

УДК 622.766:546.95

Э.Б. ХОБОТОВА, д.х.н., профессор, заведующий кафедрой,
Е.Н. СКЛЯРЕНКО, студентка, **М.И. УХАНЕВА**, ассистент
 Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет (ХНАДУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Исследовано накопление тяжелых металлов в почвах и различных видах огородных культур и различными органами растений, а также влияние кислотности почвы на процесс кумуляции. Показана возможность антагонистического и синергитического комбинированного действия тяжелых металлов.

тяжелые металлы, грунт, растения, миграция, синергизм

Увеличение содержания тяжелых металлов (ТМ) в почве ведет к возрастанию их концентрации в растениях. Об этом свидетельствуют многочисленные факты, выявленные при изучении антропогенного загрязнения почв. В основном ТМ скапливаются в почвах территорий, находящихся вблизи промышленных предприятий [1–5], либо попадают из осадков сточных вод в почву [6, 7]. Существуют данные по подвижности ионов ТМ в различных почвах и их распределению по профилю почвы [8]. Техногенное загрязнение влияет на лесные массивы и сельскохозяйственные угодья. Воздействие на них ТМ ухудшает рекреационные возможности местных ландшафтов, снижает продуктивность лесов, ставит под сомнение качество продукции растениеводства и животноводства [9].

Настоящая работа выполнена в рамках государственной программы охраны окружающей природной среды – 4-е направление научно-исследовательских работ Министерства образования и науки Украины. Ее цель – исследование содержания ряда ТМ в почвах и растениях на полях сельских хозяйств Дергачевского района Харьковской области, которые удобряются производственными шламами, а также рекомендации по снижению уровня загрязнения почв и растительности.

В ходе выполнения работы использовались различные экспериментальные методы. Показатель рН водной вытяжки из почвы определялся с помощью рН-метра-милливольтметра рН 673, а подвижные формы ТМ – при помощи химических соединений, имеющих различную экстрагирующую способность. Были опробованы: ацетатно-аммонийный буфер с рН 4,8; 1Н НСl; 0,02 М ЭДТА + 1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$; 0,005 М ДТПА + 0,01 М CaCl_2 + 0,1 МТЭА с рН 7,3. При использовании экстрагентов предполагается, что они извлекают доступную для растений часть ТМ, поступающую в почвенный раствор. В почвах разной кислотности при выщелачивании ТМ из

шламов создаются условия, подобные извлечению экстрагентами или действию буферных растворов с определенным значением рН. Концентрация ТМ определялась методами атомно-абсорбционным и капиллярного электрофореза. Пробы почвы отбирались после снятия слоя дерна с глубины до 5 см (поверхностный слой) и до 100 см (по профилю почвы).

Исследовано содержание ТМ в почвах и растительности на полях сельских хозяйств Дергачевского района (пос. Русская Лозовая, Черкасская Лозовая). Многие земли этого района удобряются осадками сточных вод предприятий г. Харькова. Поля, примыкающие к пос. Русская Лозовая и Черкасская Лозовая, удобряются шламами, поступающими со станции нейтрализации производственного объединения «Коммунар». Шламы образуются при осаждении ТМ из растворов линий травления металлов и гальванических покрытий. ТМ в низких концентрациях представляют микроэлементы и участвуют в метаболизме растений. Были взяты 24 пробы грунтов с глубины 5–10 см и 30 проб растительности.

В исследованных сточных водах ПО «Коммунар» были обнаружены следующие ТМ: Cd, Pb, Zn, Cr, Cu (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание ТМ в осадке сточных вод, мг/кг сухой массы

Cd	Pb	Zn	Cr	Cu
21	480	1250	730	1280

Насыщенность сточных вод ТМ достаточно высокая. ТМ могут присутствовать в различных формах: связанной – недоступной для усвоения растениями; обменной – более лабильной, при определенных условиях усваиваемой растениями; подвижной – имеющей слабую связь с соединениями шламов, легко поступающей в почвенный раствор и усваиваемой растениями. Особенно это



касается Cu, Cd, Zn. В осадках преобладает кислоторастворимая форма, доля подвижной и обменной форм Zn и Cd довольно высокая, Cu, Pb – небольшая (табл. 2). Снижение подвижности ионов ТМ происходит в нейтральных и щелочных средах. На практике это достигается известкованием кислых почв.

Таблица 2 – Формы ТМ в осадке сточных вод, мг/кг сухой массы

Форма	Cd	Pb	Zn	Cr	Cu
Кислоторастворимая (1Н HCl)	19	470	310	320	970
Подвижная (ацетатно-аммонийный буфер, pH = 4,8)	4	12	240	20	6
Обменная (1Н ацетат аммония, pH = 7)	1	2	40	следы	3

Определение содержания ТМ в огородных культурах показало, что загрязненность растительной продукции не столь велика, как можно было предполагать, исходя из загрязненности почвы. Это можно рассматривать как следствие действия защитных механизмов природы, благодаря которым значительная часть избыточных ионов остается за пределами органов запасаания ассимилятов.

Экспериментальные данные (табл. 3) свидетельствуют о том, что содержание ТМ в огородных культурах колеблется в широких пределах. Наибольшее накопление наблюдается в зоне самого высокого загрязнения почвы. Заметно различие видов огородных культур по насыщенности ТМ: меньше других их содержат капуста и помидоры, больше – свекла и картофель.

Для гигиенической оценки выращенной огородной продукции можно воспользоваться сведениями о допустимом остаточном количестве (ДОК) ТМ. Если при этом ориентироваться на усредненные показатели, то следует признать качество растительной продукции нормальным: во всех культурах содержание ТМ не превышает

ДОК. Исключение составляет свекла, среднее содержание Cd в которой превышает гигиеническую норму.

Однако усредненные данные не могут быть использованы для оценки качества картофеля и овощей, выращенных на индивидуальных участках для личного потребления. Необходимо оценивать загрязнение огородных культур в каждой конкретной точке исследования. В табл. 4 приведены данные по превышению концентраций (С) тяжелых металлов ПДК. В этом случае экологическая обстановка выглядит менее благополучной. На большей части огородов кадмием загрязнена свекла. В 15 % исследованных проб моркови отмечено превышающее ПДК содержание Cd и Cr. Особенно настораживает качество основной продовольственной культуры – картофеля, поскольку в 15 % проб концентрация Cd и Cr превысила гигиеническую норму.

Таблица 4 – Загрязненность огородных культур ТМ, % от общего количества проб (превышение концентрации ТМ по сравнению с ПДК)

Культура	$C_{Zn} > \text{ПДК}$	$C_{Cd} > \text{ПДК}$	$C_{Cr} > \text{ПДК}$
Картофель	0	15	15
Капуста	0	0	0
Помидоры	0	0	5
Свекла	20	62	5
Морковь	0	15	15
Лук	5	10	5

Содержание ТМ в употребляемой в пищу части растений сильно колеблется. Среди культур наибольшее содержание ТМ отмечается в картофеле, моркови, свекле, наименьшее – в капусте. Эта культура способна успешно противостоять потоку избыточных ионов из почвы и сохранять гигиенически приемлемую чистоту кочанов при разной степени насыщенности почвы шламами. Главную опасность представляет загрязненный картофель – основной растительный продукт питания местного населения.

Таблица 3 – Содержание ТМ в почвах и огородных культурах, выращенных на полях пос. Русская Лозовая и Черкасская Лозовая, мг/кг сырой массы

Культура	Cd		Pb		Zn		Cr		Cu	
	среднее	пределы	среднее	пределы	среднее	пределы	среднее	пределы	среднее	пределы
Картофель	0,025	0,017–0,037	0,11	0,09–0,18	3,40	2,25–4,43	0,10	0,018–0,62	0,66	0,36–1,42
Капуста	0,012	0,005–0,026	0,10	0,05–0,17	1,96	0,78–2,99	0,04	0,01–0,14	0,19	0,08–0,32
Томаты	0,012	0,001–0,027	0,09	0,04–0,20	1,62	1,10–3,26	0,07	0,004–0,2	0,45	0,19–0,81
Свекла	0,04	0,02–0,078	0,14	0,004–0,45	7,09	1,26–15,9	0,07	0,01–0,29	1,09	0,36–1,74
Морковь	0,019	0,006–0,038	0,10	0,01–0,25	2,58	0,66–4,92	0,11	0,02–0,71	0,36	0,13–0,74
Лук	0,018	0,006–0,044	0,08	0,02–0,11	3,92	1,81–1,061	0,07	0,02–0,21	0,28	0,15–0,50
Валовое содержание в вытяжке 0,2 М ЭДТА+1М CH ₃ COONH ₄										
Почва	1,0		15,0		45,0		6,5		13,4	
Подвижная форма	0,05		1,4		6,2		0,03		2,1	

Особого внимания заслуживает кадмий. Он содержится в природных средах в чрезвычайно малых количествах: в незагрязненных почвах его в 700–1000 раз меньше, чем цинка. При определении Cd требуется очень чувствительная аппаратура. Вместе с тем Cd более подвижный, чем остальные ТМ. Многими исследователями отмечена его способность сравнительно легко проникать в надземную часть растений и органы запасаения ассимилятов. Следовательно, изучение этого металла особенно актуально, а оценка гигиенического качества растительной продукции при отсутствии сведений о кадмии – неполна и во многих случаях несостоятельна. К сказанному следует добавить медицинский аспект особого внимания к Cd: металл относится к группе медленно выводимых из организма человека элементов, поэтому высока вероятность кумулятивного эффекта.

Наибольшее накопление ТМ отмечено в корневой системе. Корень первым принимает на себя поток ТМ при усвоении из почвы. По мере увеличения дозы ТМ содержание их возрастает в корнях по сравнению с другими органами более быстрыми темпами, т.е. корни выполняют защитную функцию.

Защищенность органов накопления ассимилятов от избыточного поступления кадмия (одного из наиболее проникающих в растительный организм ТМ) показана на рис. 1. Концентрация Cd в этих органах даже в варианте с наибольшей дозой металла возрастает только в 3–5 раз, тогда как в стеблях (листьях) – в 20–25.

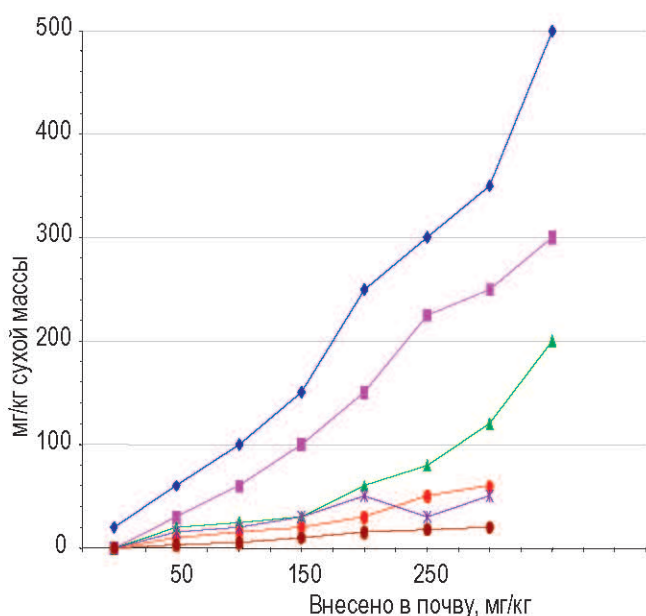


Рисунок 1 – Накопление кадмия в разных органах сельскохозяйственных культур:

- ◆ стебли томата
- солома овса
- ▲ ботва моркови
- корнеплод моркови
- ✱ зерно овса
- плоды томата

Содержание ТМ существенно изменяется при варьировании реакции среды обитания. Об этом свидетельствуют данные рис. 2. При уменьшении pH с 7 до 5,5 количество Cd, например, в салате возросло в варианте с наиболее сильным загрязнением в 4 раза.

Во всех описанных экспериментах не была учтена вероятность комбинированного действия ТМ. Вместе с тем следует иметь в виду, что взаимодействие ТМ, поступающих в растения, – сложный процесс с труднопредсказуемыми последствиями. Помимо синергитических, между ними возможны антагонистические отношения.

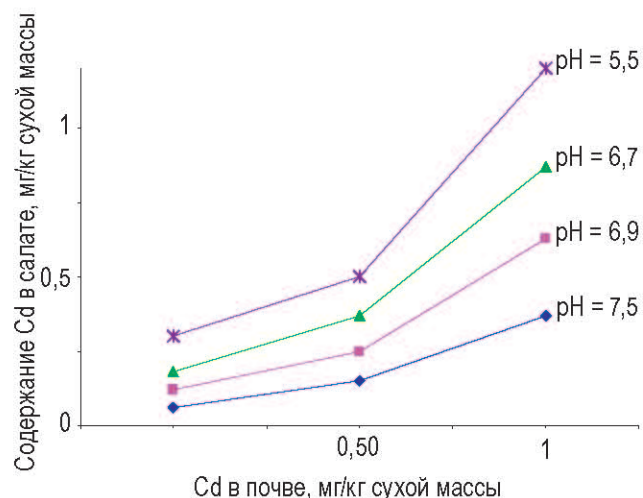


Рисунок 2 – Влияние pH почвы на накопление кадмия салатом

По сравнению с отдельным применением совместное внесение четырех ТМ заметно повысило в листьях кукурузы количество Cd, немного увеличило содержание Pb и Cu и примерно в 3 раза уменьшило концентрацию Zn (табл. 5).

Таблица 5 – Влияние на кукурузу отдельного и совместного внесения тяжелых металлов Zn, Pb, Cu, Cd

Элемент	Внесение	Доза, мг/кг почвы	Количество металла в листьях, мг/кг
Zn	Раздельное	300	1850
	Совместное		650
Pb	Раздельное	100	3,5
	Совместное		3,8
Cu	Раздельное	100	23
	Совместное		30
Cd	Раздельное	100	82
	Совместное	100	102

Вопросы синергизма и антагонизма ионов ТМ, поступающих в пищевую цепь, разработаны недостаточно, поэтому целью данной работы и было изучение накопления ионов ТМ различными видами растений.



ВЫВОДЫ

Применение шламов в сельском хозяйстве осуществляет лишь временную экологическую разрядку, заключающуюся в передислокации ТМ из мест хранения осадков на сельскохозяйственные угодья. Рекомендуется избегать использования шламов при выращивании кормовых культур и в овощеводстве. Необходима строгая регламентация применения шламов ТМ в сельском хозяйстве, при этом оно обязательно должно сопровождаться известкованием почв.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Серебренникова, Л.Н.** Содержание и распределение тяжелых металлов в почвах техногенных ландшафтов [Текст] / Л.Н. Серебренникова, А.И. Обухов, С.И. Решетников, В.С. Горбатов // Почвоведение. – 1982. – № 12. – С. 71–76.
2. **Маханько, Э.П.** Опыт исследования загрязнения почв металлами вокруг металлургических предприятий [Текст] / Э.П. Маханько, С.Г. Малахов, Г.К. Вертинская // Тр. ин-та эксперимент. метеорол. – М : Гидрометеиздат, 1985. – Вып. 13 (128). – С. 50–59.
3. **Первунина, Р.И.** Показатели загрязнения системы почва – сельскохозяйственные растения кадмием [Текст] / Р.И. Первунина, Н.Г. Зырин, С.Г. Малахов // Тр. ин-та эксперимент. метеорол. – М : Гидрометеиздат, 1987. – Вып. 14 (129). – С. 60–65.
4. **Гармаш, Г.А.** Закономерности накопления и распределения тяжелых металлов в почвах, находящихся в зоне воздействия металлургических предприятий [Текст] / Г.А. Гармаш // Почвоведение. – 1985. – № 2. – С. 27–32.
5. **Дончева, А.В.** Оценка поступления тяжелых металлов в ландшафт [Текст] / А.В. Дончева, Л.К. Казаков, В.Н. Калущков // Химия в сел. хоз-ве. – 1982. – № 3. – С. 8–10.
6. **Лурье, Н.Ю.** Влияние техногенных выбросов металлургических предприятий на структуру микробных ценозов южных черноземов [Текст] / Н.Ю. Лурье // Химия в сел. хоз-ве. – 1985. – № 6. – С. 52–54.
7. **Williams, D.E.** Metal movement in sludge-amended soils [Text] / D.E. Williams, J. Vlamsis, A.H. Pukite, J.E. Corey // Soil Sci. – 1987. – Vol. 143, № 2. – P. 124–131.
8. **Алексеев, Ю.В.** Тяжелые металлы в почвах и растениях [Текст] / Ю.В. Алексеев – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
9. **Environmental Geochemistry and Health** // Ed. S. Bowie, I. Thornton. – Boston; Lancaster : Reidel Publishing Company, 1984. – 140 p.

Досліджено накопичення важких металів у ґрунті та різноманітних видах городничих культур і різноманітними органами рослин, а також вплив кислотності ґрунту на процес кумуляції. Показано можливість антагоністичної та синергістичної комбінованої дії важких металів.

Heavy metal accumulation in soil and various kinds of truck crops is studied. Accumulation of heavy metals by different plants organs as well as influence of soil acidity on cumulation process is analyzed. The capability of antagonistic and synergistic combined effect of heavy metals is shown.

Поступила в редакцію 16.05.2007