

Т.Н. МЫСЛЫВА

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПРИРОДНЫХ И АГРОЛАНДШАФТАХ
ЖИТОМИРСКОГО ПОЛЕСЬЯ**

*УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь,
byrty41@yahoo.com*

Почвенный покров Житомирского Полесья характеризуется низким содержанием валовых форм Cu, Pb, Cd, Zn и сильнофиксированных форм Cu, Pb, Cd. Приоритетным загрязнителем почв является Pb, тогда как Cu и Zn выступают в качестве дефицитных микроэлементов, запасы которых требуют пополнения. Основными факторами, определяющими элементный химический состав растений, являются биологические особенности вида, характер места произрастания и почвенного покрова.

Тяжелые металлы являются сегодня одними из наиболее распространенных и опасных загрязнителей окружающей среды, относящихся к высокотоксичным веществам канцерогенного и мутагенного действия. Попадая в почву в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации, они негативно влияют на выполнение ею своих основных экологических функций – физических, химических и биохимических, ухудшая тем самым плодородие, и таким образом обнаруживая как прямое, так и косвенное отрицательное воздействие на природные фитоценозы и агроценозы. Следует отметить, что ухудшение экологической ситуации, связанное с ростом концентрации поллютантов в компонентах ландшафтов, наблюдается не только на территории больших мегаполисов и промышленно развитых регионов, но и в аграрных регионах, к каковым относится и Житомирское Полесье. Комплексных исследований относительно оценки уровня загрязнения тяжелыми металлами агроэкосистем в Житомирском Полесье за последние 35–40 лет практически не проводилось. Вопросы загрязнения почвенного покрова природных ландшафтов также остались вне поля зрения ученых, поскольку традиционно в Украине контроль осуществлялся исключительно над землями сельскохозяйственного назначения, находящимися в коллективной

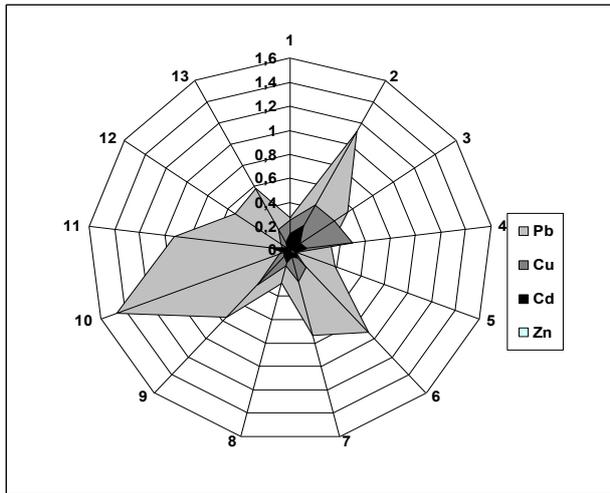
собственности [2, 3]. Не смотря на важность биосферного и народнохозяйственного значения торфяно-болотных почв и торфяников, проблема оценки их экологического состояния тоже является малоизученной.

Целью настоящей работы являлась комплексная оценка загрязнения тяжелыми металлами вод, торфов, почвенного и растительного покрова в пределах природных и агроландшафтов, которая выполнялась в течение 2010–2016 гг. Экстрагирование валовых форм тяжелых металлов, содержащихся в почвообразующих породах, почве и торфах, проводили концентрированной HNO_3 , а экстрагирование сильнофигурных форм тяжелых металлов – $1n HNO_3$, определение концентрации химических элементов проводили методом атомно-абсорбционной спектрометрии на приборе марки С 115-1М, содержание подвижных форм Cu , Pb , Cd , Zn , Mn в торфе определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии в буферной аммонийно-ацетатной вытяжке с рН 4,8 согласно ДСТУ 4770.1-9:2007. Содержание тяжелых металлов, Ca , Mg и Fe в фитомассе мхов, лишайников древесных и травянистых растений определяли в их зольных растворах методом атомно-абсорбционной спектрометрии на приборе марки С 115-1М [1].

Основными почвообразующими породами в пределах территории Житомирского Полесья являются осадочные породы четвертичного возраста: флювиогляциальные и древнеаллювиальные отложения песчаного и супесчаного гранулометрического состава, моренные супеси и суглинки, морена и современный аллювий. Меньшее распространение получили породы дочетвертичного возраста: элювий магматических пород, карбонатные породы и элювий карбонатных пород, а также лесы и лессовидные суглинки, встречающиеся отдельными островами в пределах Словечанско-Овручского кряжа. Преобладающие материнские породы обеднены окислами и вторичными глинистыми минералами, а также валовыми формами микроэлементов, в частности медью, содержание которой варьирует в пределах от 5,0 до 8,6 мг/кг, и цинком, концентрация которого колеблется от 26,5 до 48,4 мг/кг. Содержание в почвообразующих породах валовых форм Pb колеблется от 5,1 мг/кг (флювиогляциальные и древнеаллювиальные песчаные отложения) до 14,5 мг/кг (супесчаная бескарбонатная морена, лесы и лессовидные суглинки). Концентрация Cd в основных почвообразующих породах варьирует от 2,1 до 9,5 мг/кг для флювиогляциальных и древнеаллювиальных песчаных и супесчаных отложений; от 4,3 до 11,7 мг/кг – для песчаной и супесчаной морены; от 1,2 до 3,8 мг/кг – для лесов и лессовидных суглинков.

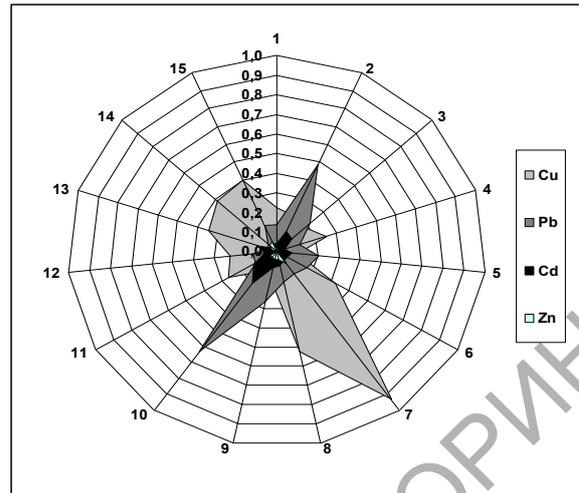
Приоритетным загрязнителем болотных почв и торфов в пределах полесских ландшафтов является свинец (рисунки 1, 2). По величине суммарного цинкового эквивалента токсичности тяжелых металлов болотные почвы и торфяники характеризуются преимущественно как слабо- и средне загрязненные, а максимальный вклад в величину суммарного цинкового эквивалента токсичности вносят свинец и марганец (болотные почвы и осушенные осоковые и древесно-осоковые торфяники) и медь и марганец (низинные торфяники) (рисунки 3, 4).

подавляющее большинство средних и малых рек Житомирского Полесья в той или иной своей части протекает в пределах Украинского кристаллического щита, где кристаллические породы, граниты, габбро, габронориты с относительно небольшими запасами микроэлементов перекрыты бедными осадочными породами водноледникового происхождения супесчаного и песчаного гранулометрического состава. Именно поэтому их воды в период летне-осенней межени содержат незначительные количества микроэлементов, на 1–2 порядка меньше предельно установленных нормативов. Исключение составляют лишь марганец и железо, содержание которых превышает предельно допустимую концентрацию в 2–12 раза и 2–10 раза соответственно.



(1, 5-7 – Олевский район;
2, 3, 10-12 – Емільчинский район;
8, 9 – Лугинский район; 4 – Коростенский район;
13 – Народичский район)

Рисунок 1 – Коэффициент опасности содержания тяжелых металлов в торфяном горизонте болотных почв



(1-4, 9, 10 – Олевский район;
5, 6, 11, 13 – Емільчинский район;
7, 8, 14, 15 – Лугинский район)

Рисунок 2 – Коэффициент опасности содержания тяжелых металлов в 0–20 см слое осушенных низинных торфяников

Концентрация микрокомпонентов в подземных водах также значительно ниже ПДК и приближается к фоновым природным концентрациям. Исключение составляют опять же *Fe* и *Mn*, содержание которых в воде превышает предельно допустимую концентрацию в среднем в 2 раза. Характерным для подземных вод в пределах исследуемой территории является практическое отсутствие в их составе *Cd*. Воды низинных болот также содержат незначительные количества микроэлементов, за исключением *Fe* и *Mn*, концентрация которых в болотных водах в 1,2–3,7 раза и 2,5–4,5 раза соответственно выше нормы.

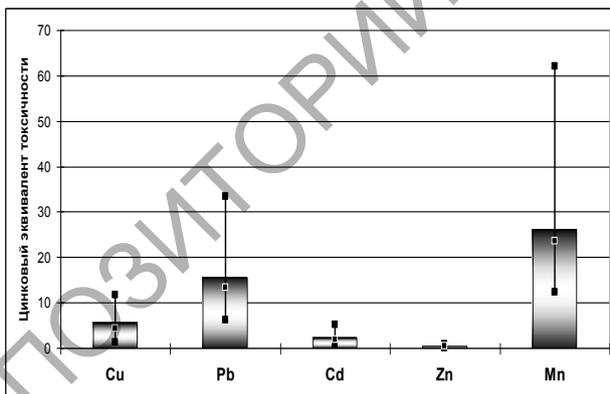


Рисунок 3 – Суммарный цинковый эквивалент токсичности тяжелых металлов, содержащихся в торфяном горизонте болотных почв

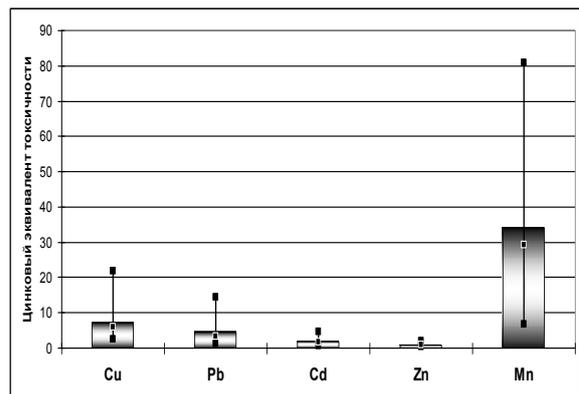


Рисунок 4 – Суммарный цинковый эквивалент токсичности тяжелых металлов, содержащихся в 0–20 см слое осушенных низинных торфяников

Изучение форм нахождения и миграции химических элементов в почвах и особенностей вертикального распределения валовых и сильнофиксированных форм *Cu*, *Zn*, *Pb*

и *Cd* по профилю почвы дает возможность оценить как общую степень загрязнения почвенного покрова природных и агроландшафтов, так и достоверность накопления поллютантов фитоценозами. Установлено, что медь не является загрязнителем почв как агро-, так и природных экосистем Житомирского Полесья, а ее запасы в почве нуждаются в пополнении, особенно ввиду того, что в результате длительного экономического кризиса в аграрном секторе экономики Украины применение микроудобрений, в том числе и медьсодержащих, равно нулю. Характерной чертой распределения сильнофиксированной меди в почвенном профиле является ее аккумуляция в верхних генетических горизонтах, обогащенных органическим веществом, особенно в пределах лесных экосистем. Для почв природных и агроландшафтов Житомирского Полесья цинк также нельзя рассматривать как элемент-загрязнитель, однако обеспеченность им почв значительно выше по сравнению с медью. Коэффициенты его концентрации в среднем колеблются от 3 до 14, а в отдельных случаях достигают 23–25, что отвечает средней и высокой обеспеченности. О преобладании процессов аккумуляции *Zn* над процессами его рассеивания свидетельствует величина индекса насыщенности почвы этим элементом, которая в среднем колеблется в пределах от 2,3 до 3,6 (таблица 1). Наиболее богатыми сильнофиксированным цинком являются лесная подстилка и гумусовые горизонты почв, в которых концентрация этого элемента достигает 11–19 % от его валовых запасов. В отличие от *Cu* и *Zn*, свинец является загрязнителем почвенного покрова как природных, так и агроландшафтов, поскольку даже минимальные его концентрации в почве кратны трем фонам. Коэффициенты концентрации *Pb* колеблются от 6–10 в почвах песчаного гранулометрического состава, подстеленных элювием массивно-кристаллических пород, до 1–15, а в отдельных случаях и до 25 в глинистых и светло-серых оподзоленных почвах. Об интенсификации процессов аккумуляции *Pb* в пахотном слое почв агроэкосистем свидетельствует величина индекса насыщенности почвы этим элементом, колеблющаяся от 2,5 до 4,0, что отвечает высокой степени насыщения (таблица 1). Высокие коэффициенты вариации содержания сильнофиксированных форм *Pb* которые, в зависимости от типа почвы, составляют от 46 % до 76 %, свидетельствуют о неравномерности ореолов рассеивания этого элемента. Поскольку валовое содержание *Pb* как в почвообразующих породах, так и в самих почвах Житомирского Полесья невысоко, повышенное содержание его сильнофиксированных форм в почвах пахотных земель предопределено исключительно техногенезом. Следует отметить, что во время мониторинговых наблюдений за экологическим состоянием почвенного покрова особое внимание необходимо уделять, в первую очередь, оценке уровней содержания в почве сильнофиксированных форм *Pb*, как наиболее достоверных потенциальных загрязнителей продукции агроценозов. Для почв природных и агроландшафтов Житомирского Полесья кадмий не выступает как приоритетный элемент – загрязнитель, поскольку коэффициент его концентрации лишь в отдельных случаях достигает 1,30–1,95, в среднем колеблясь от 0,15 до 0,95 (таблица 1). Однако, ввиду того, что химические и физико-химические свойства почв данного региона достаточно благоприятны для повышенной миграции *Cd* в системах «почва – растение» или «почва – вода», даже на малозагрязненных почвах возможно получение загрязненной растениеводческой продукции. Поскольку как *Pb*, так и *Cd* по степени опасности для живых организмов относятся к загрязнителям первого класса опасности, установление особенностей их миграции и аккумуляции в почвенном профиле даст возможность спрогнозировать уровни поступления этих токсикантов в воду и растениеводческую продукцию.

Характерной чертой *Pb* является его аккумуляция в верхних генетических горизонтах, богатых органическим веществом, и в верхней части иллювиального горизонта дерново-подзолистых почв, что связано с его выщелачиванием в виде

растворимых хелатных комплексов с органическими соединениями. Отмеченная закономерность является результатом комплексного воздействия природных (биологическая аккумуляция) и техногенных (привнесение в качестве загрязнителя) факторов.

Таблица 1 – Коэффициент концентрации сильнофиксированных форм тяжелых металлов и индекс насыщенности ими отдельных почвенных разностей природных и агроландшафтов Житомирского Полесья, 2010–2016 гг., слой почвы 0–20 см

Название элемента	Коэффициент концентрации, K_c			Индекс насыщенности почвы, I_p		
	mid	min	max	mid	min	max
Медь	0,93–2,42	0,31–2,14	1,24–7,41	0,96–1,55	0,49–1,25	1,11–2,72
Цинк	2,60–14,28	0,40–2,55	5,03–24,65	2,27–3,63	0,63–2,37	2,48–5,10
Свинец	6,30–15,83	1,50–9,82	11,13–25,45	2,51–3,98	1,22–3,13	3,43–5,04
Кадмий	0,15–0,95	0,10–0,75	0,25–1,95	0,39–1,14	0,32–0,87	0,50–1,40

Тенденция к увеличению содержания валовых и сильнофиксированных форм *Pb* в верхнем гумусовом горизонте прослеживается и для серых оподзоленных почв. Содержание как валового, так и сильнофиксированного *Pb* повышается от светло-серых к темно-серым почвам пропорционально утяжелению гранулометрического состава как материнской породы, так и самих почв, и увеличению содержания в них органического вещества. Дерновые и болотные почвы также способны накапливать *Pb* в верхних генетических горизонтах, богатых органическим веществом. Миграция *Cd* по профилю дерново-подзолистой почвы имеет четко выраженный элювиально-иллювиальный характер. Обогащение *Cd* верхнего гумусового горизонта связано с его техногенно-антропогенным внесением и обеднением элювиального горизонта, из которого этот элемент интенсивно вымывается в нижний иллювиальный горизонт. Для светло-серой оподзоленной почвы характерным является снижение содержания *Cd* в элювиально-гумусовом горизонте, и возрастание его концентрации по направлению к материнской породе. Однако в серой оподзоленной почве эта тенденция уже не прослеживается, а характер миграции *Cd* по почвенному профилю имеет четко выраженный радиальный характер. В темно-серой оподзоленной почве кадмий распределяется равномерно по всему почвенному профилю. Характер миграции валовых и сильнофиксированных форм *Cd* в дерновых и болотных почвах имеет четко выраженную радиальную направленность и уменьшается от верхних генетических горизонтов к материнской породе.

Современное состояние растительного покрова Полесского региона служит важным индикатором качества как окружающей среды в целом, так и почвенных экосистем в частности. Поскольку в составе природных типов растительности в Житомирском Полесье преобладают леса, а древесная растительность активно участвует в перераспределении питательных веществ и микроэлементов по профилю почвы, а также непосредственно влияет на содержание микроэлементов в воде поверхностных водных объектов, важно оценить уровни содержания микроэлементов и тяжелых металлов в различных органах наиболее распространенных в регионе древесных пород. Установлено, что в листьях дуба обыкновенного (*Quercus robur* L.) концентрируются значительные количества *Mn* ($K_{\text{бн}} = 4,71$), свежий опад и молодая хвоя сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) накапливают *Cu* ($K_{\text{бн}} = 3,35–5,97$), береза повислая (*Betula pendula* (L.) Roth.) является концентратором *Zn*, $K_{\text{бн}}$ которого в листьях и молодых ветках составляет 5–7 единиц. Особенностью пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) является ее способность накапливать *Mo* ($K_{\text{бн}} = 1,61$), а березы повислой – *Cd*. Представители низшей растительности способствуют концентрации как биологически

важных элементов, так и поллютантов в верхних горизонтах почвенного покрова и лесной подстилке. Следует отметить, что мхи способны в значительных количествах накапливать *Mn* (213–654 мг/кг) и *Zn* (39–78 мг/кг). В них также фиксируется повышенное содержание *Pb*. Среди лишайников максимальные количества микроэлементов концентрирует *Cladonia sylvatica* L. Выявлены виды и семейства травянистых растений, накапливающие в повышенных и минимальных количествах тяжелые металлы, а также обладающие контрастной избирательной способностью к накоплению отдельных элементов (таблица 2).

Таблица 2 – Величина накопления тяжелых металлов дикорастущими травянистыми растениями, относящимися к различным семействам

Название элемента	Высокое содержание	Низкое содержание	От высокого до низкого содержания
Медь	<i>Asteraceae, Lamiaceae, Ericaceae</i>	<i>Cyperaceae, Juncaceae</i>	<i>Poaceae, Fabaceae, Ranunculaceae</i>
Цинк	<i>Poaceae, Fabaceae</i>	<i>Cyperaceae, Juncaceae, Lamiaceae, Ericaceae</i>	<i>Asteraceae, Ranunculaceae</i>
Свинец	<i>Poaceae, Fabaceae</i>	<i>Cyperaceae, Juncaceae, Ranunculaceae</i>	<i>Asteraceae, Lamiaceae, Ericaceae</i>
Кадмий	<i>Asteraceae</i>	<i>Cyperaceae, Juncaceae, Lamiaceae</i>	<i>Poaceae, Fabaceae, Ranunculaceae, Ericaceae</i>

Установлена тесная связь между концентрацией *Cd* в растениях и его валовым содержанием в почве ($r = 0,89 \pm 0,09$). Касательно остальных элементов, увеличение этого параметра практически не приводило к росту их концентрации в фитомассе, что свидетельствует о превалировании генетического фактора в накоплении поллютантов растениями, которые способны регулировать свой химический состав независимо от уровня содержания элемента в почве.

Список литературы

- 1 Методика суцільного ґрунтового агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України / за ред. О.О. Созінова, Б.С. Прістера. – К., 1994. – 162 с.
- 2 Мислива, Т.М. Агроекологічний моніторинг рослинницької продукції з присадибних ділянок поліської та лісостепової частин Житомирської області / Т. М. Мислива, Ю. А. Білявський // Вісн. Держ. агроеколог. ун-ту. – 2005. – № 2(15). – С. 57–61.
- 3 Мислива, Т.М. Важкі метали в лісоаграрних ландшафтах Житомирського Полісся / Т.М. Мислива, В.А. Трембіцький, Л.Л. Довбиш // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2006. – Спец. вип. – С. 260–263.

T.N. MYSLYVA

HEAVY METALS IN NATURAL AND AGRARIAN LANDSCAPES OF ZHYTOMYR POLESSYA

The soil cover of the Zhytomyr Polessya is characterized by low content of total forms of Cu, Pb, Cd, Zn and mobile forms of Cu, Pb, Cd. Lead is the priority pollutant of soils, whereas Cu and Zn acts as a deficient micronutrients, the reserves of which require replenishment. The main factors determining the elemental chemical composition of plants, are biological features of the species, growing location and nature of the soil cover.