

УДК 631.416.8(571.6)

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К АВТОТРАССЕ****Тимофеева Я.О.***Биолого-почвенный институт Дальневосточного отделения Российской академии наук,  
Владивосток, e-mail: timofeeva@biosoil.ru*

Выполнены исследования по изучению влияния выбросов автотрассы федерального значения на содержание тяжелых металлов в прилегающих почвах и почвенных новообразованиях – железо-марганцевых конкрециях. Получены данные об относительном распределении валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах и конкрециях превышает природный геохимический фон. Максимальное накопление тяжелых металлов установлено в верхнем, гумусово-аккумулятивном горизонте почв. Интенсивность поступления и повышенное содержание тяжелых металлов провоцирует усиление накопления элементов в конкрециях. В железо-марганцевых конкрециях ярко выражена аккумуляция Co, Mn, Pb, Ni, Cr. Показано, что конкреции являются своеобразными депонентами почвенной системы, которые оказывают существенное влияние на перераспределение тяжелых металлов в почвенном покрове.

**Ключевые слова:** экология почв, тяжелые металлы, железо-марганцевые конкреции**HEAVY METALS IN SOILS ADJACENT TO MOTORWAY****Timofeeva Y.O.***Institute of Biology and Soil Science, Far Eastern Branch, Russian Academy of Science, Vladivostok,  
e-mail: timofeeva@biosoil.ru*

The influence of motorway emissions federal importance on content heavy metals in soils and soil new formation – iron-manganese nodules have been studied. Data on the relative distribution of the total and potentially available compounds of heavy metals in soils and nodules are obtained. Concentrations of heavy metals in soils and nodules greater than the natural geochemical background. The maximum accumulation of heavy metals found in the upper humus-accumulative horizon of soils. High content and intensity of the proceeds of heavy metals provokes an increase accumulation of elements in the nodules. In the iron-manganese nodules accumulation of Co, Mn, Pb, Ni, Cr were pronounced. It is shown that iron-manganic nodules play the role of specific depositors in the soil system, affect the redistribution of heavy metals in the soil cover.

**Keywords:** ecology of soils, heavy metals, iron-manganese nodules

Современные формы и виды техногенного воздействия на почвенный покров весьма разнообразны. Исследования, проведенные в последние 20 лет, показали, что в мировом балансе загрязнений половина (54%) относится к автомобильному транспорту. Выбросы автомобильного транспорта в России составляют около 22 млн т в год [5]. Почвенный покров прилегающих к автомагистралям территорий служит накопителем пыли и твердых частиц, поступающих с выбросами отработанных газов бензиновых и дизельных двигателей, продуктами износа шин и тормозных колодок, сыпучими и пылящими грузами и т.д. Из общего количества транспортно-дорожных выбросов около 75% распределяется на поверхности почв [1, 5].

Набор тяжелых металлов, поступающих в составе транспортно-дорожных потоков, весьма разнообразен (Zn, Cd, Cu, Ni, Cr), наиболее распространенным и токсичным транспортным загрязнителем считается Pb. Загрязнение поверхности почвы транспортными выбросами накапливается постепенно, в зависимости от числа проходов транспортных средств, и сохраняется длительное время даже после ликвидации дороги. В почве тяжелые металлы взаимодействуют с ком-

понентами и оставляют последствия этого взаимодействия, которые не редко приводят к сокращению продуктивности экосистем и представляют реальную опасность для человека. Одна из наиболее характерных особенностей почв проявляется в естественной способности к самоочищению и детоксикации. Естественная устойчивость почв к воздействию потоков с не свойственной для природы концентрацией тяжелых металлов зависит от ряда факторов (от содержания высокодисперсных минеральных частиц, гумусовых веществ, реакции среды и т.д.), среди которых особое место занимают почвенные железо-марганцевые конкреции. Конкреции являются неотъемлемыми компонентами и важными индикаторами многих процессов, происходящих в почвах. Характерная особенность конкреций – аккумулирующая способность, приводящая к ограничению миграции определенного набора тяжелых металлов [7, 8, 9].

Несмотря на достаточно большой объем информации о содержании тяжелых металлов в почвах, прилегающих к автотрассам, до настоящего времени остается не ясным, насколько прочно тяжелые металлы, поступающие в составе автотранспортных выбросов, задерживаются почвой, и какое

участие в этом процессе принимают почвенные железо-марганцевые конкреции. Решение указанных задач послужило основной целью настоящих исследований.

### Материалы и методы исследований

Район проведения работ охватывает юго-восточную часть Ханкайско-Уссурийской равнины (131°57,1' с.ш. – 43°48,5' в.д.). Почвенный покров представлен темногумусовыми подбелами. Опытный материал отобран на расстоянии 13 м от дорожного полотна автотрассы федерального значения М-60. Обследование проводилось в середине сентября, когда уровень транспортной нагрузки наиболее высок, вследствие широкого использования индивидуального транспорта и отсутствия спада его эксплуатации, связанного с периодом летних отпусков. Часы наблюдений занимали промежуток с 8:00 часов до 14:00. В транспортном потоке преобладали легковые автомобили (более 80%). Средняя интенсивность транспортного потока составляет 234 авт./ч. Из них легковых автомобилей – 188 авт./ч; грузовых автомобилей – 21 авт./ч; автобусов – 25 авт./ч.

Отбор образцов проводился на разной глубине по почвенным генетическим горизонтам. Конкреции выделяли из почвы методом мокрого просеивания через мелкочастистые капроновые сита. Дальнейшую очистку конкреций проводили электромагнитным сепаратором марки 138Т. Определение элементного состава (Mn, Zn, Ni, Co, Pb, Cr, Cu, Cd) почв и конкреций выполнено на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре EDX-800 («SHIMADZU», Япония) и атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Optima 2100 DV («Perkin Elmer», США). В опытном материале было определено содержание валовых (общих) и кислото-

растворимых (доступных и потенциально доступных для растений) форм тяжелых металлов по стандартным почвенным методикам [2].

Для оценки степени накопления тяжелых металлов в исследуемых образцах были использованы региональные кларковые (средние) содержания элементов в почвах [4]. По результатам определения валового содержания рассчитывали коэффициент накопления ( $K_x$ ), показывающий, во сколько раз интенсивность процесса накопления элементов в конкрециях опережает интенсивность их накопления во вмещающей почвенной массе. Для выделения техногенной составляющей в общем содержании тяжелых металлов определен коэффициент техногенности ( $K_m$ ) [3].

На выбранном участке было заложено 6 разрезов, которые находились друг от друга на расстоянии 1 км вдоль дорожного полотна. Определение каждого элемента проводили в трехкратной повторности. Все полученные аналитические данные подвергали статистической обработке, уровень значимости не превышал 5% ( $\alpha < 0,05$ ) [6].

### Результаты исследований и их обсуждение

Техногенные потоки, в состав которых входят тяжелые металлы, вдоль исследуемого участка автотрассы оказывают заметное влияние на эколого-геохимическую обстановку почв прилегающих территорий. Превышение кларковых концентраций в почвах отмечено по ряду элементов, при этом максимальное накопление установлено в верхнем, гумусово-аккумулятивном горизонте (табл. 1).

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в почвах, прилегающих к автотрассе (мг/кг)

Элемент	Региональный кларк в почвах	Горизонт, глубина (см)			
		A1 0-16	A1B 16-23	B1 23-39	B2g 39-79
Mn	1510	1290/501	1130/429	1124/573	1013/520
Zn	70	75/2	36/1	22/0,5	24/0,7
Ni	46	158/18	62/11	66/3	33/3
Co	22	31/15	18/7	18/5	16/5
Pb	32	91/26	54/8	39/5	37/7
Cr	66	61/9	60/7	58/7	58/8
Cu	20	137/18	62/9	56/10	63/10
Cd	0,6	1,6/0,3	0,8/0,1	0,8/0,1	0,5/0,1

Примечание. В числителе – валовое (общее) содержание элемента; в знаменателе – содержание кислоторастворимой формы.

Pb во всех горизонтах исследуемых почв присутствует в количестве, превышающем кларк в 1,5–3 раза. С глубиной наблюдается плавное снижение его концентрации, что не характерно для темногумусовых подбелов с другим типом природопользования. При этом даже в нижней части профиля уровень концентрации элемента выше кларковой

величины. Согласно шкале экологического нормирования, верхняя часть почвенного профиля характеризуются большим, средняя и нижняя повышенным содержанием этого элемента, что соответствует невысокому уровню загрязнения [5]. Загрязненность почв Cu также невысока, но содержание элемента по всему профилю определяется

как высокое и очень высокое, выше регионального кларка в 3–7 раз. Профильное распределение Cu обнаруживает 2 пика максимального содержания в верхнем и нижнем горизонте. Концентрация валовых Cd и Ni в почвах в 1,5–3 раза больше фоновых значений, с продвижением в глубь профиля снижается до величины ниже кларковой. Содержание Cd в верхних и средних горизонтах также характеризуется как высокое и очень высокое, хотя общий уровень загрязнения остается небольшим. Самые большие значения Zn, Co, Cr обнаружены в горизонте A1. Превышение кларковых значений для этих элементов отмечается не более чем в 1,4 раза. В нижележащих горизонтах их содержание снижается. Содержание Mn ниже кларка.

Общей особенностью исследованных почв, является увеличение содержания кислоторастворимой фракции тяжелых металлов, за исключением Mn и Zn, в горизонте A1 (см. табл. 1). В верхней части почвенного профиля 47% Co, 30% Pb, 18%

Cd содержится в виде кислоторастворимых соединений. Содержание кислоторастворимых форм Ni, Cr, Cu колеблется от 11 до 15%. Максимальное содержание Mn приурочено к нижней части почвенного профиля и составляет 50% от общего содержания. Повышение общего содержания и подвижности большей части тяжелых металлов в верхней части почвенного профиля, несомненно, обусловлено близким расположением автотрассы и активным воздействием транспортных выбросов. В таких условиях трансформации подвергаются даже те элементы, валовое содержание которых не превышает фоновых значений.

Влияние автотранспорта на локальную изменчивость почвенного элементного состава оказывает значительное воздействие на состав железо-марганцевых конкреций. Конкреции содержат повышенное количество Co (превышает кларк в горизонте A1 в 20 раз), Pb (в 14), Cu (в 9,8), Ni (в 7 раз), Mn, Cr, Cd (в 3,5 – 4,5 раза) (табл. 2).

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в железо-марганцевых конкрециях почв, прилегающих к автотрассе (мг/кг)

Элемент	Горизонт, глубина (см)			
	A1 0-16	A1B 16-23	B1 23-39	B2g 39-79
Mn	7001 (5,4)	6346 (5,6)	5870 (5,2)	6732 (6,6)
Zn	49 (0,6)	9 (0,2)	6 (0,2)	6 (0,2)
Ni	327 (2,1)	181 (2,9)	146 (2,2)	112 (3,4)
Co	310 (9,8)	215 (11,6)	239 (12,9)	91 (5,6)
Pb	305 (3,5)	319 (5,9)	176 (4,5)	154 (3,7)
Cr	168 (2,7)	139 (2,3)	102 (1,6)	79 (1,4)
Cu	183 (1,3)	90 (1,4)	64 (1,1)	78 (1,2)
Cd	2 (1,3)	1 (1,2)	0,8 (1)	0,4 (0,9)

Примечание. В скобках – коэффициент накопления элементов в конкрециях.

Несмотря на значительное превышение фона количество Pb, Cu, Cd по шкале экологического нормирования соответствует умеренному уровню загрязнения [5]. Конкреции гумусово-аккумулятивного горизонта так же, как вмещающий мелкозем, характеризуются самым высоким содержанием всех исследуемых элементов. Приоритетность в накоплении тяжелых металлов конкрециями не отличается от установленной ранее [7, 8]. Уровень накопления Co преобладает над остальными элементами, ярко выражена аккумуляция Mn, Pb, Ni, Cr (табл. 2). Железо-марганцевые конкреции исследованных почв являются очагами накопления Cd. Показатель K<sub>x</sub> Cd в двух верхних горизонтах профиля увеличивается

и незначительно превышает 1. Активными накопителями Mn, Co, Pb, Cr, Cu, Cd являются новообразования, сформированные в гумусовом (A1) и переходном горизонтах (A1B). Интенсивность концентрации Ni увеличивается с продвижением в глубь почвенного профиля. Накопления Zn в конкрециях не происходит.

Абсолютное содержание кислоторастворимых форм Mn, Ni, Co, Pb, Cr, Cu в конкрециях в несколько раз превышает почвенное (рис. 1).

Однако величина их относительно содержания, выраженная в% от валового, указывает на то, что по сравнению с вмещающей почвенной массой в железо-марганцевых конкрециях снижается доля

кислоторастворимых соединений Mn, Ni, Co, Cr, Cd. Содержание Zn и Cd в конкрециях ниже, чем в почве и в ряде случаев оценивается как «следовое», кислоторастворимую фракцию Cd в конкрециях нижних горизонтов профиля определить и вовсе невозможно. Профильное распределение кислоторастворимой формы элементов в конкрециях

не всегда соответствует почвенному и определяет некоторые независимые, отличительные свойства почвенных новообразований. Так, кислоторастворимыми формами Mn, Cr обогащены конкреции гумусово-аккумулятивного горизонта. Содержание Co, Pb и Cu увеличивается в конкрециях нижней части профиля (см. рис. 1).

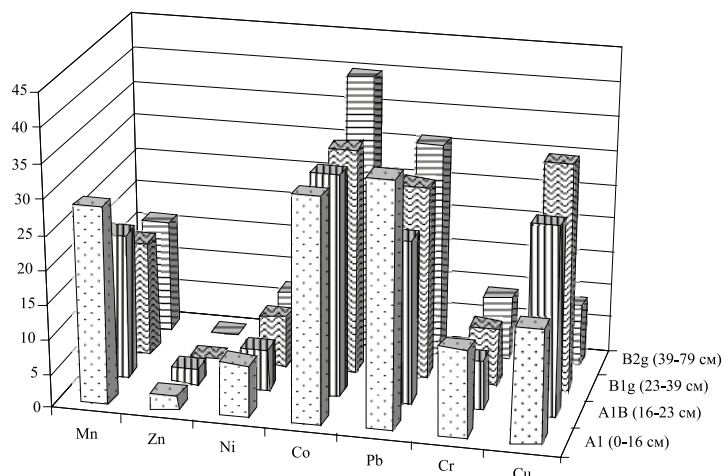


Рис. 1. Содержание и профильное распределение кислоторастворимых форм тяжелых металлов в железо-марганцевых конкрециях темногумусовых подбелов (% от валового содержания)

Вычленение техногенной составляющей в общем потоке тяжёлых металлов в исследуемых почвах и конкрециях выполнимо на основании расчёта коэффициента техногенности ( $K_m$ ). Этот показатель позволяет выделить долю технофильных тяжёлых металлов в биогеохимических циклах миграции прямым путем, без сравнения с фоновыми концентрациями, чем обе-

спечивает нахождение зависимости между размером  $K_m$  и уровнем антропогенного воздействия даже при незначительном загрязнении [3]. Расчет  $K_m$  проводился для Pb, Cr, Cu и Cd в пределах гумусово-аккумулятивного горизонта как наиболее информативной части профиля в отношении антропогенного преобразования химического состава (рис. 2).

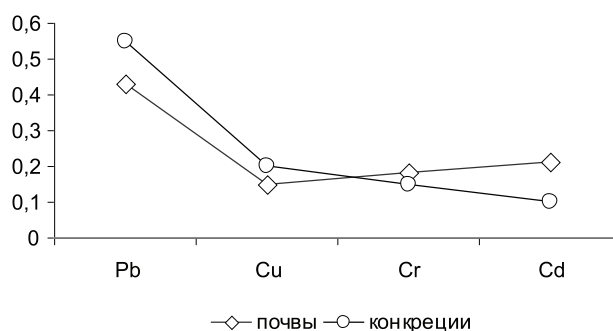


Рис. 2. Коэффициент техногенности элементов в почвах и железо-марганцевых конкрециях

Элементный ряд составлен из основных загрязнителей, присутствующих в темногумусовых подбелах в количестве, превышающем среднее региональное содержание. При высоком уровне техногенного воздействия и вовлечении большого объема поступающих элементов в почво-

образовательные процессы значения  $K_m$  больше 1. Данные, представленные на рис. 2, свидетельствуют о том, что, несмотря на явное превышение кларковых величин, никакого существенного техногенного загрязнения в почвах не наблюдается.

### Заключение

Полученные результаты указывают на устойчивость темногумусовых подбелов к техногенной трансформации. Вклад железо-марганцевых конкреций в этот процесс сопровождается усилением участия конкреций в аккумуляции и инактивации тяжелых металлов с увеличением техногенной нагрузки на почву. Различия в способности конкреций фиксировать отдельные элементы отражаются на значениях величин  $K_x$  и  $K_m$ , которые, с одной стороны, указывают на идентичные свойства конкреций в накоплении определенного набора тяжелых металлов и снижении подвижности этих элементов по сравнению с вмещающими почвенными горизонтами. С другой, выявляют способность конкреций «адаптироваться» к поступлению продуктов техногенеза и увеличивать объемы аккумуляции элементов, которые в природных условиях накапливаются гораздо в меньших количествах или вовсе не накапливаются.

### Список литературы

1. Амбарцумян В.В. Экологическая безопасность автомобильного транспорта / В.В. Амбарцумян, В.Б. Носов. – М.: Научтехлитиздат, 1999. – 208 с.
2. Булатов А.И. Справочник инженера-эколога по методам анализа загрязнителей окружающей среды. Ч. 2: Почва / А.И. Булатов, П.П. Макаренко, В.Ю. Шеметов. – М.: Недра-Бизнесцентр, 1999. – 634 с.
3. Васильева Л.И. Формы тяжелых металлов в почвах урбанизированных и заповедных территорий / Л.И. Васильева, В.Б. Кадацкий // Геохимия. – 1998. – № 4. – С. 426–429.
4. Голов В.И. Содержание микроэлементов в почвах Приморья // Характеристика агроземов Приморья. – Уссурийск, 2002. – С. 145–155.
5. Евгенев И.Е. Автомобильные дороги и окружающая среда / И.Е. Евгенев, Б.Р. Каримов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. – 174 с.
6. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 344 с.
7. Тимофеева Я.О. Накопление и фракционирование микроэлементов в почвенных железо-марганцевых конкрециях различного размера // Геохимия. – 2008. – № 3. – С. 293–301.
8. Тимофеева Я.О. Железо-марганцевые конкреции как накопители тяжелых металлов в некоторых почвах

Приморья / Я.О. Тимофеева, В.И. Голов // Почвоведение. – 2007. – № 12. – С. 1463–1471.

9. Latrill C. Physical speciation of trace metals in Fe-Mn concretions from a rendzic lithosol developed on Sinemurian limestone (France) / C. Latrill, F. Elsass, F. van Oort, L. Denaix // Geoderma. – 2001. – Vol. 100. – P. 127–146.

### References

1. Ambartsumyan V.V. Ecologicheskaya bezopasnost avtomobilnogo transporta [Environmental safety of road transport] / V.V. Ambartsumyan, V.B. Nosov. Moscow, Nauchtechtizdat. 1999. 208 p.
2. Boolatov A.I. *Spravochnik injenera-ecologa po metodam analiza zagryazniteley okrujayushey sredy. Ch. 2. Pochva*. [Directory of environmental engineers on methods of analysis environmental contaminants. P.2. Soil] / A.I., Boolatov P.P. Makarchenko, V.Yu. Shemetov. Moscow, Nedra-Bisnescentr, 1999. 634 p.
3. Vasilyeva L.I., Kadatsky V.B. *Geochemistry*, 1998, no 4, pp. 426–429.
4. Golov V.I. *Soderzhanie microelementov v pochvah Primoriya* [The content of trace elements in soils of Primorye] / V.I. Golov (Kharakteristika agrozemov Primoriya). Ussuriisk, 2002. pp. 145–155.
5. Evgeniev I.E. *Avtomobilnye dorogi i okruzhayuchaya sreda* [Highways and Environment] / I.E. Evgeniev, B.R. Karimov. Moscow, Moscow Univ. Pub., 1997. 174 p.
6. Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrics] / G.F. Lakin. Moscow, Visshaya shkola, 1990. 344 p.
7. Timofeeva Ya.O. *Geochemistry International*, 2008, Vol. 46, no 3, pp. 293–301.
8. Timofeeva Ya.O., Golov V.I. *Eurasian Soil Science*, 2007, Vol. 40, no. 12, pp. 1308–1315.
9. Latrill C. Physical speciation of trace metals in Fe-Mn concretions from a rendzic lithosol developed on Sinemurian limestone (France) / C. Latrill, F. Elsass, F. van Oort, L. Denaix // *Geoderma*. 2001. Vol. 100. pp. 127–146.

### Рецензенты:

Голов В.И., д.б.н., главный научный сотрудник сектора биогеохимии, Биолого-почвенный институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток;

Пуртова Л.Н., д.б.н., заведующая сектором органического вещества почв, Биолого-почвенный институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток.

Работа поступила в редакцию 29.10.2013.