

6. Shanti, G. InCl₃-catalyzed efficient one-pot synthesis of 3-pyrrolo-3'-yloxyndoles / G. Shanti, P. T. Perumal // *Tetrahedron Lett.* – 2009. – Vol. 50, № 27. – P. 3959–3962.

7. Hit optimization studies of 3-hydroxy-indoline-2-ones as potential anti-HIV-1 agents / Chander S. [et al.] // *Bioorg. Chem.* – 2018. – Vol. 79. – P. 212 – 222.

8. Tripathi, R. K. P. Discovery of 3-hydroxy-3-phenacyloxindole analogues of isatin as potential monoamine oxidase inhibitors / R. K. P. Tripathi, S. Krishnamurthy, S. R. Ayyannan // *ChemMedChem.* – 2015. – Vol. 11, № 1. – P. 119–132.

9. Synthesis and biological activity of substituted 3-acylmethylene and 3-hydroxy-2-indolones / E. N. Koz'minykh [et al.] // *Pharm. Chem. J.* – 1997. – Vol. 31, № 2. – P. 83–88.

10. Design, synthesis and QSAR study of novel isatin analogues inspired Michael acceptor as potential anticancer compounds / J. Wang [et al.] // *Eur. J. Med. Chem.* – 2018. – Vol. 144. – P. 493–503.

К содержанию

УДК 546.48:581.553:628.472.38(476.2-21Гомель)

Н. И. ДРОЗДОВА

Беларусь, Гомель, ГГУ имени Ф. Скорины

АНАЛИЗ НАКОПЛЕНИЯ КАДМИЯ В НАДЗЕМНОЙ БИОМАССЕ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ Г. ГОМЕЛЯ

Одной из актуальных проблем в области прикладной экологии является оценка и прогнозирование воздействия мест размещения отходов производства и потребления на сопредельные территории, на качество природных ресурсов, и, как следствие, здоровье человека. В почвах санитарно-защитных зон полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО) с периодичностью один раз в три года осуществляется контроль содержания кадмия, меди, никеля, свинца, хрома, цинка, ртути и мышьяка. Однако с учетом возможности распространения загрязнителей с грунтовыми водами и стоками, пылевым разносом контроль за состоянием почвы и растений на сопредельных территориях, а также исследования закономерностей перехода тяжелых металлов (ТМ) в системе почва –

растения представляют несомненный интерес для возможности прогноза рисков неблагоприятных экологических последствий.

Превышение допустимых уровней содержания ТМ в почве не всегда приводит к повышенным содержаниям их в дикорастущих растениях и в возделываемой сельскохозяйственной продукции. Накопление токсикантов растениями в значительной степени определяется уровнем их содержания в субстрате. Однако для каждого из исследуемых элементов и для отдельных экологических групп растений характерны особые закономерности накопления. Даже в контролируемых условиях достоверные корреляции между валовыми концентрациями загрязнителей в почвах и биоте часто отсутствуют. Б. В. Ильин [1] объясняет это способностью растений к избирательному накоплению элементов, которая зависит от физиологических особенностей растения, сезона года, фазы развития растения, продолжительности его вегетации, вида растения, анализируемых органов и частей одного и того же растения [2]. Отмечена зависимость поглощения элементов растениями также от ряда природных факторов: гранулометрического состава грунта, химического состава почвенных вод, климатических факторов, освещенности окружающей среды и др. [3].

Среди тяжелых металлов особое внимание уделяется контролю за содержанием кадмия в объектах окружающей среды. Его высокая фитотоксичность объясняется близостью по химическим свойствам к цинку. Поэтому кадмий может выступать как элемент-аналог во многих биохимических процессах, нарушая работу таких ферментов, как карбоангидраза, дегидрогеназы, фосфатазы, связанные с дыханием и другими физиологическими процессами, нарушает работу протеиназ и пептидаз, участвующих в белковом обмене и др. Замещение цинка кадмием в растительном организме приводит к цинковой недостаточности, что, в свою очередь, вызывает угнетение и даже гибель растения.

На протяжении 2021–2023 гг. нами проводилась оценка степени загрязнения природных сред (почвы и растений) в зоне воздействия полигона ТКО г. Гомеля, имеющего категорию высокой мощности. Определение содержания тяжелых металлов в почве и воздушно-сухом растительном материале проводилось атомно-абсорбционным методом на базе КУП «Гомельская областная проектно-изыскательская станция химизации сельского хозяйства». Анализ растительных и почвенных образцов проводился согласно рекомендациям, представленным в источнике [4].

Пробные площадки закладывались на злаково-разнотравном луговом фитоценозе, расположенном к северу от полигона на удалении около 550–1000 м. Почвы преобладали дерново-подзолистого типа. Видовой состав травостоя был представлен злаковыми травами – около (60÷80) %,

бобовыми – (10÷15) %, разнотравьем – (10÷15) %. Травостой как минимум раз за сезон подвергался отчуждению. Преобладали такие травы, как ежа сборная, пырей ползучий, овсяница луговая, мятлик луговой, среди разнотравья – хвощ полевой, щавель конский, подмаренник цепкий и др. Участки отбора растительного материала в большинстве случаев характеризовались сходными видами-доминантами. Наблюдение за состоянием растительности лугового фитоценоза позволило охарактеризовать его как удовлетворительное. Наибольшим угнетением и включениями рудеральной растительности характеризовались участки пробоотбора, непосредственно примыкающие к границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ) полигона, где дополнительное негативное влияние, вероятно, оказывают находящиеся на территории поля фильтрации.

Анализ данных, полученных за период наблюдений 2021–2023 г., позволил выявить диапазоны варьирования концентраций подвижных и валовых форм кадмия в почве, которые составляли 0,01–0,66 мг/кг и 0,05–1,07 мг/кг. Отмечали, что содержание подвижных и валовых форм кадмия в 43,5 % и 35 % проанализированных образцов превышало ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) в 1,03–2,20 и 1,1–2,14 раза соответственно. Сравнение средневыворочных концентраций данных форм в почве в районе полигона ТКО и в почве контрольного участка, расположенного на удалении 2,5 км, выявило различия в 3,71 и 2,18 раза соответственно.

Содержание кадмия в растительном материале варьировалось в диапазоне 0,06–0,32 мг/кг воздушно-сухой массы. В 30 % проанализированных проб концентрация кадмия была на уровне ПДК или превышала ее в 1,1–1,6 раза. Средневыворочное содержание кадмия в растениях лугового фитоценоза на территории сопредельной с СЗЗ полигона ТКО составляло 0,16 мг/кг воздушно-сухой массы, что было выше аналогичных показателей для растений контрольной территории в 1,68 раза.

Методом однофакторного дисперсионного анализа подтверждена достоверность различий в содержании и накоплении кадмия надземной фитомассой растений в зависимости от удаления площадок пробоотбора от границ полигона. Установлено, что в растительных образцах, отобранных непосредственно у границы СЗЗ полигона, концентрация кадмия превышала средневыворочные значения в 1,5–2 раза и достоверно отличалась от аналогичного показателя для растений на контрольных участках (рисунок).

Коэффициент перехода (биологического накопления, Кб) тяжелых металлов в системе почва – растения рассчитывали как отношение содержания элемента в воздушно-сухой массе растительного образца (в мг/кг) к валовому содержанию данного элемента в почве (в мг/кг).

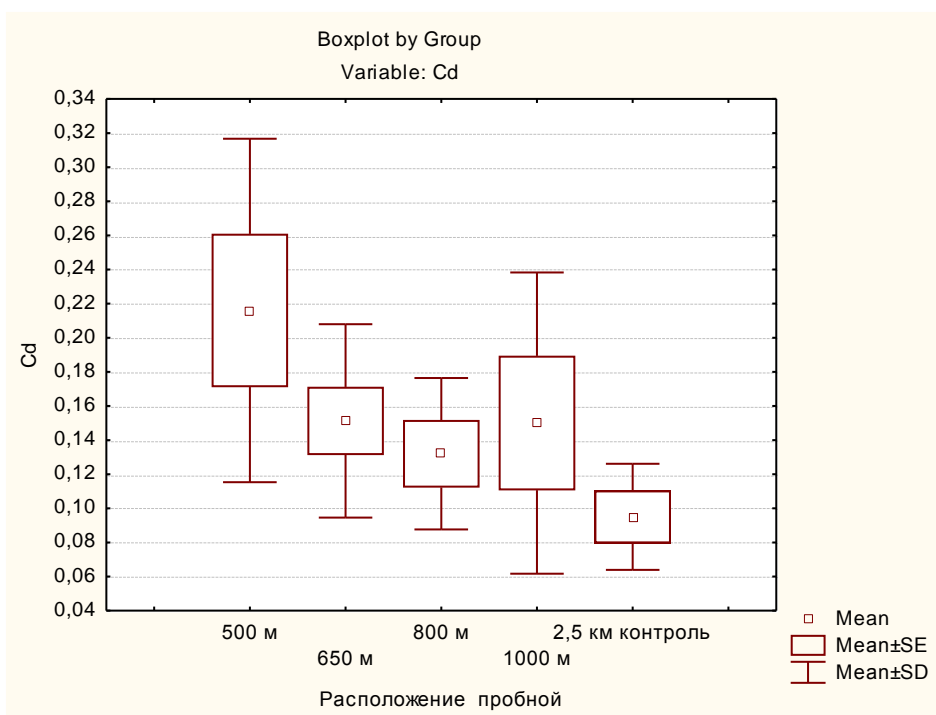


Рисунок – Диаграмма размахов итогов дисперсионного анализа Крускала – Уоллиса по содержанию кадмия в растительном материале в зависимости от расположения площадок пробоотбора

Коэффициенты перехода кадмия варьировались в диапазоне 0,13–2,28 вблизи полигона, на контрольных участках составляли 0,67–2,00. Известно, что кадмий в почве обладает достаточно высокой мобильностью и эффективно поглощается как корневой системой растений, так и через листовой аппарат. Высокая мобильность кадмия в системе почва – растения может быть связана с высоким химическим сродством кадмия и цинка, которые являются элементами-аналогами. Предположительно, в растении существует механизм, обеспечивающий их взаимный транспорт [2; 5].

Высокие значения коэффициентов вариации, как для содержания кадмия в надземной массе растений ($C_v = 33\text{--}47\%$), так и для коэффициентов перехода в системе почва – растения ($C_v = 46\text{--}86\%$), связаны прежде всего с видовыми особенностями накопления, с мозаичностью загрязнения почвы, а также со значительным вкладом аэральной эмиссии элементов с территории полигона ТКО.

Для изучения характера взаимного влияния тяжелых металлов в системе «почва – растения» проведены расчеты парных коэффициентов корреляции (таблица).

Таблица – Значения парных коэффициентов корреляции Спирмена

Корреляционная пара	Spearman r	t(N-2)	p-level
Cd / Cu подв.	0,69	4,5707	0,000136
Cd / Cu вал.	0,78	5,9189	0,000005
Cd / К _{Сu} подв.	-0,58	-3,4583	0,002134
Cd / Zn подв.	0,59	3,5138	0,001864
Cd / Zn вал.	0,67	4,3224	0,000252
Cd / Cd подв.	0,95	14,8507	0,000000
Cd / К ₆ Cu	-0,71	-4,8224	0,000072
Cd / К ₆ Zn	-0,51	-2,8422	0,009229
Cd / К ₆ Cd	-0,77	-5,8312	0,000006
К ₆ Cd / Cu подв.	-0,59	-3,5294	0,001794
К ₆ Cd / Cd подв.	-0,81	-6,5863	0,000001
К ₆ Cd / Cd вал.	-0,77	-5,8312	0,000006

Так, в случае кадмия очень тесная корреляция его содержания в растительном материале установлена с содержанием в почве подвижных форм данного элемента ($r = 0,95$), а также высокая и средняя корреляция с концентрацией в почве меди ($r = 0,69-0,78$) и цинка ($r = 0,59-0,67$). В целом, полученные результаты указывают на сложный и неоднозначный характер взаимного влияния элементов в системе «почва – растения». В большинстве случаев коэффициенты корреляции указывают на синергический характер в накоплении поллютантов, что может быть связано с наличием двух механизмов поступления элементов в наземную фитомассу: 1) за счет корневого поглощения, которое может блокировать при определенных условиях продвижение токсикантов в другие органы и ткани растений; 2) за счет поглощения листовой пластинкой при аэральной эмиссии от источника предполагаемого загрязнения (в нашем случае вероятен пылевой разнос от свалочного тела полигона и санитарно-защитной зоны).

Указанное выше свидетельствует о необходимости проведения дополнительных наблюдений для возможности построения адекватных статистически значимых моделей, которые будут отражать характер влияния отдельных параметров и их совокупности на содержание и миграцию элементов в системе почва – растения.

В целом необходимо отметить, что на территории, сопредельной с полигоном ТКО г. Гомеля (500–1000 м от границ тела полигона), комплексная эколого-химическая оценка состояния почвенно-растительного покрова, несмотря на превышение ПДК/ОДК отдельных элементов в почве выявила суммарный допустимый уровень загрязнения территорий ТМ ($Z_c < 16$).

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг., подпрограмма «Радиация и биологические системы», задание 03.04.05.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск : Наука, 1991. – 151 с.
2. Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю. В. Алексеев. – Л. : Агропромиздат, 1987. – 142 с.
3. Guilizzoni, P. The role of heavy metals and toxic materials in the physiological ecology of submersed plants / P. Guilizzoni // Aquat. Bot. – 1991. – Vol. 41, № 1/3. – P. 87–109.
4. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства / редкол.: А. М. Артюшин (гл. ред.) [и др.]. – 2-е изд. – М., 1992. – 62 с.
5. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 439 с.

К содержанию

УДК 504.054:504.064.2

Л. Н. ИОВИК, А. Н. АЖГИРЕВИЧ

Беларусь, Брест, Полесский аграрно-экологический институт
НАН Беларуси

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОБЪЕКТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АККУМУЛЯТОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Несмотря на значительное количество научных работ, посвященных различным аспектам техногенного загрязнения окружающей среды, данных о комплексных исследованиях экологических последствий производства свинцово-кислотных аккумуляторных батарей невелико. Импактный мониторинг, осуществляемый ежегодно в зоне воздействия отдельного источника аэротехногенного загрязнения, позволяет фиксировать изменения состояния объектов природной среды и своевременно на них реагировать.

Газопылевые выбросы аккумуляторного производства содержат комплекс загрязняющих веществ, значительную часть которых составляют тяжелые металлы (ТМ), преимущественно свинец (Pb) – элемент