

ленного объекта, в 4–6 раз ниже, чем на территории предприятия, свинца – в 1,2 раза выше, что может являться результатом воздействия автотранспорта.

Количество подвижных форм изучаемых элементов и их доля от валового содержания в почвах санитарно-защитной зоны по сравнению с промплощадкой предприятия существенно снижается.

Среднее содержание подвижных форм кадмия, полученное вытяжкой экстрагента ААБ (рН 4,80) составило 0,02 мг/кг (20,0 % от валового содержания), цинка – 1,5 мг/кг (6,3 %) и свинца – 5,5 мг/кг (23,7 %). При этом среднее содержание подвижного кадмия в почвах снизилось по сравнению промплощадкой предприятия в 18 раз, цинка – 32 раза, свинца – менее 2 раз. Доля подвижных форм от валовой концентрации также уменьшилась от 2 раз для свинца до 8 раз для кадмия.

В вытяжку раствора экстрагента 1М НСІ перешло в среднем 0,04 мг/кг кадмия (37,0 % от валового содержания), 4,4 мг/кг цинка (18,6 %) и 10,6 мг/кг свинца (45,7 %). Полученные фактические значения содержания кислоторастворимых форм металлов в почвах санитарно-защитной зоны в 1,5–16 раз ниже по сравнению с аналогичными показателями, полученными для почв промплощадки. Доля подвижных форм металлов от валовой концентрации также снизилась в 2–3 раза.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что в условиях техногенной нагрузки наряду с увеличением валового содержания кадмия, цинка и свинца в почвах в зоне воздействия предприятия цементного производства увеличивается количество их подвижных форм, а также процентное соотношение подвижных форм металлов от валовой концентрации. При этом кислоторастворимые формы тяжелых металлов, полученные из кислотной вытяжки (1М НСІ), являются более показательными, что позволяет использовать их в качестве диагностического критерия экологического состояния почв.

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА АГРОЛАНДШАФТОВ, ЗАГРЯЗНЕННОГО ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

INVENTORY AND RECONSTRUCTION OF THE SOIL COVER OF AGROLANDSCAPES POLLUTED BY HEAVY METALS

Н. В. Гончарова, Е. В. Журавков

N. Goncharova, E. Zhuraukou

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,

г. Минск, Республика Беларусь

goncharova@iseu.by

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Рассматривается простой в исполнении и щадящий почву способ ее очистки от тяжелых металлов – фитоэкстракция, заключающийся в посеве и выращивании в течение определенного периода времени специально подобранных видов сельскохозяйственных растений на загрязненных участках для извлечения из почвы металлов корневой системой и накопления их в надземной биомассе.

A simple method for cleaning it from heavy metals is described – a phytoextraction consisting in sowing and growing, during a certain period of time, specially selected species of agricultural plants in contaminated areas for extracting the root system from the soil of metals and accumulating them in the above-ground biomass.

Ключевые слова: фиторемедиация, мониторинг, рекультивация почв, загрязнение тяжелыми металлами, урбанизация.

Keywords: phytoremediation, monitoring, reclamation of soil, contamination with heavy metals, urbanization.

Известны различные способы очистки почв от тяжелых металлов, среди которых особый интерес вызывает фитоэкстракция [1; 2]. Она заключается в посеве и выращивании в течение определенного периода времени на загрязненных участках специально подобранных видов сельскохозяйственных растений для извлечения из почвы тяжелых металлов корневой системой и накопления их в надземной биомассе, в последующем утилизируемой. При этом коэффициент накопления металлов в растениях повышают благодаря внесению в почву эффикторов фитоэкстракции. Эта технология считается простой в исполнении, щадящей почву и экономически целесообразной по сравнению с механическими и физико-химическими подходами. Так, механические способы связаны со срезанием наиболее загрязнённого поверхностного слоя и его размещением на свалках (секвестрирование), или перемешиванием с менее загрязненными глубже лежащими слоями почвы посредством плантажной вспашки (разбавление), или покрытием его «привозной» чистой почвой (землевание). Физико-химические методы очистки основаны на промывке почвы специальными реагентами для извлечения из неё тяжелых металлов (хемо-

экстракция) или ее очистки посредством воздействия на загрязнённый слой постоянного электрического тока через электроды (электрокинетическая ремедиация). Литературные данные свидетельствуют о том, что для фитоэкстракции лучше использовать специально подобранные виды сельскохозяйственных растений, чем растения-гипераккумуляторы из числа диких видов, таких как ярутка синева́тая (*Thlaspi caer-ulescens*), бурачок стенный (*Alyssum murale*), резуха Галлера (*Cardaminopsis halleri*) и др. Они хотя и накапливают в десятки раз больше металлов, чем другие растения, но отличаются низкой скоростью роста и небольшой надземной биомассой. Между тем, фитоэкстракция, как и любой другой подход к очистке почвы, имеет ряд своих особенностей:

- содержание тяжелых металлов в почве загрязненного участка должно быть приемлемым для растений, то есть не вызывать у всходов выраженных фитотоксических симптомов (обесцвечивание, пигментация и пожелтение листьев, задержка роста и др.), что будет характеризовать их толерантность к тяжелым металлам и одновременно способность поглощать последние корневой системой и перемещать в надземную биомассу за счет потока, создаваемого испарением воды листовой поверхностью растений;
- растения, используемые для очистки почвы, должны отличаться высокой скоростью роста и производить большую надземную биомассу, иметь глубоко разрастающуюся корневую систему, высокую сопротивляемость к болезням и вредителям, быть отзывчивыми к обычной агротехнике, удобными для уборки и непривлекательными для домашних и диких животных, чтобы не вызывать случаи отравления насыщенной тяжелыми металлами надземной биомассой.

Для повышения накопления в растениях тяжелых металлов необходимо применять эффекторы фитоэкстракции в виде комплексонов из числа полиаминополиуксусных кислот, таких как этилендиаминтетрауксусная (ЭДТА), дигидроксиэтилэтилендиаминдиуксусная (ДДДА), диэтилентриаминпентауксусная (ДТПА), этиленбис(оксиэтилентриамин)тетрауксусная (ЭТТА), этилендиаминдигидроксифенилуксусная (ЭДФА), циклогксан-транс-1,2-диаминтетрауксусная (ЦДТА) и др. Эти вещества способны образовывать прочные водорастворимые внутрикомплекс-ные соединения со многими металлами, повышать растворимость, подвижность металлов в почве, а следовательно, их поглощение корневой системой и накопление в надземной биомассе. Обычно эффекторы фитоэкстракции в виде водных растворов их солей вносят под растения в фазу достижения ими максимальной надземной биомассы. Данный приём позволяет производить кратный посев и возделывание растений в течение одного вегетационного сезона, а значит, сократить время очистки почв от тяжёлых металлов. Очистку почвы от тяжёлых металлов необходимо проводить вплоть до достижения соответствующих санитарно-гигиенических нормативов, то есть предельно допустимых концентраций (ПДК). При этом экономически целесообразным для фитоэкстракции считается период продолжительностью 5–10 лет. Завершающим этапом фитоэкстракции является жатва, сбор и утилизация загрязнённой тяжёлыми металлами, надземной биомассы растений, так как уборка всей корневой биомассы, первоначально насыщаемой тяжёлыми металлами, практически невозможна. Надземная биомасса растений в дальнейшем может быть использована для извлечения из неё цветных металлов путем её предварительного высушивания, озоления и последующей специальной обработки.

О перспективности данного способа очистки почв от тяжёлых металлов свидетельствуют результаты проведенного нами вегетационного опыта с бурачком (*Alyssum* sp., *Brassicaceae*). В опыте моделировали ситуацию, накопления кадмия и никеля в вегетативной массе растений бурочка. Выбор этих металлов для опыта не случаен, так как кадмий и никель наряду с хромом, цинком и свинцом относятся к основным загрязнителям почв в мире. Почву обрабатывали водными растворами солей кадмия и никеля в количествах по 100 мг/кг, затем производили посев семян бурочка и наблюдали за ростом и развитием растений в течение нескольких недель. По достижении растениями максимальной надземной биомассы под них вносили наиболее часто применяемый на практике эффектор фитоэкстракции ЭДТА в виде водного раствора её натриевой соли в дозах от 1 до 10 ммоль/кг. Спустя неделю надземную биомассу срезали, высушивали, анализировали содержание кадмия и никеля в ней. Как оказалось, с увеличением дозы ЭДТА коэффициенты накопления тяжёлых металлов, то есть отношения содержания металлов в растении и почве (потенциал очистки почвы) возрастали относительно контроля (без внесения ЭДТА) для кадмия в 2,8–40,6 раза, для никеля – 1,8–28,3 раза. Расчёты, проведённые с использованием экспоненциальной зависимости, показали, что кратность посева и выращивания растений с применением эффектора фитоэкстракции значительно сокращает время очистки почвы от тяжёлых металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головатый, С. Е. Тяжелые металлы в агроэкосистемах / С. Е. Головатый. – Минск, 2002. – 240 с.
2. Гончарова, Н. В. Растения и антропогенные стрессоры / Н. В. Гончарова. – Минск: Триолета, 2005. – 112 с.