methodological recommendations for controlling soil pollution. – Moscow: Hydrometeoizdat, 1983. – S. 82–84.
9. Dovbysh S. A. Forms of heavy metals in natural and technogenically polluted

chernozem soils of the Altai Priobye region: Abstract of dissertation for the degree of candidate of agricultural sciences. – Barnaul, 2000. – 18 s.

10. Akbasova A. D., Isakov O. A. "Accelerated method of comprehensive vermicomposting and vermiculture." Patent RF № RU2577059. Published on 10.03.16.

11. Sainova G. A., Akbasova A. D., Nurdillaeva R. N., Zhumabay B. Zh., Baikhamurova M. O. The nature of humic acids in vermicompost// Bulletin of the Kazakh-British Technical University. – 2020. – Vol. 17. - № 1. – S. 93–98.

12. Gromakova N. V., Minkina T. M. Readsorption of heavy metals during the determination of their mobile forms in ordinary chernozem// Engineering Bulletin of the Don. – 2016. – Vol. 43. - № 4 (43). – S. 32.

13. Ladonin D. I. Competitive interactions of ions in soil contamination by heavy metals// Pochvovedenie. – 2000. – № 10. – S. 1285–1293.

14. KulyukV. N., Kuleshova O. M., KarabinL. A. Solubility product. – Novosibirsk: Nauka, 1983. – S. 267.

15. PestrikovS. I., IsaevO. Yu., SapozhnikovaE. N., LegushsE. F., KrasnogorskayaN. N. Hydroecology: simplified calculation of minimum solubility and pH for the precipitation of heavy metals in aqueous solutions// Engineering Ecology. – 2004. – № 5. – S. 37–43.

ТҮЙІН

Т.Б. Байназарова^{1*}, А.Ж. Ақбасова^{1*}, Г.Ә. Саинова², К.Т. Сарбаева¹

ВЕРМИКОПОСТТЫҢ АУЫР МЕТАЛДАРДЫҢ ГРУНТТА ТРАНСФОРМАЦИЯЛАНУЫНА
ЖӘНЕ «ТОПЫРАҚ-ӨСІМДІК» ЖҮЙЕСІНДЕ ТРАНСЛОКАЦИЯЛАНУЫНА ӘСЕРІ

¹Қожа Ахмет Ясауи атындағы халықаралық-түрік университеті,
161200, Түркістан, Бекзат Самтарханов даңғылы, 29, Қазақстан

²Экология ғылыми-зерттеу институты,
161200, Түркістан, Бекзат Самтарханов даңғылы, 29, Қазақстан,

*e-mail: togzhan.bainazarova@ayu.edu.kz; ecolog_kz@mail.ru

Бұл зерттеу антропогендік ластануға ұшыраған топырақтардағы ауыр металдарды тұрақтандыру үшін вермикомпосттың тиімділігін бағалауға бағытталған. Негізгі мақсаты – ауыр металдардың биожетімділігін төмендету және ауыл шаруашылық мал азықтық дақылдарға (жоңышқа, беде) таралуын болдырмау. Гумус қышқылдарына бай вермикомпост ауыр металл иондарымен (Cu, Pb, Ni, Cr, Zn, Cd) тұрақты хелаттық кешенді қосылыстар түзеді, бұл олардың жылжымалылығын 30-40%-ға және оданда жоғарыға төмендетеді. Бұл хелаттық кешенді қосылыстар металдардың өсімдіктер үшін қолжетімділік жылжымалы түрлерін тиімді түрде болдырмайды, осылайша ластанған топырақтардың ұзақ мерзімді фитостабилизациясына ықпал етеді. Вермикомпосты енгізгенде топырақтың сорбциялық қабілеті жоғарылады, бұл улы элементтердің миграциясының күрт төмендеуіне әкеліп, олардың жоңышқа және беде өсімдіктерінің тіндерінде биоаккумуляциялануына кедергі келтірді. Тәжірибелі түрде алынған мәліметтер көрсеткендей, вермикомпосты қолдану болашағы зор, экологиялық тұрғыдан қауіпсіз ремедиация әдісі ретінде қарауға мүмкіндік берді, себебі құнарлылықтың ұзақ уақыт сақталуына және топырақтағы экологиялық тепе-теңдіктің бұзылмауына жағдай туындатты. Бұл әдісті қолдану агроэкожүйелерді тұрақты басқарудың және ауыр металдармен ластану жағдайында экологиялық тәуекелдерді төмендетудің тиімді стратегиясы болуы мүмкін.

Түйінді сөздер: топырақ, грунт, ауыр металдар, вермикомпост, транслокация, жоңышқа, беде, фитостабилизация.

SUMMARY

T.B. Bainazarova^{1*}, A.D. Akbasova^{1*}, G.A. Sainova², K.T. Sarbaeva¹

INFLUENCE OF VERMICOMPOST ON THE TRANSFORMATION AND
TRANSLOCATION OF HEAVY METALS IN GROUNDS AND SOIL-PLANT SYSTEM

¹*International Kazakh-Turkish University named after Khoja Ahmed Yasawi,
161200, Turkestan, Bekzat Sattarkhanov avenue, 29, Kazakhstan,*

²*Ecology Research Institute, 161200, Turkestan, Bekzat Sattarkhanov avenue, 29,
Kazakhstan, *e-mail: togzhan.bainazarova@ayu.edu.kz, ecolog_kz@mail.ru*

This study focuses on assessing the effectiveness of vermicompost for stabilizing heavy metals in soils affected by anthropogenic pollution, with the goal of reducing their bioavailability and preventing translocation into agricultural fodder crops (clover, alfalfa). Vermicompost, rich in humic acids, promotes the formation of stable chelate complexes with heavy metal ions (Cu, Pb, Ni, Cr, Zn, Cd), reducing their mobility by 30-40%. These chelate compounds effectively prevent the biotransformation of metals into forms more accessible to plants, thereby contributing to the long-term Phyto stabilization of contaminated soils. The inclusion of vermicompost enhances the soil's sorption capacity, helping to prevent the vertical and horizontal migration of toxic elements and decreasing their bioaccumulation in the tissues of both clover and alfalfa. Based on the experimentally obtained results, the potential of vermicompost as an environmentally safe remediation method is demonstrated, contributing to the long-term preservation of soil fertility and ecological balance. The application of this method may become an effective strategy for sustainable agroecosystem management and reducing environmental risks in the context of heavy metal contamination.

Keywords: soil, ground, heavy metals, vermicompost, translocation, clover, alfalfa, phyto stabilization.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Байназарова Тогжан Бакытжанкызы – магистрант кафедры Экологии и химии, e-mail: togzhan.bainazarova@ayu.edu.kz

2. Акбасова Аманкул Джакановна – профессор кафедры Экологии и химии, доктор технических наук, e-mail: ecolog_kz@mail.ru

3. Саинова Гаухар Аскеровна – главный научный сотрудник, PhD биологии, доктор технических наук, e-mail: ecolog_conf@mail.ru

4. Сарбаева Карлыга Турсынбаевна – заведующая кафедрой Экологии и химии, кандидат химических наук, e-mail: karlyga.sarbayeva@ayu.edu.kz