

Использование новых методов очистки урбанизированных почв от тяжёлых металлов

В.И. Савич, д.с.-х.н., профессор, **С.Л. Белопухов**, д.с.-х.н., профессор, **Д.Н. Никиточкин**, к.с.-х.н., Российский ГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева; **А.В. Филиппова**, д.б.н., профессор, Оренбургский ГАУ

Загрязнение городских почв снижает качество жизни населения, так как пылевые частицы, разносимые ветром, попадают в организм человека, приводя к проблемам со здоровьем. Фильтрация загрязняющих веществ, или их кумуляция, зависит от свойств почвы и насыщенности её загрязнителями. Вопросы очистки городских почв обсуждались научным сообществом, были предложены мероприятия по периодической смене урбанизированных почв, по использованию микропрепаратов, связывающих тяжёлые металлы, и т.д. Следует отметить, что любые исследования, позволяющие улучшить качество городских почв, имеют место быть.

Биологическая очистка городских почв от тяжёлых металлов имеет свои особенности. Очистка городских почв от тяжёлых металлов может быть проведена за счёт отчуждения их из грунта зелёными растениями. При этом для более усиленного развития процесса необходим подбор условий выращивания и видов растений. Разные растения имеют неодинаковую устойчивость к определённым видам загрязнения, что определяется особенностями протекающих в них процессов метаболизма [1, 3]. Так, по данным Е.М. Ивановой с соавторами [2], при сравнении устойчивости к сульфату меди трёх трав – хрустальной травки, клевера лугового и рапса – наибольшую устойчивость проявил клевер. При этом токсичность меди для растений в значительной степени определялась её способностью связываться с SH-группами белков и легко изменять своё окислительно-восстановительное состояние, генерируя активные формы кислорода и вызывая состояние окислительного стресса [1, 4].

Цель и методика исследований. При изучении возможностей фиторемидации были проведены опыты по изучению возможностей выноса тяжёлых металлов растениями.

В опыте №1 целью исследования являлось выявление влияния состава грунта на развитие растений, выращиваемых на нём, вынос тех или иных элементов (Zn, Fe, Mn, Mg) с растениями, оценка растений, максимально накапливающих и минимально накапливающих различные микроэлементы. В качестве составляющих исследуемых грунтов были кварцевый песок, торф, цеолит, пропитанный раствором NPK, дерново-подзолистая почва (взятая в лесопарке г. Москвы), почва, загрязнённая различными токсикантами (взятая с обочины дороги). На полученных грунтах выращивали растения кресс-салата, редиса, мятлика лугового и овсяницы

красной в течение 1–1,5 месяца. Затем проводили анализ полученных проростков, используя данные химического анализа (содержание элементов марганца, цинка, магния, железа), а также данные по длине стеблей и корней выращенных проростков (величины pH исследуемых грунтов колебались от 6,4 до 7,1).

Результаты исследования. Максимальное развитие стеблей отмечалось в варианте с содержанием 10 г цеолита, 30 г торфа, 30 г песка и 30 г загрязнённой почвы. Варианты, наиболее благоприятные для формирования массы, длины стеблей и корней, отличаются. Это, видимо, связано как с наличием по вариантам разных ростовых веществ, так и с формированием совокупности физико-химических, водно-физических, структурно-химических свойств почв, благоприятных для разных отдельных процессов.

Наилучшее развитие растений по их массе отмечалось в варианте с содержанием 25 г торфа, 25 г цеолита, 25 г песка и 25 г загрязнённой почвы. В то же время оптимум для развития разных растений отмечается на разных грунтах.

Вынос цинка из почв за счёт биологической мелиорации приведён в таблице 1.

Вынос цинка из почв зависит от состава грунта и выращиваемых растений. Больше вынос был у той культуры, у которой выше вегетативная масса. Очевидно, подкормка растений элементами питания будет способствовать увеличению выноса тяжёлых металлов растениями. В то же время наибольший вынос мг цинка на 1 растение показали овсяница и мятлик. Вынос цинка в грунтах с добавлением торфа составлял $46,5 \pm 13,4$ мг/сосуд, а в грунтах без торфа – $38,4 \pm 14,0$.

Максимальный вынос цинка из загрязнённых почв (мг/сосуд) осуществлял редис, минимальный – салат (табл. 2).

1. Вынос цинка из почв отдельными культурами (n=8)

Культура	Вынос цинка	
	мг/сосуд 100	мг/г растения 100
Кресс-салат	$16,5 \pm 4,7$	50,0
Редис	$109,2 \pm 28,7$	67,0
Мятлик	$22,3 \pm 5,6$	82,6
Овсяница	$32,6 \pm 8,5$	90,5

2. Вынос цинка растениями, мг/сосуд · 10²

Вариант	Растения			
	салат	редис	мятлик	овсяница
цеолит > 10% (вариант 1)	$7,7 \pm 6,4$	$75,5 \pm 3,7$	$18,9 \pm 2,2$	$42,3 \pm 26,9$
цеолит < 10% (вариант 2 и 4)	$15,4 \pm 6,5$	$112,8 \pm 39,9$	$20,9 \pm 6,8$	$22,0 \pm 4,7$

Внесение цеолита в почву более 10% (25%) по сравнению с внесением 10% цеолита привело к связыванию им цинка в почве и к меньшему выносу цинка растениями салата и редиса (мг/сосуд) (для мятлики и овсяницы различия недостоверны).

В опыте № 2 изучали вынос из почв свинца, кадмия, железа, цинка проростками вики и овса. Объектами исследования были загрязнённые почвы. Для увеличения подвижности тяжёлых металлов в почвах образцы заливались 0,001 м ЭДТА до 60% ПВ, затем на них выращивались проростки в течение 10 дней. По истечении срока выращивания тяжёлые металлы экстрагировались из проростков 0,1 н HCl и затем определялись на атомном абсорбционном спектрофотометре. По полученным данным, вынос растениями тяжёлых металлов из почв отличался для почв разного уровня загрязнения, что видно по данным таблицы 3.

3. Вынос растениями тяжёлых металлов

Степень загрязнения	Вынос, мг/100 г			
	Pb	Cd	Fe	Zn
Слабая	0,85±0,38	2,9±0,81	6,1±1,9	1,4±0,3
Повышенная	1,95±0,55	6,7±2,8	21,4±5,4	5,7±1,6

4. Вынос тяжёлых металлов из почв проростками вики и овса (мг/100 г растений)

Проростки	Pb	Cd	Fe	Zn
Вика	1,0±0,4	7,1±2,5	8,5±3,1	2,9±1,0
Овес	0,7±0,2	3,0±1,0	11,4±3,8	2,1±0,6

Вика и овёс отличались по их способности извлекать из почв тяжёлые металлы.

Судя по полученным данным, вика больше вынесла из почв свинца, кадмия, цинка, а овёс — железа.

Серия проведённых экспериментов показала, что очистка городских почв от подвижных форм тяжёлых металлов может быть проведена не только с использованием сорбентов, при осаждении тяжёлых металлов в виде труднорастворимых осадков, с использованием электромелиорации почв [5] и весьма успешно с помощью фитообъектов. Очевидно, что вынос из почв тяжёлых металлов растениями (или микроорганизмами, грибами) зависит от степени подвижности токсикантов в почве и усиливается при создании условий для интенсивного развития растений. Так как разные растения выдерживают и определённый характер, и степень загрязнения, то для биологической очистки городских почв от конкретных металлов следует подбирать и селективные условия их экстракции (в т.ч. изменение физико-химических свойств почв и подбор культур-мелиорантов).

В одном из опытов изучали развитие проростков на образцах почв, взятых в различных районах г. Москвы. В образцах определяли величину pH водной суспензии; оценивали длину корней и стеблей проростков, их массу. Выращивание растений при

оптимальной влажности продолжалось 10 дней. Полученные данные приведены в таблице 5.

5. Развитие проростков на почвах парков и сильнозагрязнённых территориях

Район	Масса	Корни	Стебли
МКАД, т. 1	0,8	2,7	7,3
Скверы, т. 6, 8	1,7±0,1	5,2±1,2	11,6±1,5

Как видно по представленным данным, на сильнозагрязнённых почвах у МКАД растения развивались значительно хуже, чем в скверах города.

С теоретической точки зрения добавление в почву питательного раствора должно улучшить развитие растений, а внесение в почву свинца, наоборот, ухудшить их развитие. В опыте вносили по вариантам питательный раствор и $Pb(CH_3COO)_2$.

Добавление свинца в загрязнённые почвы привело к полному угнетению растений, а на почвах скверов снизило их массу, уменьшило длину корней и стеблей. В то же время внесение в почву питательного раствора улучшило развитие растений на загрязнённых почвах и почти не изменило развитие на почвах скверов.

В следующем опыте оценивали влияние на содержание тяжёлых металлов в почве растений вики, райграса, горчицы белой. Несмотря на то что растения поглощали из почв определённое количество тяжёлых металлов, содержание их подвижных форм в почвах при этом не уменьшалось в связи с выделением растениями через корневую систему комплексонов и влиянием на подвижность тяжёлых металлов продуктов разложения органических остатков.

Теоретически при внесении в почву KNO_3 (при поливе почвы) развитие растений должно улучшаться, а следовательно, должен увеличиваться вынос ими из почв тяжёлых металлов. Однако при этом будет увеличиваться и ионная сила раствора, а следовательно, и растворимость осадков. Будет возрастать и влияние растений на растворимость осадков в почве. В связи с вышесказанным валовое содержание тяжёлых металлов в почвах при такой биологической мелиорации должно уменьшаться, а содержание подвижных форм может возрастать. Аналогичные процессы протекают и при поливе почв ЭДТА (комплексом на поливалентные металлы). Однако данный реагент не является источником питания растений, и его влияние на растворимость осадков больше, чем KNO_3 , а на развитие растений меньше. Рассмотренные теоретические закономерности иллюстрируются и данными таблицы 6.

Таким образом, возможны различные способы удаления подвижных форм тяжёлых металлов из верхнего слоя почв, приоритетность использования которых определяется конкретными почвенными, литологическими, гидрологическими условиями и экономическими возможностями. В дополнение

6. Влияние внесения в почвы KNO_3 , ЭДТА и выращивания растений на содержание подвижных форм тяжёлых металлов в почвах (n = 10–30)

Варианты	Cd	Cu	Mn
Вика	1,10±0,21	0,90±0,11	323,5±47,5
KNO_3	0,95±0,10	0,55±0,06	167,7±18,3
ЭДТА	0,81±0,10	3,60±0,4	332,1±38,9
Райграс	0,78±0,19	0,79±0,16	230,7±43,2
Горчица белая	1,20±0,18	1,17±0,53	237,5±36,5
KNO_3 + вика	1,08±0,21	0,70±0,16	212,7±35,1
+ райграс	0,28±0,13	3,90±1,1	113,8±42,3
+ горчица	0,0	2,72±0,8	72,4±31,0
ЭДТА + вика	0,51±0,16	3,60±1,1	373,5±77,2
+ райграс	0,0	1,70±0,5	332,0±67,1
+ горчица	0,0	1,10±0,2	77,9±31,7

к известным способам, с нашей точки зрения, целесообразно добавить следующие:

1) вымывание тяжёлых металлов растворами комплексонов на определённую глубину и затем их осаждение там последующей промывкой почв растворами, содержащими карбонаты, фосфаты, имеющими щелочную среду;

2) удаление из почв за счёт фиторемедиации и поглощения тяжёлых металлов грибами при создании условий для их большей биопродуктивности;

3) регулирование констант обмена в системе почва – корни; корни – надземная часть растений за счёт питательного режима;

4) применение для фиторемедиации видов и сортов растений с большей сорбционной ёмкостью корней к тяжёлым металлам;

5) использование для сорбции тяжёлых металлов сорбентов пролонгированного действия,

учитывая константы равновесия в системе почва – тяжёлый металл и сорбент – тяжёлый металл;

6) уменьшение поступления тяжёлых металлов в растения при внесении в почвы комплексонов из отходов сельскохозяйственного производства, образующих с металлами устойчивые комплексы большой молекулярной массы;

7) электромелиорация почв при создании условий для увеличения подвижности тяжёлых металлов;

8) создание в почвенном профиле геохимических барьеров, препятствующих их поступлению в растения, миграции в грунтовые воды и испарению из почв.

Выбор стратегии при использовании комплекса мероприятий по улучшению состояния городских почв, иногда называемых урбанозёмами, возможен лишь при проведении физико-химического расчета и прогнозирования протекающих процессов для конкретных почв, растений и условий окружающей среды.

Литература

1. Холодова В.П., Волков К.С., Кузнецов В.В. Адаптация к высоким концентрациям солей меди и цинка растений хрустальной травки и возможность их использования в целях фиторемедиации // Физиология растений. 2005. Т. 52. С. 848–858.
2. Иванова Е.М., Волков К.С., Холодова В.П., Кузнецов В.В. Новые перспективные виды растений в фиторемедиации загрязнённых медью территорий // Вестник РУДН. Серия «Агрономия и животноводство». 2011. № 2. С. 28–37.
3. Clemens D. Toxic metal accumulation, Responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants, Biochem., 2006, v. 88, p. 1707–1719.
4. Kramer U. Metal hyper-accumulation in plants, Ann. Rev. Plant Biol., 2010, v. 10, p. 517–534.
5. Савич В.И., Белопухов С.Л., Никиточкин, Филиппова А.В. Новые методы очистки почв от тяжёлых металлов / Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 4. С. 216–218.