

УДК 631.445.15 (476)

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ФОНОВЫХ ПОЧВАХ И АГРОЛАНДШАФТАХ ЮГО-ЗАПАДА БЕЛАРУСИ

Н.В. Михальчук

Поліський аграрно-екологічний інститут НАН Білорусі

Установлено, що в дерново-підзолистих піщаних ґрунтах південного заходу Білорусі в концентраціях нижче від фонового вмісту рухомих форм для ґрунтів регіону виявлено Zn, Mn, Cd; вище фонового рівня — Cu і Pb. Останній елемент відноситься до найнебезпечніших забруднювачів і відрізняється дещо вищими показниками накопичення в поверхневому шарі ґрунтів природних ландшафтів порівняно з ґрунтами орних угідь. Визначено, що максимальне накопичення більшості важких металів і мікроелементів характерно для дернових заболочених карбонатних ґрунтів; формула геохімічної спеціалізації рухомих форм елементів для орних їх категорій має вигляд: Ni 9,5 — Cu 6,6 — Mn 4,8 — Pb 2,2 — Cd 1,4 — Zn 0,9; підвищений вміст більшості досліджених елементів (особливо Mn, Cu і Pb: Mn 4,8 — Cu 4,4 — Pb 3,5 — Zn 1,5 — Ni 1,1 — Cd 0,8) спостерігається в південному і південно-західному секторах НПП «Біловезька пуца», що обмежує можливість використання відповідних показників як фонових для здійснення порівняльних оцінювань.

Ключові слова: важкі метали, рухомі форми, дерново-підзолисті ґрунти, дернові заболочені карбонатні ґрунти.

В настоящее время тяжелые металлы (ТМ) общепризнанно рассматриваются в качестве приоритетных загрязнителей почв, при этом наиболее активными агентами загрязнения являются подвижные их формы, способные переходить из твердых фаз в почвенные растворы и поглощаться растениями. Негативные эффекты повышенного содержания ТМ в почвах усугубляются продолжительными периодами их полувыведения, которые измеряются в ряде случаев сотнями и тысячами лет [1, 2]. Природные и аграрные ландшафты юго-запада Беларуси также подвержены влиянию выбросов ТМ и иных веществ-загрязнителей из техногенных источников, что создает потенциальную опасность включения токсичных элементов в пищевые цепи и ограничивает возможность получения высококачественной сельскохозяйственной продукции. Рассматриваемый субрегион Беларуси отличается развитой транспортной инфраструктурой, интенсивными

формами ведения аграрного производства, сравнительно высоким промышленным потенциалом. Кроме того, накопление ТМ в почвах юго-запада Беларуси связано также с особым географическим положением территории: она находится под влиянием трансграничного переноса загрязняющих веществ с индустриально развитых регионов Европы. Все эти факторы, взятые в совокупности, обуславливают актуальные и потенциальные риски загрязнения почв ТМ.

Для оценки экологической опасности и прогноза загрязнения почв ТМ необходимо иметь сведения о фоновом их содержании, объемах поступления в ландшафт, а также об особенностях их поведения в различных почвенно-геохимических условиях. Средние (фоновые) содержания ТМ и микроэлементов (МКЭ) в почвах в их региональном и субрегиональном измерениях являются геохимическим эталоном, который может использоваться при решении широкого круга как научных, так и практических задач. В последнем случае исследования направлены на выявление

геохимической специфики окружающей среды в сельскохозяйственных, медицинских и природоохранных целях [3].

Цель исследования — выявление особенностей содержания ТМ и МКЭ в дерново-подзолистых песчаных и дерновых заболоченных карбонатных почвах фоновых территорий и агроландшафтов юго-запада Беларуси.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в природных и агротехногенных ландшафтах юго-запада Беларуси, преимущественно в границах физико-географического округа Брестское Полесье. В работе рассмотрены восемь элементов, которые часто включают в группу ТМ: цинк, медь, марганец, свинец, кадмий, никель, кобальт, хром (часть исследуемых элементов — Zn, Cu, Mn, Co — входят в группу почвенных МКЭ). Нами осуществлен сравнительный анализ содержания подвижных форм ТМ и МКЭ в поверхностном слое (0–10 см) двух типов почв — дерново-подзолистых песчаных как наиболее распространенной категории минеральных почв в условиях Белорусского Полесья и Предполесья и дерновых заболоченных карбонатных почв, отличающихся специфическими особенностями в накоплении элементов и распределении их по профилю.

Подвижные формы ТМ определяли в вытяжке 1N HCl (отношение почвы к экстрагенту 1:10) атомно-абсорбционным методом на приборе SOLAAR MkII M6 Double Beam AAS. Кислотный экстрагент был выбран потому, что он извлекает как усвояемые (доступные) растениями формы ТМ, так и часть их из ближнего резерва, которая может быть задействована в экстремальных условиях (чаще всего создаваемых человеком). В эту довольно жесткую вытяжку переходят водорастворимые, обменные, а также частично сорбированные аморфными гидроксидами железа и более труднорастворимые соединения элементов, включая сорбированные карбонатами. На основе рассчитанных коэффициентов концентрации (Kc) подвижных форм элемен-

тов (как отношения их среднего содержания в исследуемых почвах к региональным фоновым значениям для почв Беларуси) определяли формулу геохимической специализации элементного состава рассматриваемых почв в виде ранжированного по убыванию величины Kc ряда приоритетных элементов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено (табл.), что дерново-подзолистые песчаные почвы как фоновых природных ландшафтов, так и пахотных угодий характеризуются низким содержанием большинства изученных ТМ и МКЭ, что в первую очередь связано с бедностью элементного состава почвообразующих пород, среди которых в регионе абсолютно преобладают рыхлые песчаные отложения. Дефициту элементов способствует также химическая инертность основного почвообразующего минерала — кварца.

В почвах юго-запада Беларуси в концентрациях ниже фонового содержания для почв Беларуси обнаруживаются цинк, марганец, кадмий; выше фонового уровня — медь и свинец. Последний элемент относится к числу наиболее опасных загрязнителей почв и отличается несколько более высокими уровнями накопления в природных ландшафтах (4,23–4,56 мг/кг) в сравнении с почвами пахотных угодий (3,31 мг/кг), находящимися вне зон влияния промышленных центров и автомагистралей (табл.). Подобная ситуация является следствием регулярного перемещения слоев при вспашке (фактически — искусственное разбавление), а также более интенсивного выноса подвижных соединений ТМ из пахотных почв, в т.ч. и с формируемым урожаем, в сравнении с их ненарушенными естественными аналогами.

В то же время наиболее высокие уровни накопления свинца (около 10,0 мг/кг) зафиксированы в почвах сельскохозяйственных угодий, испытывающих влияние автомагистрали М-1/Е-30 Брест — Москва с интенсивным движением. В подобных почвах, в сравнении с фоновыми, отмечены также более высокие концентрации

**Содержание подвижных форм ТМ в почвах фоновых ландшафтов
и сельскохозяйственных угодий, мг/кг**

Почва	Содержание элемента, мг/кг на естественную влажность								
	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	Ni	Co	Cr	
Среднее фоновое содержание для почв Беларуси [4]	5,40	0,30	51,90	1,20	0,10	0,30			
Дерново-подзолистые песчаные почвы	1*	3,07	0,93	39,00	4,56	0,02		0,08	0,77
	2	2,35	0,59		3,31	0,07	0,22	0,19	0,56
	3	8,03	1,33	248,80	4,23	0,08	0,34	0,70	
	4	4,44	1,25	40,61	9,67	0,13	0,63	0,31	1,05
Дерновые карбонатные заболоченные почвы	1	4,77	1,82	269,17	5,59	0,18	2,13	1,12	1,83
	2	5,11	1,98	250,21	2,59	0,14	2,85	0,54	4,11
	5	5,17	2,08	266,87	2,56	0,13	3,17	0,48	3,30

Примечание: *1 – субрегиональный природный фон для почв юго-запада Беларуси, 2 – субрегиональный фон для пахотных почв, 3 – природный фон в ареале НП «Беловежская пуца», 4 – пахотные почвы в зоне влияния автомагистрали М-1/Е30, 5 – локальный фон пахотных почв ОАО «Красный партизан» Малоритского р-на.

подвижных форм кадмия, никеля, хрома, меди. В целом, формула геохимической специализации элементов для пахотных дерново-подзолистых песчаных почв юго-запада Беларуси имеет вид: Pb 2,8 – Cu 2,0 – Ni 0,7 – Cd 0,7 – Zn 0,4; для аналогичных почв в зоне влияния автомагистрали М-1/Е30: Pb 8,1 – Cu 4,2 – Ni 2,1 – Cd 1,3 – Zn 0,8 – Mn 0,8. Учитывая вышеизложенное, необходимо пересмотреть в сторону ужесточения практику отвода земель, находящихся в пределах придорожных полос автомобильных дорог с интенсивным движением, для создания плантаций ягодных культур, лекарственных и пряноароматических растений, а также возделывания овощных и кормовых культур.

Дерновые заболоченные карбонатные (ДЗК) почвы юго-запада Беларуси выделяются относительно высокими уровнями аккумуляции большинства исследованных ТМ и МКЭ. Интенсивное накопление ТМ в случае карбонатных почв – следствие, прежде всего, хемосорбции элементов на поверхности карбонатов или образования осадков малорастворимых солей [5]. Кроме того, эти почвы отличаются высоким содержанием гумуса – до 7,0%

и более (в среднем в 3,2 раза выше, чем у дерново-подзолистых песчаных), что также способствует концентрированию ряда ТМ и МКЭ.

Содержание никеля в ДЗК почвах оказалось примерно на порядок выше, чем в дерново-подзолистых почвах; в пахотных дерново-карбонатных заболоченных почвах ОАО «Красный партизан» зафиксированы максимальные уровни накопления элемента – 3,76 мг/кг. Это хорошо согласуется с известными данными [6], когда максимальная концентрация подвижных форм никеля имела место в нейтральных и слабощелочных условиях при высоком содержании гумуса.

Субрегиональный природный фон хрома в гумусово-аккумулятивном горизонте дерново-карбонатных заболоченных почв в 2,4 раза превышает аналогичный показатель для дерново-подзолистых почв. При этом в пахотном слое карбонатных почв усредненное содержание подвижного хрома в 2,1 раза выше, чем в гумусовом горизонте природных почв-аналогов, и колеблется от 3,30 до 4,11 мг/кг. По-видимому, это объясняется перемещением в пахотный горизонт путем припашки вещества карбо-

натного горизонта, который для данного элемента выступает геохимическим барьером [7], и где содержание хрома, согласно нашим исследованиям, может достигать значений до 9,0 мг/кг.

Дерновые заболоченные карбонатные почвы характеризуются также высокими показателями концентраций марганца, при этом они изменяются в относительно небольшом диапазоне — от 250,2 до 302,7 мг/кг; существенно не отличаясь у возделываемых и ненарушенных почв.

Все отмеченные особенности в накоплении ТМ и МКЭ в дерново-карбонатных заболоченных почвах нашли отражение в формуле геохимической специализации элементов, которая для пахотных почв этой категории имеет вид: Ni 9,5 — Cu 6,6 — Mn 4,8 — Pb 2,2 — Cd 1,4 — Zn 0,9.

Обращает на себя внимание повышенное содержание ряда ТМ и МКЭ в поверхностном горизонте почв в ареале НП «Беловежская пуца» (южная и юго-западная его части и прилегающие территории). Почвенные образцы отбирались в лесных сообществах сосняков черничных, ельников сосново-черничных на дерново-палево-среднеподзолистых почвах, развивающихся на двучленных супесчано-песчаных почвообразующих породах или на песках, подстилаемых суглинками. В подобных почвах содержание подвижного марганца, достигающее 250 мг/кг, примерно в 5 раз больше в сравнении с фоновым содержанием в почвах Беларуси и в 6,4 раза выше субрегионального фона для юго-запада республики. Вместе с тем полученные результаты хорошо согласуются с известными данными [8] для перегнойно-аккумулятивного горизонта подзолов Беловежской пуцы. Сравнительно большое содержание марганца, сопоставимое с его накоплением в ДЗК почвах, отличающихся наличием мощных геохимических барьеров, обусловлено, прежде всего, его биологическим аккумулярованием в условиях очень длительного взаимодействия лесной растительности с почвой, столь свойственного массиву коренных лесов Беловежской пуцы. Это обстоятельство, по-видимому,

является определяющим и в отношении содержания других элементов, прежде всего цинка, превышающего 8,0 мг/кг, — максимальное значение среди всех сравниваемых почв. Необходимо также учитывать, что данная территория находится под влиянием трансграничного переноса загрязняющих веществ; ТМ антропогенного происхождения чаще всего попадают в почву из воздуха в виде твердых и (или) жидких осадков. Лесные массивы с их развитой контактирующей поверхностью особенно интенсивно задерживают ТМ, в результате чего повышается их содержание в почвенном покрове, а также в некоторых видах продукции побочного лесопользования (например, накопление Zn, Cd, Pb, Mn и Cu в плодовых телах подберезовика обыкновенного сопоставимо с таковым в придорожной полосе автомагистрали М-1/Е-30). Перечисленные факторы обусловили следующий ряд в формуле геохимической специализации элементов в дерново-подзолистых песчаных почвах НП «Беловежская пуца»: Mn 4,8 — Cu 4,4 — Pb 3,5 — Zn 1,5 — Ni 1,1 — Cd 0,8. В этой связи представляется не вполне корректным использовать показатели накопления ТМ и МКЭ в почвах под коренными массивами лесов, в т.ч. относящихся к заповедному фонду, в качестве фоновых. В каждом конкретном случае, сообразно целям исследования, фон должен быть специфичен: фоновый уровень для почв лесопокрываемых территорий; фоновый уровень для почв луговых угодий и т.п. Кроме того, должен быть усилен контроль качества некоторых видов продукции побочного лесопользования, получаемой как в зонах загрязнения, так и на условно безопасных территориях, — глобальный характер техногенных эмиссий ТМ уменьшает, к примеру, основания для микофильного поведения населения.

ВЫВОДЫ

В дерново-подзолистых песчаных почвах юго-запада Беларуси в концентрациях выше фонового уровня для почв Беларуси накапливаются подвижные формы меди и свинца. Максимальные уровни содержания

ТМ характерны для дерновых заболоченных карбонатных почв. Повышенное содержание подвижных форм большинства исследованных ТМ и МКЭ (особенно марганца, меди, цинка и свинца) наблюдается в южном и юго-западном секторах НП «Беловежская пуца», что ограничивает

возможности использования соответствующих показателей в качестве фоновых при проведении сравнительных оценок. Полученные данные важны при решении задач фонового геохимического мониторинга и определении агроэкологических рисков, связанных с загрязнением почв ТМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. — Л.: Агропромиздат, 1987. — 142 с.
2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В.Б. Ильин. — Новосибирск: Наука, 1991. — 150 с.
3. Петухова Н.Н. К кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси / Н.Н. Петухова, В.А. Кузнецов // Докл. АН Беларуси. — 1992. — Т. 36. — № 5. — С. 461–465.
4. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень 2010 г. / Под ред. В.Ф. Логина. — Минск: Минскпроект, 2011. — 398 с.
5. McBride M.B. Chemisorption and precipitation of Mn^{2+} at $CaCO_3$ surfaces / M.B. McBride // Soil. Sci. Soc. J. — 1979. — Vol. 43, No. 4. — P. 693–698.
6. Касимов Н.С. Подвижные формы тяжелых металлов в почвах лесостепи Среднего Поволжья (опыт многофакторного регрессионного анализа) / Н.С. Касимов, Н.Е. Кошелева, О.А. Симонова // Почвоведение. — 1995. — № 6. — С. 705–713.
7. Мечковский С.А. Оценка техногенного загрязнения дерново-подзолистых почв на основе подвижных форм хрома / С.А. Мечковский, Н.К. Чертко, Ю.В. Заневская // География и природные ресурсы. — 1999. — № 1. — С. 128–130.
8. Ничипорович Д.В. Динамика некоторых химических свойств почв в сосновых и еловом лесах / Д.В. Ничипорович // Беловежская пуца. Исследования. — Минск: Ураджай, 1968. — Вып. 2. — С. 57–68.

REFERENCES

1. Alekseev, Ju.V. (1987). *Tjzhelye metally v pochvah i rastenijah [Heavy metals in soils and plants]*. Leningrad: Agropromizdat [in Russian].
2. Il'in, V.B. (1991). *Tjzhelye metally v sisteme pochva-rastenie [Heavy metals in the soil-plant system]*. Novosibirsk: Nauka [in Russian].
3. Petuhova, N.N., Kuznecov, V.A. (1992). К кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси [To clusters of microelements in the soil cover of Belarus]. — *Dokl. AN Belarusi — Dokl. Academy of Sciences*, 36, 5, 461–465 [in Russian].
4. Loginov, V.F. (Eds.). (2011). *Sostojanie prirodnoj sredy Belarusi: Jekologicheskij bjulleten' 2010 g. [The state of the environment in Belarus: Environmental Bulletin 2010]*. Minsk: Minskproekt [in Russian].
5. McBride, M.B. (1979). Chemisorption and precipitation of Mn^{2+} at $CaCO_3$ surfaces. *Soil. Sci. Soc. J.* 43, 4, 693–698 [in English].
6. Kasimov, N.S., Kosheleva, N.E., Simonova, O.A. (1995). Podvizhnye formy tjzhelyh metallov v pochvah lesostepi Srednego Povolzh'ja (opyt mnogo-faktornogo regressionnogo analiza) [Movable forms of heavy metals in the soils of the forest-steppe of the Middle Volga region (the experience of multifactorial regression analysis)]. *Pochvovedenie — Soil science*, 6, 705–713 [in Russian].
7. Mechkovskij, S.A., Chertko, N.K., Zanevskaja, Ju.V. (1999). Ocenka tehnogennoho zagrjaznenija der-novo-podzolistyh pochv na osnove podviznyh form hroma [Assessment of technogenic pollution of sod-podzolic soils on the basis of mobile forms of chromium]. *Geografija i prirodnye resursy — Geography and natural resources*, 1, 128–130 [in Russian].
8. Nichiporovich, D.V. (1968). Dinamika nekotoryh himicheskikh svojstv pochv v sosnovyh i elovom lesah [Dynamics of some chemical properties of soils in pine and spruce forests]. *Belovezhskaja pushha. Issledovanija — Bialowieza Forest. Research*, 2, 57–68 [in Russian].