

УДК 550.423

Никитина М.В., Попова Л.Ф.

Поморский государственный университет имени М.В. Ломоносова (г. Архангельск)

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ГОРОДСКИХ ЛАНДШАФТОВ

M. Nikitina, L. Popova

Pomor State University Named After M. Lomonosov (Arkhangelsk)

TRANSFORMATION OF MOBILE FORMS OF METALS IN THE SOILS OF URBAN LANDSCAPES

Аннотация. В статье анализируется содержание трансформационных (обменных, комплексных и специфически сорбированных) форм тяжёлых металлов на примере меди, цинка и свинца в почвах урболодшафтов (промышленном, селитебном, лесном и луговом) г. Архангельска. Производится оценка состояния загрязнённых почв по выявлению не столько увеличения в них общего содержания металлов, сколько установлению изменений их подвижности, которая оценивалась путем определения доли каждой трансформационной формы, полученной с использованием селективных вытяжек, от общего количества потенциально подвижных форм. Выявлены общие закономерности в распределении и миграции тяжелых металлов (свинца, цинка и меди) в почвах урболодшафтов.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, подвижные формы, урболодшафты, почва.

Abstract. The article analyzes the content of the forms (exchange, complex, and specifically sorbed) of heavy metals by the example of copper, zinc and lead in the urban soils of Arkhangelsk. It assesses the state of contaminated soils to identify not only the increase the total metal content, but the changes in their mobility. Evaluation has been made by determining the proportion of each form of transformation obtained by selective extracts from the total number of potentially mobile forms. General regularities in the distribution and migration of heavy metals (lead, zinc and copper) in the soils have been identified.

Key words: heavy metals, mobile forms, urban landscapes, soil.

Одним из наиболее характерных и экологически значимых процессов антропогенного преобразования городских ландшафтов является изменение их микроэлементного состава [3, 124]. При этом городские почвы рассматриваются как депонирующая среда, аккумулирующая техногенные загрязнения за многолетний период и позволяющая оценить степень загрязнения территории города, например, тяжёлыми металлами (ТМ). Однако оценка экологического состояния загрязнённых почв должна сводиться к выявлению не столько увеличения в них общего содержания металлов, сколько установлению изменений их подвижности [5, 99].

Направление миграции металлов и степень их токсичности определяется в первую очередь химической формой, в которой они присутствуют в почве, и прочностью связи с почвенными компонентами. В понятие «подвижные формы» входят разные как по доступности, так и по подвижности соединения, поэтому необходимо разделение этой группы форм на более мелкие. Выделяют три основные трансформационные формы соединений: обменные, комплексные и специфически сорбированные. Степень их доступности для растений уменьшается в ряду: *обменные* > *комплексные* > *специфически сорбированные*. Для извлечения этих

форм используется схема фракционирования, представленная в табл. 1.

Фракционный состав подвижных форм ТМ на примере цинка, меди и свинца оценивался путем определения доли каждой формы, полученной с использованием селективных вытяжек, от общего количества потенциально подвижных форм, которые извлекаются 1N HNO₃. Исследования проводились в почвах основных урболов ландшафтах г. Архангельска: промышленном, селитебном, лесном и луговом. В промышленном ландшафте преобладают пустыри и территории заводов, АЗС, АТП, которые располагаются пятнами в селитебном ландшафте. Преобладающие почвы – реплантозёмы, встречаются урбанозёмы и урбоестественные почвы. В их почвенных профилях часто присутствует верхний горизонт, состоящий из пыли, песка, соли с дорог, частичек шин и осадка от выхлопных газов автотранспорта. Крупные блоки селитебных ландшафтов сконцентрированы в центральной части города, мелкие – достаточно линейно вдоль реки Северная Двина, приурочены к транспортным магистралям. Наиболее распространены здесь некультуренные газоны. В селитебном ландшафте часто встречаются почвы старых огородов во дворах одноэтажных частных домов, а на пустырях, ближе к территории промышленного ландшафта, во дворах ма-

лоэтажной деревянной застройки, – урбоестественные почвы. В отличие от почв промышленного ландшафта, здесь отсутствует поверхностный слой пыли с дорог. Луговые агроландшафты в основном представлены сенокосами (как правило, с подсевом трав) и выгонами, реже – пашнями и дачными огородами. Основные площади луговых ландшафтов находятся в ведении сельскохозяйственных предприятий, мелиорированы открытым дренажом и используются как база кормовых угодий для животноводства. На сеяных и естественных кормовых угодьях ранее вносили известковые и минеральные удобрения, проводили боронование, фрезерование, что могло несколько изменить естественные свойства почв. Лесные ландшафты хаотично разбросаны островками во всех частях города. Почвы лесного ландшафта представлены в основном высокозольным торфом. Антропогенное воздействие проявляется, как правило, в захламлении, на некоторых территориях наблюдается несанкционированная вырубка. Определение металлов проводилось атомно-адсорбционным методом на приборе «Спектр-5» в 2 – 5 повторностях на наиболее типичных для данных ландшафтов пробных площадях.

Доля потенциально подвижных форм металлов от их валового содержания показана на рис. 1.

Таблица 1

Методика выполнения параллельной схемы фракционирования (разработанная Т.М. Минкиной, Г.В. Мотузовой и др.[6, 811])

Фракция	Экстрагент	Соотношение почва : раствор	Условия экстрагирования
Общий запас ионов, способных к обмену	1 N CH ₃ COONH ₄ , pH =4,8	1 : 5	1 мин. взбалтывать, оставить на 18ч.
Связанная с органическим веществом почвы в форме комплексов	1% раствор ЭДТА в CH ₃ COONH ₄ , pH =4,8	1 : 5	1 мин. взбалтывать, оставить на 18 ч.
Обменные формы и специфически сорбированные соединения с гидроксидами и оксидами Fe, Mn, Al	1 н. HCl	1 : 10	Взбалтывать 1 ч.

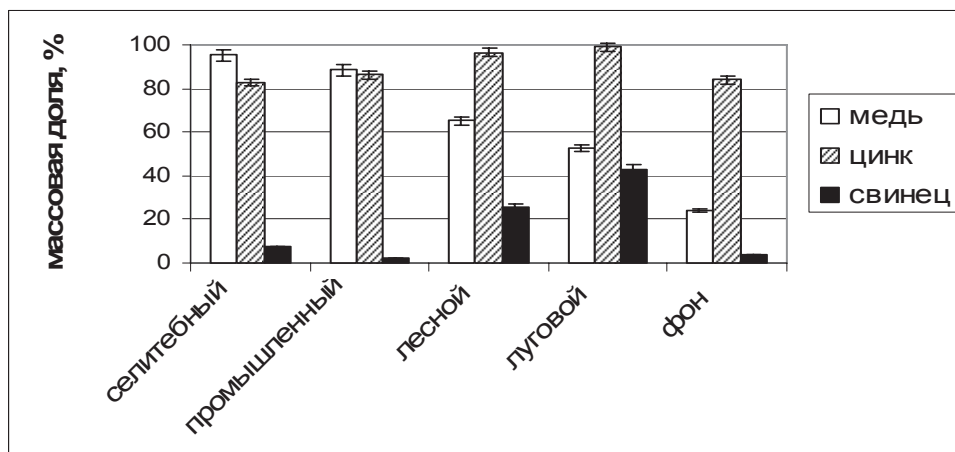


Рис.1. Массовая доля (%) потенциально доступных форм металлов от их валового содержания в почвах урболандшафтов г. Архангельска

Таблица 2

Содержание подвижных фракций ТМ в почвах урболандшафтов г. Архангельска

Ландшафт	Горизонт	Форма нахождения металла								
		Медь			Свинец			Цинк		
		Обменные	Комплексные	Специфически сорбированные	Обменные	Комплексные	Специфически сорбированные	Обменные	Комплексные	Специфически сорбированные
Фон	Ad	22,3	35,0	50,3	14,3	26,8	64,2	6,1	24,0	72,6
	A1	22,8	40,0	45,2	13,0	34,7	58,7	5,7	34,7	60,9
	B	20,0	31,9	48,8	9,6	23,3	71,2	8,1	60,9	57,4
Селитебный	Uha2	2,1	38,1	57,3	6,1	9,7	9,4	25,9	26,9	36,7
	U↑a2	2,4	39,8	54,4	26,2	29,0	28,1	19,0	20,2	40,9
	DUa3	0,6	17,4	29,0	80,4	80,6	78,1	10,9	18,2	29,5
Промышленный	Ad	20,0	50,8	58,0	8,1	26,1	67,1	37,6	51,6	53,7
	Ud	32,9	84,3	74,4	7,2	27,1	67,2	58,1	61,4	75,8
	U↑↓	44,6	50,1	84,7	5,1	26,0	70,1	51,0	72,3	65,7
Лесной	A1	35,1	44,9	49,4	13,0	18,5	72,8	20,9	22,8	41,6
	B2	37,4	41,5	41,5	22,1	32,0	54,0	22,1	27,1	49,6
	BC	18,6	23,6	23,6	14,0	32,5	60,5	17,7	33,3	41,1
	C	55,8	21,9	21,9	9,2	14,9	83,7	20,8	24,2	41,1
Луговой	A	54,1	20,5	41,1	5,2	5,6	8,1	39,4	41,4	45,5
	B	36,8	39,1	43,8	27,6	30,4	40,7	47,5	55,9	60,8
	C	41,1	44,9	54,7	68,4	63,9	53,3	47,5	51,5	68,5

В техногенно-антропогенных ландшафтах – промышленном и селитебном, в отношении потенциальных запасов металлов наиболее подвижным является медь, тогда как в природно-антропогенных ландшафтах и почве фоновой территории, которая находится в 30 км от Архангельска и не испытывает антропогенного воздействия, наиболее подвижен цинк.

В почвах фоновой территории наибольшее количество меди (> 48%) присутствует в малоподвижной специфически сорбированной форме (табл.2), что объясняется исследованиями, опубликованными в работе Н.С. Касимова [2, 280] и Ю.А. Мажайского [4, 127]. Так как в фоновых районах содержание Cu в среднем составляет $7,4 \pm 1,0$ мг/кг, она находится в необменно-зафиксированной форме в связи с низкой концентрацией в почвенном растворе. В почвах лугового, промышленного и лесного ландшафтов валовое содержание этого металла увеличивается, и доля обменных форм также увеличивается. Однако для селитебного ландшафта, где содержание меди в почвах максимально ($31,9 \pm 12,8$ мг/кг), доля обменных форм крайне низка (по всему профилю не превышает 3%). В этом ландшафте медь в большей степени находится в специфически сорбированном состоянии, что обусловлено прочным связыванием её с почвенно-поглощительным комплексом (ППК). Особенно высока подвижность меди в торфяных почвах лесного ландшафта. В связи с низким содержанием глины отсутствует поглощение этого элемента за счёт ППК, а слабая степень разложенности торфа не позволяет сорбировать металл органическим веществом.

Аналогичное распределение трансформационных форм характерно и для свинца. По данным Ю.А. Мажайского [5, 140], медь и свинец близки по химическим свойствам и тяготеют к образованию специфических связей с компонентами ППК.

Миграция этих элементов в почвенном профиле фоновой территории показывает относительно равномерное распределение трансформационных форм. В луговом ландшафте

с глубиной содержание обменных форм в почвах уменьшается, и происходит фиксация металлов как за счёт образования комплексных соединений с органическим веществом, так и за счёт сорбции их на оксидах и гидроксидах железа, алюминия, марганца. Такая же тенденция характерна и для торфяных почв лесного ландшафта, что объясняется увеличением доли глинистых компонентов вниз по профилю и, соответственно, их сорбционной способности. В подзолистых почвах лесного ландшафта происходит снижение обменных форм металлов вплоть до материнской горной породы и увеличение специфически сорбированных форм, что, по всей видимости, объясняется увеличением доли соединений железа, алюминия и марганца, которые вымываются в нижние горизонты в условиях промывного водного режима почв.

В промышленном ландшафте для данных металлов характерно увеличение доли специфически сорбированных форм вниз по профилю, но не за счёт фиксации обменных, а за счёт уменьшения доли комплексных соединений.

Распределение цинка по почвенному профилю лугового и лесного ландшафтов относительно равномерно, и наибольший процент форм в данных ландшафтах представлен специфически сорбированными. Вниз по профилю фоновой территории происходит фиксация цинка за счёт образования органо-минеральных комплексов, а в селитебном ландшафте – за счёт специфической сорбции почв.

Таким образом, рассматриваемые элементы по степени подвижности в отношении актуальных запасов на фоновом участке располагаются в ряд $Pb \approx Zn > Cu$. Несмотря на то, что ряд селективности связывания ТМ поглощающим комплексом почвы имеет вид: $Pb > Cu > Zn$, из-за низкого содержания обменных форм меди ведущую роль в подвижности занимает свинец. Для почв селитебного ландшафта, где отмечается достаточное содержание валовых форм меди, данный ряд соблюдается: $Pb > Cu > Zn$. В лесном и луговом ландшафтах ряд подвижности составляет Pb

> Zn > Cu. Свинец также является наиболее подвижным, что, по мнению Ю.А. Алексева [1, 119], связано с особенностями строения его иона: из-за большого радиуса ($R_{Pb} = 0,126$ нм, $R_{Cu} = 0,080$ нм, $R_{Zn} = 0,060$ нм) связывание его ионов с ППК наименее эффективно. В промышленном ландшафте наиболее подвижна медь: $Cu > Pb > Zn$, что может быть объяснено высокой опесчаненностью почв и, как следствие – низким содержанием глинистых частиц, способных к сорбции.

Выявленные закономерности имеют экологическое значение, т. к. позволяют прогнозировать процессы трансформации почвенных компонентов, ответственных за закрепление металла в почве, и возможность их вторичной мобилизации, а следовательно, и количество его поступления в растительный покров.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Алексеев В.А., Суворинов А.В., Власова Е.В. Металлы в окружающей среде. Лесные ландшафты Северо-Западного Кавказа. М.: Университетская книга, 2008. 264 с.
2. Касимов Н.С., Королёва Т.В., Проскураков Ю.В. Биогеохимия городских ландшафтов (на примере г. Тольятти) // Экогеохимия городских ландшафтов. М.: МГУ, 1995.
3. Клименьев А.И. Геоэкологическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий (на примере г. Оренбурга). Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 181 с.
4. Мажайский Ю.А. Агроэкология техногенно загрязнённых ландшафтов. Смоленск: Маджета, 2003. 384 с.
5. Минкина Т.М. Соединения тяжелых металлов в почвах Нижнего Дона, их трансформация под влиянием природных и антропогенных факторов: дис. ...докт. биол. наук. Ростов-на-Дону, 2008. 172 с.
6. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г., Крыщенко В.С., Манджиева С.С. Формы соединений тяжёлых металлов в почвах степной зоны // Почвоведение. 2008. №7.