

# ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ

**В.Ф. Мальцев, В.Е. Ториков, Брянская ГСХА, З.Н. Маркина, Брянский Центр «Агрохимрадиология», О.В. Торикова, Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева**

Миграция тяжелых металлов (ТМ) в агроэкосистемах и в звене почва — растение определяется их химическими свойствами, почвенными условиями и биологическими особенностями растений.

Оценка уровня загрязнения почв ТМ при принятии решения о проведении фитодезактивации основывается на сопоставлении данных о фоновом и валовом содержании ТМ в незагрязненных почвах, не вызывающих отрицательных биологических эффектов и ПДК. При оценке опасности загрязнения сельскохозяйственных угодий в результате поступления токсикантов в растения оценка размеров накопления ТМ сопоставляется с данными по их фоновому содержанию в растениях и ПДК в сельскохозяйственной продукции.

По абсолютному содержанию в растениях ТМ можно разделить на 4 группы:

элементы повышенной концентрации — Sr, Mn, Zn;

элементы средней концентрации — Si, Ni, Pb, Cr

элементы НИЗКОЙ концентрации — Mo, Cd, Se, Co, Sn;

элементы очень низкой концентрации — Hg.

При выборе вида растения для проведения фитодезактивации необходимо учитывать два фактора: толерантность различных видов растений по отношению к избытку содержания токсикантов в почве (табл.) и размеры накопления выбранными видами растений ТМ.

Среди ТМ (токсичных элементов) приоритетными загрязнителями считаются Hg, Pb, Cd, As, Zn главным образом потому, что техногенное накопление их в окружающей среде идет высокими темпами. Существует тесная положительная корреляция между содержанием элемента в растении и его подвижностью в почве. По степени уменьшения коэффициентов накопления элементы образуют следующий ряд: Cd>Zn>Cu>Cr> >Co>Ni. Значения коэффициентов накопления для различных сельскохозяйственных культур существенно варьируют, что связано с почвенными условиями и биологическими особенностями культур. Максимальным накоплением ТМ характеризуются листья бобовых, листовые овощи, вегетативная масса трав и солома зерновых культур.

Коэффициенты накопления, рассчитанные на валовое содержание элемента в почве, не всегда отражают действительную миграционную подвижность его в звене почва — растение, т.к. в почве одновременно присутствуют различные формы элементов, отличающиеся прочностью связи и доступностью для поглощения растениями. Для более точной оценки связи подвижности ТМ в почве и накопления их в растениях используют коэффициент накопления, рассчитываемый как отношение концентрации элемента в растениях к содержанию его подвижной формы в почве.

Изучение поведения в системе почва-растение одновременно нескольких элементов-аналогов позволило выявить как общие закономерности, так и особенности поглощения элементов растениями. Сходство поведения элементов-аналогов в различных звеньях цепи миграции обеспечивает и общую для них закономерность перехода из одного звена в другое.

С увеличением концентрации элемента в почве его концентрация в растении возрастает до некоторого предела, а при малых концентрациях содержание в растениях растет почти линейно. Одним из факторов, влияющих на поступление ТМ в растение, является их токсичность. При этом содержание ТМ в почве, превышающее порог токсичности, приводит к снижению их поступления в растения. Проведенные к настоящему времени исследования позволяют сделать вывод о наличии тесной положительной корреляции между содержанием ТМ в растениях и подвижностью их в почве. Этим объясняется тот факт, что среди установленных к настоящему времени ПДК химических элементов в почве лишь для Sb, Mn, V, Pb, As и Hg в качестве критерия опасности рассматривается их валовое содержание, тогда как для Cu, Ni, Zn, Co и Cr приводятся более корректные значения ПДК подвижных (экстрагируемых ацетатно-аммонийным буфером) форм металлов, т.е. сорбированных почвой по механизму ионного обмена.

Доступность ТМ для растений определяется биологическими особенностями самих растений. Среди них можно выделить следующие:

- варьирование накопления ТМ из-за видовых особенностей растений (одни растения накапливают больше одних ТМ, другие - других);
- видовые и сортовые отличия сельскохозяйственных культур в накоплении ТМ (в одних и тех же почвенных условиях они будут поглощать разное количество ТМ);
- у каждого вида растений различные его части и органы концентрируют разное количество ТМ;
- возрастные различия в накоплении ТМ.

Суммируя имеющиеся данные, можно составить следующий перечень параметров, которые определяют величину перехода химического элемента в растение из почвы:

- исходное валовое содержание химического элемента в почве;
- подвижная доля элемента в почве;
- поглощательная способность почвы, содержание и структура органического вещества, содержание илстой фракции;
- кислотность и буферная способность почвы, окислительно-восстановительный потенциал почвы;
- соотношение концентраций элементов-аналогов в почве;
- устойчивость микроорганизмов почвы по отношению к концентрации химического элемента в почве, общая реакция почвенной биоты;
- длительность взаимодействия химических элементов с почвой, стабильность (устойчивость) соединений химических элементов с органоминеральным комплексом почвы;
- вид, сорт и фаза развития растения
- свойства химических элементов, включая атомный номер (заряд ядра), атомную массу, радиус атома, радиус иона, потенциал ионизации, поляризуемость и т.д.

Известно, что основным поставщиком ТМ в почву являются фосфорные удобрения, в том числе и фосфоритная мука. В исследованиях, проведенных нами на опытном поле Брянской ГСХА, было

изучено влияние различных доз фосфоритной муки на изменение агрохимических свойств почвы, содержание в ней ТМ и их накопление в полученной продукции.

Почвы опытного участка серые лесные с 3,26—3,67% гумуса; рН солевой вытяжки 5,7-6,1;  $P_2O_5$  - 33,7-35,7,  $K_2O$  — 16,1—21,7 мг/100 г почвы. Различные дозы фосфоритной муки ( $P_{90}$ — $P_{900}$ ) были внесены непосредственно под люпин и гречиху, после которых высевали озимую пшеницу, а после пшеницы — овес. Последствие доз фосфоритной муки изучали на посевах озимой пшеницы и овса.

Применение различных доз фосфоритной муки в микрополевых опытах способствовало увеличению подвижных форм фосфора в почве и приводило к снижению почвенной кислотности. Как прямое действие, так и последствие различных доз фосфоритной муки в севообороте не способствовало накоплению в почвенном растворе высоких концентраций тяжелых металлов.

Анализ образцов зерна люпина показал, что внесение фосфоритной муки в повышенных (600-900 кг/га  $P_2O_5$ ) дозах привело к превышению концентрации свинца на 0,05 мг/кг, кадмия — на 0,04 и цинка — на 0,1—4,9 мг/кг. В зерне озимой пшеницы содержание кадмия превышало ПДК, а зерно овса отвечало санитарно-гигиеническим нормам. Внесение высоких доз фосфора (600—900 кг  $P_2O_5$  на 1 га) не приводило к накоплению в почве и продукции радиоактивных цезия и стронция.

Коэффициенты накопления ТМ превышали единицу. Какой-либо закономерности между содержанием ТМ в почвенном растворе и зерне не отмечено. Поэтому для оценки качества производимой сельскохозяйственной продукции необходимо учитывать как содержание ТМ в почве, так и в продукции. Таким образом, использование фосфоритной муки один раз в 3 года в дозе 150 кг/га  $P_2O_5$  — оптимальный прием и в агрономическом, и экологическом аспектах.

## Нормальное и аномальное содержание токсических элементов в почвах, мг/кг

| Элемент | В норме | Аномальное  | Возможные отрицательные последствия избытка  |
|---------|---------|-------------|--|
| As      | <5—40   | до 250-2500 | Токсикоз растений и сельскохозяйственных животных  |
| Cd      | <1-2    | До 20-30    | Загрязнение продовольственных культур  |
| Cu      | 2-60    | До 2000     | Токсикоз зерновых культур  |
| Mo      | <1-5    | 10-100      | Молибденозис или гипокупорозис (дефицит Cu, вызванный избытком Mo) у коров                     |
| Ni      | 2-100   | До 8000     | Токсикоз зерновых и других культур   |
| Pb      | 10-150  | 10000 и >   | Токсикоз сельскохозяйственных животных, загрязнение продовольственных культур                  |
| Se      | <1-2    | До 7-500    | До 7 мг/кг — последствий не обнаружено, до 500 мг/кг — хронический селенозис у лошадей и коров |
| Zn      | 25-200  | 10000 и >   | Токсикоз зерновых культур  |