

УДК 502/504 : 631.4

С. А. МАКСИМОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»

ГОРОДСКИЕ ПОЧВЫ КАК СОРБЦИОННЫЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ БАРЬЕР НА ПУТИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Рассмотрены барьерные свойства почв на пути вертикальной миграции тяжелых металлов. Используя инженерно-экологические системы и проводя специальные мероприятия на них, можно создавать условия для лучшей промываемости почв.

Геохимические барьеры, сорбция, гидрофизический барьер, барьерные функции почвы, регулирование барьеров, инженерно-экологическая система.

There are considered barrier soil properties on the way of vertical migration of heavy metals. Using engineering – ecological systems and carrying out special actions on them it is possible to create conditions for a better washing of soils.

Geo-chemical barriers, sorption, hydro-physical barrier, soil barrier functions, regulation of barriers, engineering – ecological system.

Проблема загрязнения почв тяжелыми металлами с каждым годом становится все более значимой. Это связано с возрастающей антропогенной нагрузкой на все без исключения компоненты природы.

По данным официального сайта ГПУ «Мосэкомониторинг», в почвенном покрове Москвы преобладают сформированные хозяйственной деятельностью человека урбаноземы. Мощность антропогенно-преобразованной почвенной толщи различна и колеблется от нескольких сантиметров до одного и более метров. Содержание химических элементов в почвах города изменяется неравномерно. Особенно высокая изменчивость характерна для концентраций кадмия, молибдена и меди, коэффициенты вариации которых превышают 200. Широко распространены и активно накапливаются в городских почвах цинк, свинец, медь, ртуть. На уровне фоновых концентраций содержатся молибден, никель, олово, барий, хром, кадмий, бериллий, кобальт и бор. Изуче-

ние почвенного покрова показало, что почвы с умеренно опасным уровнем загрязнения – это 28 % всей территории, почвы с опасным загрязнением занимают 27 % территории Москвы, а почвы с чрезвычайно опасным уровнем – 2 % [1, 2].

Концентрация кадмия в почвах города Москвы варьирует в широких пределах при среднем значении 0,3 мг/кг почвы (при ПДК 2 мг/кг). Наиболее высокая концентрация элемента характерна для Юго-Восточного, Южного и Центрального округов. Загрязнение почв города Москвы кадмием проявлено в большей мере, чем ртутное загрязнение, однако в целом оценивается как невысокое.

Свинец более распространен в почвенном покрове города, среднее его содержание составляет 96,5 мг/кг. На 20 % площади города уровень концентрации свинца в почве превышает значение ОДК (130 мг/кг), а на 5 % территории

концентрация элемента превышает ОДК более чем в два раза. В наибольшей степени загрязнены почвы Центрального административного округа, в наименьшей мере – Западного и Юго-Западного округов [1].

Содержание цинка в почвах города также колеблется. По предварительным результатам мониторинга, средние концентрации указанного металла по сравнению с предыдущими годами возросли, вплотную приблизившись к ОДК (для цинка установлены следующие нормативы: ПДК – 23 мг/кг (подвижные формы) и ОДК для валового содержания – 110 мг/кг). В наибольшей степени загрязнена почва Центрального, Северо-Восточного, Южного, Юго-Восточного и Восточного административных округов (70...80 % площади). Меньше всего загрязнена почва западного сектора города – Северо-Западного, Западного, Юго-Западного административных округов.

Сохранение, улучшение или восстановление городских почв, подверженных наибольшей антропогенной нагрузке, возможно только посредством управления потоками веществ, поступающих в почву, процессами накопления и трансформации веществ в почве и потоками выноса веществ из нее. Данный подход позволяет решать важнейшие экологические проблемы города и оздоровления экологической обстановки в нем.

Для такого целенаправленного, дозированного управления процессами в почвах с целью их очистки, сохранения, улучшения почвенного покрова необходимо создать инженерно-экологические системы двустороннего регулирования потоками поступающих и выносящихся из почв вредных и полезных веществ. Разработка конструкций инженерных систем и мероприятий по восстановлению (рекультивации) или улучшению (мелиорации) почв осуществляется на основе синтеза теории и практики мелиорации, почвоведения, геохимии, ландшафтоведения, теории биогеохимических барьеров техноприродных ландшафтов, учения о поглотительной способности почв [3–7].

При проведении инженерно-экологических мероприятий по улучшению и восстановлению почв, с учетом дозирования воздействия и оценки результатов этого воздействия, необходимо установить некоторые показатели, по величине или изменению которых можно количественно и качественно оценивать

процессы, протекающие в техноприродных системах. К таким показателям можно отнести следующие: время, в течение которого почва или подстилающие грунты эффективно осуществляют свои барьерные функции; буферную сорбционную емкость почвенного или грунтового барьера; изменение влажности почвенной или грунтовой толщи, величину и направление водообмена (поток влаги на нижней границе загрязненного слоя почвы или грунтов); изменение физических и химических свойств почвы; рН почвенного раствора и почвы; интенсивность и источник поступления загрязняющих веществ; концентрацию загрязняющих веществ в поступающих или сбросных (дренажных) водах; содержание и формы тяжелых металлов или загрязняющих веществ в почве; эпюры распределения загрязняющих веществ по глубине загрязненного слоя; положение уровня грунтовых вод и пр.

Набор показателей, по величине и характеру изменения которых можно оценивать и прогнозировать воздействие, в каждом конкретном случае может быть неодинаковым. Совокупность требований к приведенным показателям определяет режим управления барьерными свойствами городских почв (по аналогии с мелиоративным режимом на сельскохозяйственных землях [6]). Под режимом управления барьером понимается диапазон и изменение показателей во времени. В рамках данной статьи рассмотрим некоторые из этих показателей.

Традиционно считается, что почва – органоминеральное пористое тело, содержащее высокодисперсную коллоидную часть, активную почвенную биоту и обладающее сорбционными свойствами, может служить хорошим сорбционным гидрофизическим барьером для различных химических соединений, в том числе веществ органического происхождения, тяжелых металлов и газов. Но так ли беспредельны барьерные свойства почв?

Барьерные свойства почвы как сорбционного гидрофизического барьера могут быть оценены по изменению сорбционной емкости и времени, в течение которого задерживаются загрязняющие вещества.

Для расчета продолжительности существования барьера t (т.е. времени начала загрязнения подстилающего водоносного горизонта тяжелыми металлами) используем формулу Голованова [6],

которая позволяет экспертно оценить совместную работу сорбционного и гидрофизического барьеров:

$$t = \frac{\omega(1 + \alpha)}{\alpha v} (8\lambda + L_B) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{L_B^2}{(8\lambda + L_B)^2}} \right),$$

где ω – объемная влажность грунта, м³ воды/м³ почвы; v – промываемость, т.е. скорость фильтрации воды в аэрированном слое грунтов, м/сут; коэффициент изотермы сорбции, $\alpha = 1/\Gamma_n$, для Pb, Cd, Zn соответственно 0,15, 0,2...0,4, 0,05...0,4; λ – параметр дисперсии грунта, характеризующий степень раздробленности твердой фазы, м (для легкого суглинка, тяжелого суглинка и глины составляет соответственно 0,1...0,2; 0,2...0,5; 0,5...1,0); L_B – мощность гидрофизического сорбционного барьера, м.

Расчеты выполнены для Pb, Cd, Zn тяжелых металлов, обладающих достаточно высокой технофильностью различных типов почв (легко-суглинистых, суглинистых и глинистых) и разной мощностью почвенной толщи. Коэффициент полноты техногенного использования металлов составляет соответственно 88, 83, 38 %. Известно, что чем больше технофильность и чем меньше биофильность элемента, тем он опаснее для живых организмов и тем больше его деструкционная активность. Согласно требованиям к почвам населенных мест, изложенным в нормативной

литературе [2], Pb, Cd, Zn относятся к загрязняющим веществам первого класса опасности (таблица, рис. 1).

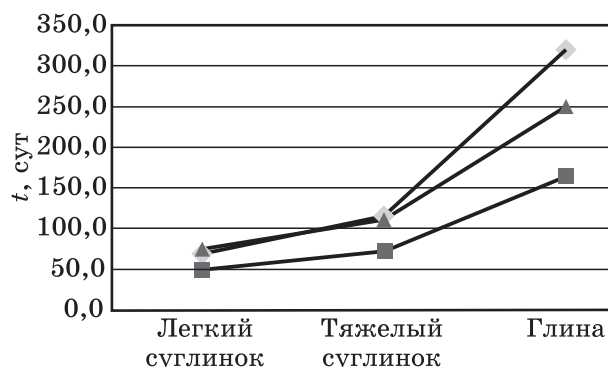


Рис. 1. Время начала загрязнения подстилающих горизонтов тяжелыми металлами Pb, Cd, Zn для различных по механическому составу почв: ◆ – Pb; ▲ – Zn; ■ – Cd

Из таблицы и на рис. 1 видно, что при достаточно высокой влажности почв (близкой к полному насыщению, что чаще всего имеет место при неглубоких грунтовых водах) время начала загрязнения подстилающих горизонтов тяжелыми металлами Pb, Cd, Zn для различных по механическому составу почв составляет всего несколько десятков или сотен дней. Это говорит о том, что сорбционные барьерные свойства почв не беспредельны и спустя довольно небольшое время создает-

Расчет времени начала загрязнения подстилающих горизонтов тяжелыми металлами Pb, Cd, Zn для различных по механическому составу почв

Почва	Мощность почвенной или грунтовой толщи	Параметр дисперсии (раздробленности) твердой фазы грунта	Скорость движения влаги в зоне аэрации	Коэффициент сорбции	Объемная влажность грунта	Время преодоления сорбционного барьера
	L_B , м	λ , м	v , м/сут	α , б/р	ω , м ³ воды/почвы м ³	t , сут
Pb						
Легкий суглинок	1,5	0,15	0,02	0,15	0,4	69,8
Тяжелый суглинок	1,5	0,3	0,009	0,15	0,45	115,0
Глина	1,5	0,75	0,002	0,15	0,55	319,5
Cd						
Легкий суглинок	1,5	0,15	0,02	0,3	0,4	49,3
Тяжелый суглинок	1,5	0,3	0,009	0,3	0,45	72,2
Глина	1,5	0,75	0,002	0,3	0,55	164,2
Zn						
Легкий суглинок	1,5	0,15	0,02	0,2	0,4	75,1
Тяжелый суглинок	1,5	0,3	0,009	0,2	0,45	110,0
Глина	1,5	0,75	0,002	0,2	0,55	250,0

ся ситуация, когда почва, безусловно, замедляет скорость вертикальной миграции тяжелых металлов, но становится лишь транзитной областью на их пути.

Проникая в подстилающие грунты, загрязняющие вещества могут быть изолированы на некоторое время в них, а могут попасть в подстилающие водоносные горизонты и вместе с потоками грунтовых вод принять активное участие в латеральной миграции, распространяя при этом область загрязнения.

Другая серия расчетов показывает то, как зависит время начала загрязнения подстилающих горизонтов тяжелыми металлами Pb, Cd, Zn от влажности почвы в полутораметровом слое (для суглинистых почв).

На рис. 2 видно, что при влажности в диапазоне от максимальной молекулярной влагоемкости (ММВ) до полной влагоемкости время начала загрязнения подстилающих горизонтов тяжелыми металлами изменяется от десятков суток до нескольких сотен суток; при влажности почвы, близкой к ММВ, время увеличива-

ется до нескольких лет; при влажности в диапазоне от ММВ до МГ (максимальной гигроскопичности почвы) время начала загрязнения горизонтов, подстилающих полутораметровый суглинистый слой почвы, составляет: для свинца – около семи лет, для цинка – пять лет, для кадмия – около трех лет. Таким образом, очевидно, что в засушливые годы или периоды времени скорость вертикальной миграции существенно снижается, а во влажные, когда промываемость почвы увеличивается, возникает существенная опасность загрязнения грунтовых вод и подстилающих горизонтов.

Сорбционная емкость почвы как барьера на пути вертикальной миграции тяжелых металлов определяется, прежде всего, емкостью почвенного поглотительного комплекса – совокупностью нерастворимых в воде мелкодисперсных минеральных, органических и органо-минеральных соединений, образовавшихся в процессе почвообразования. В состав почвенно-поглотительного комплекса входят соединения SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , продукты синтеза

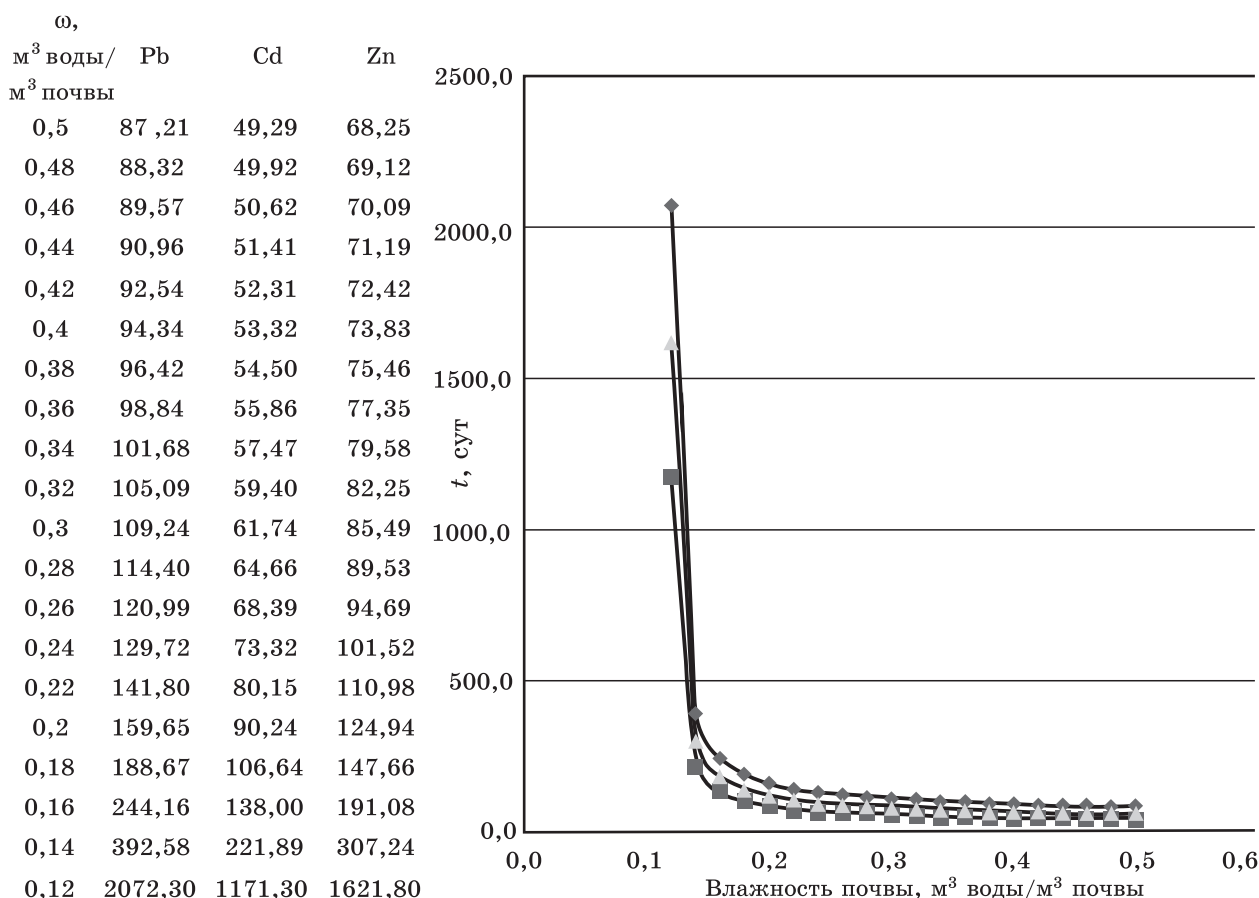


Рис. 2. Время начала загрязнения подстилающих горизонтов тяжелыми металлами для различных значений влажности в полутораметровом слое (для суглинистых почв): \blacklozenge —Pb; \blacktriangle — Cd; \blacksquare — Zn

их коллоидных гидратов, образующихся вследствие взаимной коагуляции, а также гумусовые вещества в свободном состоянии и соли гуминовых кислот и фульвокислот. По данным Н. И. Горбунова, для дерново-подзолистых почв емкость почвенного поглотительного комплекса может составлять 50...60 мг-экв/100 г почвы [8].

Как отмечают исследователи, емкость почвенного поглотительного комплекса зависит от физических и химических свойств почвы, гидротермического режима почв, рН почвенного раствора и почвы, активности почвенной биоты, температуры и даже старения почвенных коллоидов со временем и под действием ультрафиолета и т.п. В том случае, когда собственной сорбционной емкости почвы недостаточно для самоочищения, вносят сорбенты. Доза внесения сорбентов для устранения токсического действия тяжелых металлов составляет 10...20 т/га, или 1...2 кг/м². После внесения сорбентов в зависимости от дозы внесения общая емкость сорбции увеличивается до 250 мг-экв/100 г почвы.

Увеличивая сорбционную емкость почвенных горизонтов, внося сорбенты, мы создаем условия для более активного перевода ионов тяжелых металлов из раствора в связанное неподвижное состояние, но существует и обратная сторона процесса, которая представляет достаточно серьезную проблему. Это десорбция – процесс, когда различные микроэлементы из химически, физически или биологически связанного состояния переходят в раствор в составе почвенного поглотительного комплекса в результате ионного обмена, например: переход из связанного состояния в почвенный раствор ионов, входящих в структуру кристаллических решеток первичных минералов, в результате изоморфного замещения; десорбция микроэлементов из остатков почвенной биоты в раствор, происходящая в результате катаболизма. Для управляемой промываемости почв целесообразно создать в почве искусственные условия.

Для мелиорации или рекультивации городских почв необходимо создавать инженерно-экологические системы, которые включают следующие блоки: блок подачи воды и сорбентов в почву (блок полива и фертигации); блок комплексного регулирования и управления режимами работы системы (включая сбор метеоданных, данных о состоянии почвы и

растений); блок перехвата и очистки избыточных или промывных вод (дренирующие пласты, дренажные линии и сооружения, система очистки дренируемых вод).

Такие системы обеспечивают мелиоративный режим путем целенаправленного управления совокупностью естественных или искусственных барьеров и потоками веществ в почвах. Системы могут быть полностью автоматизированными, могут работать в условиях открытого или закрытого грунта и в некотором роде являются мелиоративными Hi-tech технологиями.

Для обеспечения прогнозируемых результатов мероприятий по улучшению, восстановлению или сохранению почвенного покрова в условиях города можно также активно разрабатывать и внедрять искусственные почвенные конструкции [9, 10].

Выводы

С целью дозированного управления процессами в почвах для очистки, сохранения, улучшения почвенного покрова необходимо создать инженерно-экологические системы двустороннего регулирования.

Совокупность требований к приведенным показателям, характеризующим почвенные процессы, определяет режим управления барьерными свойствами почв.

Проведенные расчеты показывают, что барьерные свойства почвы не беспредельны. Почвы, особенно легкие или маломощные, не являются непроницаемым вертикальным сорбционным гидрофизическим барьером, поскольку время, в течение которого почва может препятствовать вертикальной миграции тяжелых металлов в подстилающие горизонты и грунтовые воды, измеряется всего несколькими днями или несколькими десятками дней. Так, время проникновения Pb, Cd, Zn сквозь полутораметровую толщу легкосуглинистых и суглинистых почв в подстилающие горизонты изменяется от десятков суток до нескольких сотен суток.

После и в процессе заполнения сорбционной емкости в почве протекают процессы десорбции (возврата сорбированных веществ обратно в раствор). При внесении дополнительных доз сорбентов это особенно увеличивает количество подвижных форм тяжелых металлов и усугубляет общую экологическую ситуацию. Поэтому, используя инженерно-

экологические системы и проводя специальные мероприятия на них, необходимо создавать условия для лучшей промываемости почв, перехвата и последующей очистки дренажных вод.

1. Официальный сайт ГПУ «Мосэкомониторинг». Дата обновления 16.04. 2011. – URL: <http://www.mosecom.ru> (дата обращения 15.04.2011).

2. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы: СанПиН 2.1.7.1287-03; утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 16.04. 2003; дата введения: 15. 06. 2003. – 11 с.

3. Гедройц К. К. Учение о поглотительной способности почв. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: Сельхозгиз, 1933. – 207 с.

4. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. – М.: Высшая школа. 1989. – 598 с.

5. Ландшафтоведение: учеб. пособие для вузов/ А. И. Голованов [и др.]. – М.:

КолосС, 2009.

6. Мелиорация земель/ А. И. Голованов [и др.]. – М.: КолосС, 2011. – 823 с.

7. Голованов А. И., Пестов Л. Ф., Максимов С. А. Геохимия техноприродных ландшафтов. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2006. – 201 с.

8. Почвоведение/ Под ред. В. А. Ковды, Б. Г. Розанова. – М.: Высшая школа, 1988. – Ч. 1. – 400 с.

9. Курбатова А. С., Савченко Е. Г. Почва для почвы// ЭКОREAL. – 2007. – № 12. – С. 12–15.

10. Шейн Е. В. О почвах естественных и почвенных конструкциях // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7. – № 10. – С. 17–21.

Материал поступил в редакцию 13.12. 10. *Максимов Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент*

Тел. 8 (963) 762-36-22

E-mail: s.a.maksimov@mail.ru

УДК 502/504 : 636.6

А. С. ОВЧИННИКОВ, М. М. БУБЕНЧИКОВ, А. А. ПАХОМОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия»

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕЛИОРАЦИИ В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье приведена характеристика современного состояния гидромелиоративного комплекса Волгоградской области. Рассмотрены основные направления дальнейшего развития.

Мелиорация, оросительная система, реконструкция, лиманное орошение, орошаемое земледелие, плодородие.

The article characterizes the present state of the hydraulic complex of the Volgograd area. There are considered main directions of further development.

Irrigation, irrigation system, reconstruction, flooding irrigation, land cultivation, fertility.

Устойчивое развитие сельского хозяйства в засушливых климатических условиях на территории Волгоградской области невозможно без проведения оросительной мелиорации.

Мелиоративное имущество Волгоградской области в технологическом плане

представляет единый комплекс, в который входят федеральные головные насосные станции и гидротехнические сооружения с напорными трубопроводами, магистральными каналами, а также перекачивающие и подкачивающие насосные станции, сеть межхозяйственных и внут-