
ФИЛОСОФИЯ

УДК 631.5/9:635.1/8:634:628.5

Фоновое загрязнение тяжелыми металлами дерново-подзолистых супесчаных почв Республики Беларусь

С. С. Позняк

Введение. Прямым источником накопления в почвах тяжелых металлов (ТМ) являются горные породы, на продуктах которых сформировался почвенный покров. В осадочных горных породах в зависимости от их генезиса и гранулометрического состава содержание ТМ колеблется в широком диапазоне, при этом тонкодисперсные глинистые сланцы более обогащены тяжелыми металлами, чем песчаники [1]. В горных породах тяжелые металлы обычно приурочены к определенной группе минералов [2]. При выветривании коренных горных пород ТМ в значительной части сохраняются в рыхлых образованиях, изменив форму и место присутствия. Поэтому главными носителями тяжелых металлов становятся вторичные минералы, гидроксиды и оксиды полуторных элементов, а формами присутствия – водорастворимая, обменная, окклюдирующая R_2O_2 , в кристаллической решетке вторичных минералов (изоморфное замещение) и в их межплоскостном пространстве, в первичных минералах. По этой причине почвообразующие породы разного гранулометрического состава содержат заметно различающиеся количества тяжелых металлов: небольшое – песчаные и супесчаные, значительное – суглинистые и глинистые [3].

При почвообразовании происходит некоторое перемещение тяжелых металлов в профиле почвы. Наблюдается биогенная аккумуляция ряда физиологически важных для растительности элементов – Mn, Zn, отчасти Cu. В почвах с элювиально-иллювиальным профилем (дерново-подзолистые, серые лесные, солоды, солонца и др.) элювиальный горизонт обедняется тяжелыми металлами, тогда как иллювиальный обогащается. Нередко фиксируются небольшие аккумуляции ТМ в верхней части карбонатного горизонта, где в депонировании ТМ принимают участие глинные минералы и гумусовое вещество [4]. В илистых частицах содержание тяжелых металлов в 2–4 раза больше, чем в почвенной массе в целом [5]. Такое обогащение рассматривается как результат процесса почвообразования, поскольку по количеству многих ТМ ил, выделенный из материнской породы, почти не отличается от ила из гумусового горизонта почв, которые сформировались на этой породе. Иными словами, аккумуляция ТМ в тонкой гранулометрической фракции произошла раньше, чем началось современное почвообразование. Гумус по отношению к ТМ обладает высокой депонирующей способностью: помимо обменного поглощения гумусовые кислоты могут образовывать с ТМ комплексные органоминеральные соединения, которые становятся малоподвижными. Высокое содержание ТМ в гумусе отмечается во многих работах [6].

К основным носителям тяжелых металлов в незагрязненных почвах следует отнести оксиды железа, в которых может содержаться, например, цинка до 25 % от общего содержания металла в почве [7].

Многочисленными работами по изучению содержания тяжелых металлов в совокупности основных почв разных регионов было доказано, что использование данных о среднем содержании тяжелых металлов в почвенном покрове вообще в качестве фоновых при работе с конкретными загрязненными почвами будет неправильным. Поэтому в аналитиче-

ских исследованиях необходимо использовать данные о содержании тяжелых металлов в конкретных местных незагрязненных почвах. Следует, однако, отметить, что пределы содержания тяжелых металлов, установленные различными исследованиями, отличаются друг от друга в разы [6].

Многими исследователями по этому поводу справедливо отмечается, что для некоторых тяжелых металлов верхний предел биологически благоприятного валового содержания лишь ненамного превосходит фоновое. Как отмечается в [8, с. 12], *«скорее всего, у этих данных нет достаточного физиологического обоснования. Получить же его трудно, поскольку в растения из почвы поступает отнюдь не адекватное валовому содержанию количество тяжелых металлов, а реакции живых организмов на одни и те же концентрации тяжелого металла в почве в зависимости от сопутствующих условий заметно различаются. Накопленный материал убеждает в том, что за усредненными величинами скрывается большое разнообразие конкретных ситуаций. Следует с осторожностью относиться к использованию оценочных средних валовых содержаний тяжелых металлов, глобальных или рассчитанных для больших территорий, в качестве фоновых при нормировании местного загрязнения».*

В Республике Беларусь проведены многочисленные исследования и накоплена информация о содержании в незагрязненных почвах тяжелых металлов Mn, Zn, Cu, Mo, Co [9]. В то же время в литературе и практике очень мало сведений о содержании в почвах Pb, Cd, Cr, Hg и др.

Результаты исследования и их обсуждение. Для контроля состояния окружающей среды и разработки комплекса мероприятий по предотвращению загрязнения земель необходимо использование данных о фоновом содержании тяжелых металлов в конкретных местных незагрязненных почвах. В исследованиях определялось валовое фоновое содержание микроэлементов и тяжелых металлов в незагрязненной почве, находящейся на территории планируемого размещения национального парка «Белая Русь» в Логойском районе Минской области, которая представляет собой удаленный от источников загрязнения участок земной поверхности с естественным почвенным покровом и растительностью, характеризующийся минимальной антропогенной нагрузкой. Опытный участок размещался в Каменском сельском совете, расположенном в 40 км от районного центра Логойск и в 80 км к северо-востоку от Минска.

Отбор почвенных проб проводился в соответствии с методикой крупномасштабного агрохимического и радиологического исследования почв сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь [10] на 6 элементарных участках, расположенных в одном массиве угодий в радиусе 4 км на дерново-подзолистой супесчаной почве СПК «Камено» Логойского района Минской области:

Участок № 1. Поле на въезде в д. Чмелевичи со стороны д. Камено, около карьера. Рапс озимый.

Участок № 2. Поле к югу от Чмелевичского озера. Рапс озимый.

Участок № 3. Поле к юго-востоку от д. Чмелевичи. Ячмень яровой.

Участок № 4. Поле к северу от кладбища д. Чмелевичи. Люпин узколистный.

Участок № 5. Поле в д. Заколюжье. Участок представляет собой пар, оставленный после приусадебного участка возле бани.

Участок № 6. Поле в д. Заколюжье. Участок представлен посевом многолетних злаковых трав на поле, оставленном после приусадебного участка.

Проведенными исследованиями показано, что между элементарными участками на территории конкретного хозяйства наблюдаются различия по содержанию микроэлементов и тяжелых металлов в почвах, по некоторым элементам весьма существенные. Содержание свинца в незагрязненных почвах составляло в среднем 11,54–24,82 мг/кг, кадмия – 1,17–3,53 мг/кг, хрома – 12,21–43,05 мг/кг, никеля – 1,61–4,9 мг/кг (табл. 1).

Таблица 1 – Фоновое содержание микроэлементов и ТМ в незагрязненных дерново-подзолистых супесчаных почвах, мг/кг возд.-сух. почвы

| Элемент | Участок № 1, оз. рапс | Участок № 2, оз. рапс | Участок № 3, ячмень | Участок № 4, люпин | Участок № 5, пар | Участок № 6, мн. травы |
|---------|-----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|------------------|------------------------|
| Fe | 9818,90 | 6694,84 | 8141,96 | 8274,36 | 11 229,93 | 9083,68 |
| Ti | 2676,94 | 1195,57 | 1754,25 | 1455,62 | 1771,90 | 1431,39 |
| Mn | 771,61 | 572,93 | 653,36 | 613,45 | 772,55 | 834,39 |
| Ba | 109,44 | 161,89 | 119,67 | 82,59 | 114,97 | 101,21 |
| Zr | 98,77 | 137,52 | 91,59 | 117,97 | 70,17 | 86,86 |
| Rb | 70,63 | 44,44 | 54,20 | 41,25 | 62,13 | 52,02 |
| Sr | 49,96 | 50,22 | 54,06 | 54,17 | 59,63 | 52,57 |
| Cr | 33,43 | 12,21 | 27,14 | 30,56 | 43,05 | 35,24 |
| Co | 37,40 | 31,08 | 32,54 | 37,01 | 40,36 | 22,72 |
| Zn | 24,16 | 41,79 | 26,24 | 19,46 | 90,61 | 88,16 |
| Pb | 14,85 | 11,54 | 13,83 | 12,21 | 24,82 | 16,63 |
| V | 29,06 | 5,46 | 17,12 | 7,04 | 6,70 | 0,00 |
| I | 12,31 | 0,00 | 11,27 | 5,07 | 7,17 | 17,83 |
| Bi | 7,81 | 4,65 | 3,64 | 0,43 | 9,78 | 10,71 |
| Sn | 5,88 | 0,34 | 4,25 | 5,44 | 2,83 | 3,57 |
| Cu | 5,31 | 10,89 | 5,67 | 5,17 | 29,04 | 12,51 |
| Sb | 4,39 | 3,05 | 5,75 | 3,52 | 5,16 | 3,57 |
| Cd | 3,53 | 1,17 | 1,65 | 0,00 | 3,27 | 1,27 |
| Ni | 3,47 | 1,61 | 3,72 | 3,94 | 4,90 | 3,95 |
| Ag | 2,01 | 0,86 | 1,31 | 0,00 | 1,33 | 3,14 |
| Hg | 1,99 | 0,74 | 1,87 | 1,36 | 0,74 | 0,93 |
| Br | 0,49 | 0,06 | 0,28 | 0,30 | 0,20 | 0,39 |
| Au | 0,28 | 0,57 | 1,58 | 0,12 | 1,78 | 1,70 |
| Se | 0,32 | 0,22 | 0,59 | 0,51 | 0,77 | 0,54 |
| W | 0,23 | 1,75 | 0,54 | 0,44 | 4,15 | 0,00 |

В результате исследований работы установлено, что в анализируемых почвах содержатся также такие малоизученные тяжелые металлы, как цирконий (70,17–137,52 мг/кг), стронций (49,96–59,63 мг/кг), ванадий (5,46–29,06 мг/кг), олово (0,34–5,88 мг/кг), сурьма (3,05–5,75 мг/кг), ртуть (0,74–1,99 мг/кг) и др. При этом следует отметить, что величина содержания всех обнаруженных в почвенных пробах тяжелых металлов и микроэлементов, за исключением олова на пробных площадках № 1 и № 4, значительно ниже существующих ПДК/ОДК. Концентрации олова на пробных площадках № 1 и № 4 составляют соответственно 5,88 и 5,44 мг/кг, что выше установленного уровня ПДК/ОДК в 1,2–1,3 раза. Это может быть связано с тем, что на территории площадок в 1960-е годы размещались механизированные участки и пункты хранения техники для проведения культуртехнических работ, лесо- и торфоразработок, которые внесли ощутимый вклад в загрязнение территории. Кроме того, при возвращении этих земель в хозяйственный оборот в последующие годы на них вносили повышенные нормы оловосодержащих минеральных удобрений и пестицидов.

Содержание марганца во всех пробах превышало, а содержание титана, хрома, свинца и меди – находилось в границах региональных кларков.

Для характеристики величины химического загрязнения почв фоновой территории и ее сравнения с загрязненностью земель в зоне воздействия крупных промышленных центров были проведены соответствующие исследования содержания тяжелых металлов в почве и расчет коэффициентов концентрации химических веществ (K_c) в полевом и луговом агрофитоценозах. В результате эксперимента установлено, что в условиях техногенного воздействия (на сельскохозяйственных угодьях в окрестностях г. Жодино) значительно возрастает

содержание меди, циркония, хрома, кобальта, олова, свинца и никеля в почве полевых и луговых агрофитоценозов – коэффициент концентрации составляет 1,22–4,79 по сравнению с фоновой территорией (табл. 2).

Таблица 5.3 – Содержание тяжелых металлов в почве в окрестностях г. Жодино и на фоновой территории, мг/кг возд.-сух. почвы

| ТМ | ПДК/ОДК в почве | Рег. кларк | Полевой фитоце- ноз | | Кс | Луговой фитоце- ноз | | Кс |
|----|--------------------|---------------|------------------------|-------|------|------------------------|-------|------|
| | | | Жодино | ФОН | | Жодино | ФОН | |
| Mn | 1500 | 247 | 481,1 | 572,9 | 0,84 | 374,9 | 834,3 | 0,45 |
| Cu | 55 | 13 | 16,9 | 10,8 | 1,56 | 29,3 | 12,5 | 2,34 |
| Zn | 100 | 45 | 27,9 | 41,7 | 0,67 | 30,5 | 88,1 | 0,35 |
| Zr | – | 336 | 234,4 | 137,5 | 1,70 | 204,9 | 86,8 | 2,33 |
| Cr | 90 | 36 | 27,4 | 12,2 | 2,25 | 31,1 | 35,2 | 0,88 |
| Co | 5 | 6 | 50,2 | 31,0 | 1,62 | 86,7 | 22,7 | 3,82 |
| Sn | 4,5 | 1 | 1,35 | 0,34 | 3,97 | 3,38 | 3,57 | 0,95 |
| Pb | 30 | 12 | 17,4 | 11,5 | 1,51 | 16,3 | 16,6 | 0,98 |
| Ni | 85 | 20 | 7,71 | 1,61 | 4,79 | 4,83 | 3,95 | 1,22 |

Содержание марганца и цинка при этом не увеличивалось. Следует отметить особую опасность для окружающей среды в накоплении в почвах полевых агрофитоценозов токсичных металлов хрома, кобальта, олова и никеля, которые обладают повышенной подвижностью в компонентах биосферы.

Результаты проведенных аналитических исследований фонового содержания микроэлементов и тяжелых металлов в конкретных местных незагрязненных почвах подтвердили мнение, что повышенное содержание тяжелых металлов чаще всего свойственно более плодородным почвам (гумусовому горизонту) и объясняется следующим:

- а) значительная часть тяжелых металлов, освобождающихся при разложении растительных остатков, депонируется в гумусе, сохраняя при этом мобильность;
- б) в иллювиальном горизонте накапливаются мигрирующие из вышележащего слоя почвы тонкодисперсные частицы, насыщенность которых тяжелыми металлами всегда более высокая;
- в) в профиле почвы на контакте с карбонатным горизонтом происходит резкое повышение рН среды, по этой причине мигрирующие с нисходящим током влаги металлосодержащие соединения могут выпадать в осадок и образовывать небольшие местные аккумуляции.

Выводы. На основании проведенных исследований впервые получена информация о фоновом содержании в незагрязненных дерново-подзолистых супесчаных почвах Республики Беларусь не только тех тяжелых металлов, которые известны как микроэлементы – Mn, Zn, Cu, Mo, но и малоизученных тяжелых металлов – Pb, Cd, Cr, Hg, Ni, Sn, Zr, Co и др. Экспериментально установлено, что содержание валовых форм тяжелых металлов динамично как в пространстве, так и во времени, причем пространственные изменения более значительные, чем временные. Это позволило сделать следующие выводы:

- в условиях техногенного воздействия значительно возрастает содержание меди, циркония, хрома, кобальта, олова, свинца и никеля в почвах полевых и луговых фитоценозов (коэффициент концентрации составляет 1,22–4,79 по сравнению с фоновой территорией);
- валовое содержание тяжелых металлов в почвах характеризуется большими колебаниями, что не позволяет в практических целях использовать величины их средних содержаний (кларков).

Полученная информация о содержании поллютантов в незагрязненной дерново-подзолистой супесчаной почве позволила разработать и внедрить на площади около 14 500 га систему мероприятий по усовершенствованию государственного контроля за соблюдением природоохранных требований в процессе использования земель. Система мероприятий

внедрена в практику инспекционной деятельности Логойской районной инспекции природных ресурсов и охраны окружающей среды Минской области и администрации Полесского государственного радиационно-экологического заповедника Гомельской области. Годовой экономический эффект от внедрения мероприятий составляет более 5 300 000 белорусских рублей.

Резюме. Проведенные исследования по изучению загрязненности тяжелыми металлами дерново-подзолистых супесчаных почв Республики Беларусь позволили впервые получить информацию о фоновом содержании в них не только тех тяжелых металлов, которые известны как микроэлементы – Mn, Zn, Cu, Mo, но и малоизученных тяжелых металлов – Pb, Cd, Cr, Hg, Ni, Sn, Zr, Co и др. Экспериментально установлено, что содержание валовых форм тяжелых металлов динамично как в пространстве, так и во времени, причем пространственные изменения более значительные, чем временные.

Abstract. In the conducted study there was estimated a contamination of sod-podzol sabulous soils of Belarus by heavy metals. These estimations for the first time allowed to get an information of background concentration in the soils of heavy metals, known as microelements: Mn, Zn, Cu, Mo, and also little-studied heavy metals: Pb, Cd, Cr, Hg, Ni, Sn, Zr, Co etc. there was experimentally determined that concentration of gross forms of heavy metals was dynamic both in space and in time, at that space modifications were more significant as compared to temporal.

Литература

- 1 Бранулоу, А.Х. Геохимия / А.Х. Бранулоу. – М.: Недра, 1984. – 463 с.
- 2 Frank, R. Metals in agricultural soils of Ontario / R. Frank, K. Ishida, P. Suda // Can. J. Soil Sci. – 1976. – Vol. 56, № 3. – P.181–196.
- 3 Лупинович, И.С. Микроэлементы в почвах БССР и эффективность микроудобрений / И.С. Лупинович, Г.П. Дубиковский. – Минск: Изд-во БГУ, 1970. – 225 с.
- 4 Andersson, A. The distribution of heavy metals and soil material as influenced by the ionic radius / A. Andersson // Sved. J. Agr. Res. – 1977. – Vol. 7, № 2. – P. 79–83.
- 5 Ильин, В.Б. К вопросу о разработке предельно допустимых концентраций тяжелых металлов в почвах / В.Б. Ильин // Агрохимия. – 1985. – № 10. – С. 94–101.
- 6 Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в почвах Западной Сибири / В.Б. Ильин // Почвоведение. – 1987. – № 11. – С. 87–94.
- 7 Shuman, L.M. Zinc, manganese and copper in soil fractions / L.M. Shuman // Soil. Sci. – 1979. – Vol. 127, № 1. – P. 10–17.
- 8 Ильин, В.Б., Тяжелые металлы в системе почва-растение / В.Б. Ильин // Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1991. – 151 с.
- 9 Головатый, С.Е. Тяжелые металлы в агроэкосистемах / С.Е. Головатый. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, 2002. – 239 с.
- 10 Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1992. – 61с.