

*Бечина И. Н.* Накопление и перераспределение тяжелых металлов в почвах г. Новодвинска / И. Н. Бечина, Л. Ф. Попова, А. И. Васильева, Ю. С. Коробицина // Научный диалог. – 2013. – № 3(15) : Естествензнание. Экология. Науки о земле. – С. 7–25.

---

---

УДК 550.423+504.064.2

## **Накопление и перераспределение тяжелых металлов в почвах г. Новодвинска**

И. Н. Бечина, Л. Ф. Попова, А. И. Васильева,  
Ю. С. Коробицина

В данной статье рассматриваются особенности загрязнения почв г. Новодвинска, который является частью Архангельской промышленной агломерации, тяжелыми металлами, наиболее опасными с точки зрения почвенных загрязнителей (медь, цинк, свинец, кадмий, ванадий, никель, марганец, кобальт и ртуть). Приведены данные о валовом содержании тяжелых металлов в поверхностном слое (0–20 см) основных типов почв города (урбаноземах и реплантоземах), а также данные о распределении Cu, Zn и Pb по почвенному профилю этих почв. Рассчитанные на основе этих данных коэффициенты концентрации и суммарный показатель загрязнения указывают преимущественно на техногенный характер загрязнения почв городами тяжелыми металлами.

Ключевые слова: тяжелые металлы; почва; валовое содержание; урбаноземы; реплантоземы; техногенное загрязнение.

Экосистема любого города ежедневно испытывает серьезное техногенное напряжение вследствие развития промышленности, деятельности предприятий теплоэнергетики, увеличения транспортной нагрузки и муниципальных отходов в городе и т. д.

Почвенный покров города подвержен особой экологической опасности. Именно в нем происходит активное накопление загрязняющих веществ и их перенос в другие среды (воздух, растения, почвенная биота и грунтовые воды). Среди загрязнителей особое место занимают тяжелые металлы (далее – ТМ). Они достаточно широко и в значительных объемах используются в производственной деятельности и представляют серьёзную опасность с точки зрения их биологической активности и токсических свойств. Промышленное загрязнение почв ТМ происходит в основном через атмосферу. На поверхность почвы оседают аэрозоли, пары, пыль, растворимые вещества, принесенные с дождем, снегом.

Объект нашего исследования – почвенный покров г. Новодвинска, одного из промышленных городов Архангельской области, на территории которого находится крупнейший загрязнитель атмосферы – Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат (7,5 % общего выброса загрязняющих веществ по деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности страны) [Промышленная экология, 2009, с. 240], фанерный завод, завод железобетонных конструкций, предприятия теплоэнергетики и развивающаяся транспортная инфраструктура (рис. 1).

Аналізу подвергались почвенные образцы (в слое 0 – 20 см) 30 пробных площадей (ПП) техногенно-антропогенных зон города. Анализируемые почвы относятся к двум типам: урбаноземы и реплантоземы. На 10 ПП анализировалось распределение ТМ (Cu, Zn, Pb) по почвенному профилю. В качестве фоновой была выбрана условно-чистая природная дерновая маломощная легкосуглинистая почва, сформированная на суходольном лугу в 35 км от города Архангельска.

Пробоотбор и пробоподготовка были выполнены согласно ГОСТ 17.4.4.02-84. Определение валового содержания As, Cd,



Рис. 1. Схема расположения источников загрязнения г. Новодвинска

Co, Ni, Mn, V проводилось на базе лаборатории биогеохимических исследований Института естественных наук и биомедицины Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова (ИЕНБ САФУ) рентгенофлуоресцентным методом согласно ПНДФ 16.1.42-04. Hg – методом беспламенной атомизации (холодного пара) по ПНДФ 16.1:2.3:3.10-98, а Pb, Zn, Cu – атомно-абсорбционным методом по ПНДФ 16.1:2.2:2.3.36-02 с привлечением оборудования центра коллективного пользования научным оборудованием (ЦКП НО) «Арктика» САФУ имени М. В. Ломоносова.

Анализ экспериментальных данных (табл. 1) показал, что валовое содержание всех ТМ в почвах города не превышает установленных значений ПДК и ОДК. Оценка загрязнения почв ТМ [Оценка почв и грунтов..., 2001] указывает на то, что почвы города характеризуются как чистые. Исключение составляет ПП № 24 (ул. Ворошилова), где валовое содержание Zn в почве доходит до 2,6 ПДК (слабозагрязненная почва).

Для выявления локальных техногенных аномалий были рассчитаны коэффициенты концентрации  $K_c$ . Значения  $K_c$  (рис. 2–3) указывают на то, что как реплантоземы, так и урбаноземы характеризуются повышенным в сравнении с фоном содержанием Ni, Hg, Pb, Cu и Zn ( $K_c > 1,0$ ).

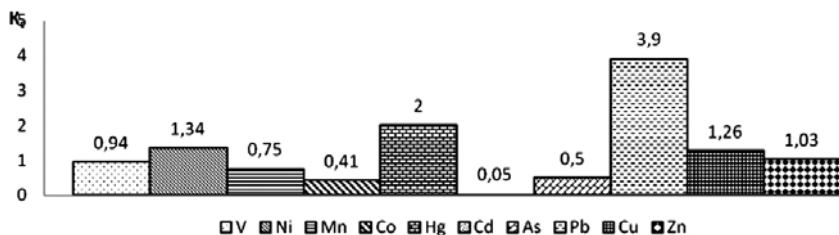


Рис. 2. Средние показатели коэффициентов концентрации ( $K_c$ ) ТМ в урбаноземах

Таблица 1

**Содержание ТМ в поверхностном слое (0–20 см) почв г. Новодвинска, мг/кг**

Элемент	Урбаноземы (n=16)	Реплантаземы (n=14)	Фоновое содержание, мг/кг	ПДК по ЦИНАО, мг/кг [МУ 2.1.7.730-99,1999]	ОДК, мг/кг [Ориентировочно-допусти- мые концентрации, 1991]
V	$\frac{9,4-51,2}{28,3\pm 9,72}$	$\frac{12,4-45,0}{29,91\pm 10,21}$	30,3±1,5	150,0	20,0
Ni	$\frac{11,1-30,3}{19,67\pm 8,22}$	$\frac{13,7-24,3}{18,44\pm 7,76}$	14,7±0,7	85,0	20,0
Mn	$\frac{133,3-459,69}{300,77\pm 24,27}$	$\frac{190,70-1170,54}{380,62\pm 27,41}$	399,0±20,0	1500,0	600,0
Co	$\frac{1,38-3,88}{2,57\pm 0,65}$	$\frac{1,03-4,32}{2,88\pm 0,72}$	6,3±0,3	50,0	12,0
Hg	$< \frac{0,2}{0,2}$	$\frac{0,28-1,68}{0,98\pm 0,29}$	<0,1	2,1	0,1
Cd	$\frac{0,006-0,123}{0,045\pm 0,011}$	$\frac{0,015-0,118}{0,042\pm 0,010}$	<1,0	2,0	0,5
As	$\frac{0,11-0,34}{0,25\pm 0,07}$	$\frac{0,14-1,05}{0,31\pm 0,11}$	0,50±0,03	2,0	2,0
Pb	$\frac{2,08-32,8}{11,07\pm 3,32}$	$\frac{2,35-13,33}{6,39\pm 1,92}$	2,8±0,1	32,0	32,0
Cu	$\frac{1,78-15,72}{9,03\pm 2,26}$	$\frac{3,79-15,00}{8,56\pm 2,14}$	7,4±0,4	53,0	33,0
Zn	$\frac{3,83-223,57}{42,29\pm 10,57}$	$\frac{14,69-54,58}{25,82\pm 6,46}$	35,2±1,8	87,0	55,0

Примечание: в числителе указана минимальная и максимальная концентрация элемента, в знаменателе – средняя концентрация элемента (мг/кг); n – количество участков исследования

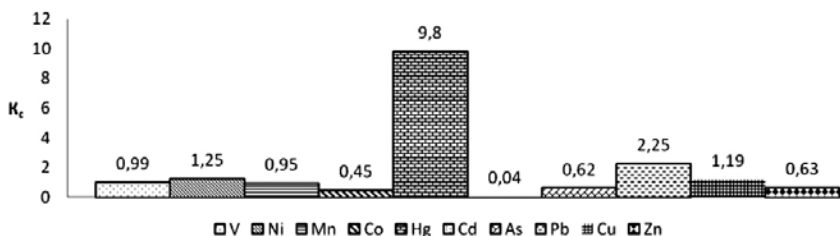


Рис. 3. Средние показатели коэффициентов концентрации (K<sub>c</sub>) ТМ в реплантоземах

Валовое содержание V и Mn в почвах находится на уровне фона (K<sub>c</sub> ≈ 1,0), а Co, Cd, As – ниже фоновых значений (рис. 4, 5, 6, 7, 8, 9).

Высокие концентрации Ni зафиксированы в почвах ПП с высокой транспортной нагрузкой (автозаправка, автобусное депо) и в почвах ПП, находящихся вблизи промышленной зоны (ул. Мельникова). К основным источникам поступления Ni в почву города относятся металлообрабатывающие предприятия (ОАО «Новодвинский завод железобетонных конструкций»), котельные и ТЭС, работающие на мазуте.

Превышение содержания Hg в почвах города по сравнению с фоновыми значениями (в 2 и более раза) наблюдается на всех ПП, а максимальное ее содержание (1,28 мг/кг) установлено в опесчаных реплантоземах на окраине города.

Загрязнение почв Pb отмечается на 93 % ПП, при этом максимальные концентрации данного поллютанта (от 6,33 до 26,52 мг/кг) зафиксированы в районе АЗС и на ПП с повышенной транспортной нагрузкой. Активное использование этилированного бензина в качестве топлива в 1990-х годах послужило причиной привнесения Pb в почвенный покров города. Кроме того, промышленные предприятия (завод железобетонных конструкций, ремонтно-механическая база АЦБК) вносят свой вклад в загрязнение городской среды свинцом.



Рис. 4. Тематическая карта вероятностей превышения фонового валового содержания Pb в почвах г. Новодвинска



Рис. 5. Тематическая карта вероятностей превышения фонового валового содержания Ni в почвах г. Новодвинска



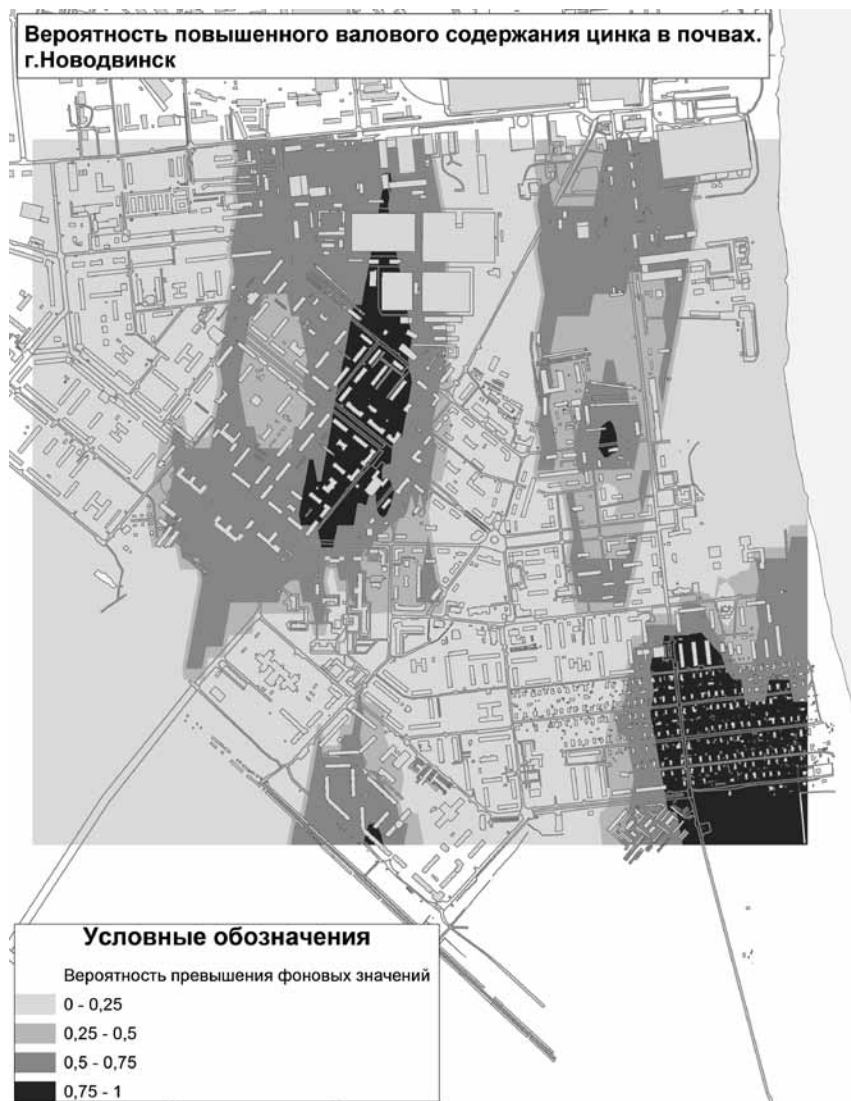


Рис. 6. Тематическая карта вероятностей превышения  
фонового валового содержания Zn в почвах г. Новодвинска



Рис. 7. Тематическая карта вероятностей превышения фонового валового содержания Си в почвах г. Новодвинска

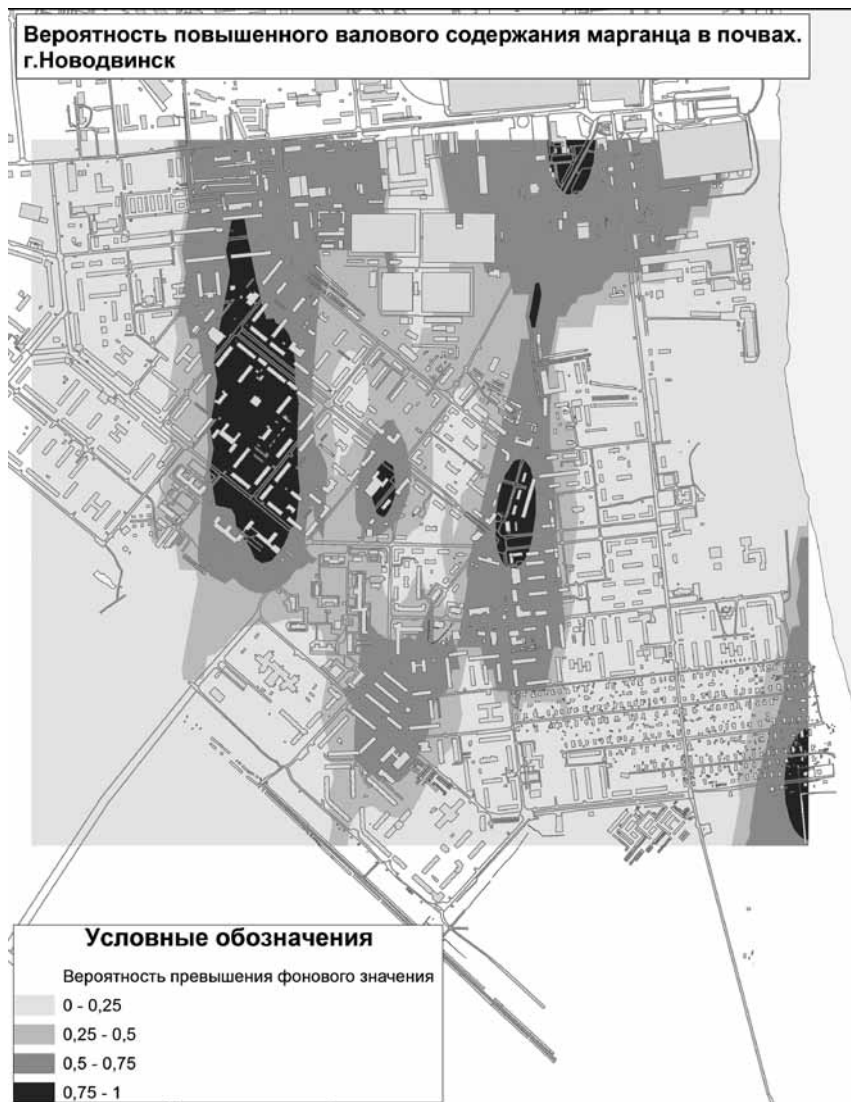


Рис. 8. Тематическая карта вероятностей превышения фонового валового содержания Mn в почвах г. Новодвинска

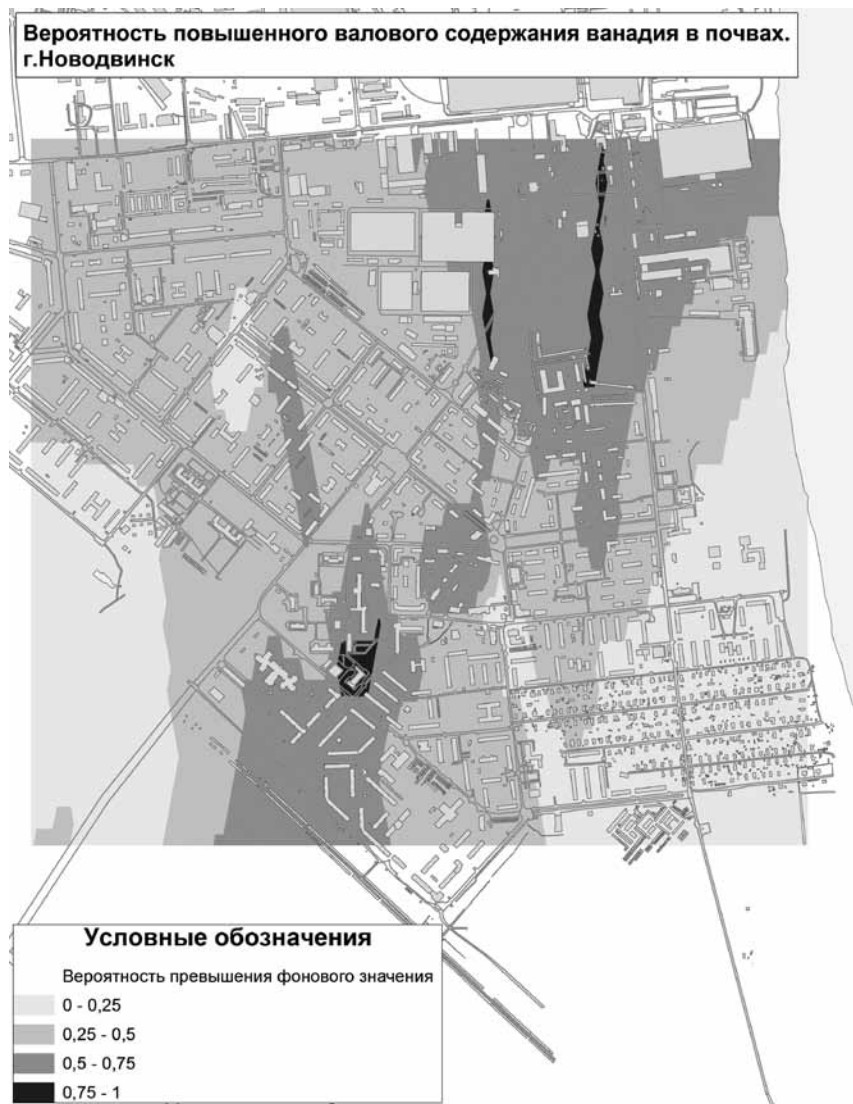


Рис. 9. Тематическая карта вероятностей превышения фонового валового содержания V в почвах г. Новодвинска

Почвы 53 % ПП характеризуются высоким, 47 % ПП – средним содержанием Cu. Высокие концентрации Cu отмечаются в почвах ПП, расположенных преимущественно на объездных дорогах и в промышленной зоне.

Зонами высоких концентраций Zn являются окраины города (17 % ПП), на 7 % ПП содержание Zn в почвах достигает 1,1–2,6 ПДК. Это либо крупная объездная дорога города с повышенной транспортной нагрузкой (ул. Южная), либо территория, расположенная рядом с крупной автостоянкой и ремонтно-строительной базой ЖКХ АЦБК.

В отношении основных поллютантов (Pb, Cu, Zn) корреляционным анализом, установившим прямую зависимость их содержания в почве от транспортной нагрузки ( $r = 0,5 \pm 0,03$ ), было подтверждено, что автотранспорт вносит существенный вклад в загрязнение почв города этими ТМ.

Используя коэффициенты концентрации, был рассчитан суммарный показатель загрязнения  $Z_c$  (СПЗ), который характеризует общий вклад ТМ в загрязнение почв (рис. 10). Для урбаноземов (СПЗ – 11,2) и реплантоземов (СПЗ – 17,2) характерен умеренно опасный уровень загрязнения почв города ТМ [Пилюгина и др., 2007, с. 26], но наибольшее загрязнение испытывают реплантоземы (почвы новостроек), что связано с активной эксплуатацией почвенного покрова (строительство зданий и сооружений, ремонтные работы) и интенсивным транспортным потоком.

На примере Pb, Cu и Zn было проанализировано распределение ТМ в профиле основных типов почв г. Новодвинска (табл. 2).

Из полученных данных (рис. 11) видно, что валовое содержание всех проанализированных ТМ вглубь по почвенному профилю постепенно увеличивается, достигая максимума в нижних горизонтах профиля. Это обусловлено тем, что почвы города мало гумусированные (в среднем содержание гумуса < 3,0 %) легкого грануломе-



Рис. 10. Экологическое зонирование территории г. Новодвинска по категории загрязнения почв ТМ (по валовому содержанию) согласно суммарному показателю техногенного загрязнения  $Z_c$

Таблица 2

**Распределение ТМ в профиле основных типов почв  
г. Новодвинска, мг/кг**

Опре- деля- емый эле- мент	Реплантазем ПП № 8			Урбанозем ПП № 6		
	1 горизонт	2 гори- зонт	3 горизонт	1 гори- зонт	2 гори- зонт	3 горизонт
	$\frac{0-2}{2}$	$\frac{2-7}{5}$	$\frac{7-15}{8}$	$\frac{0-3}{3}$	$\frac{3-27}{24}$	$\frac{27-31}{4}$
Pb	5,53±1,57	5,63±1,69	12,39±3,72	1,42±0,43	4,93±1,48	5,43±1,63
Cu	7,80±1,95	6,87±1,72	13,82±3,46	1,53±0,38	5,88±1,47	9,98±2,50
Zn	28,97±7,24	37,62±9,4	101,96±25,49	9,46±2,37	22,7±5,67	47,94±11,99

трического состава (представлены преимущественно супесями), что не позволяет ТМ при промывном водном режиме, характерном для данного региона, закрепляться в ППК (почвенно-поглощающем комплексе) и накапливаться в верхних горизонтах почв.

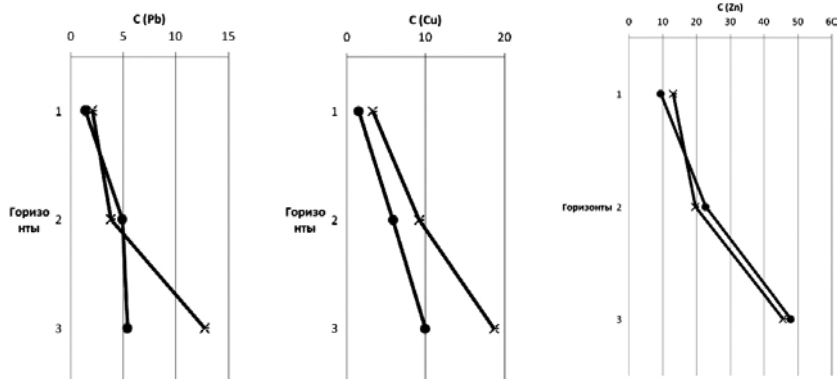


Рис. 11. Распределение ТМ (Pb, Cu и Zn) в основных типах почв г. Новодвинска:

—x— в урбаноземах; —•— в реплантаземах

Корреляционным анализом выявлены прямая зависимость накопления ТМ в почвенных горизонтах от содержания в них фосфора ( $r = 0,51 \pm 0,12$ ). Это обусловлено тем, что подвижные соединения

фосфора, находящиеся в почве (68,82–401,64 мг/кг), переводят ТМ в труднорастворимые формы и способствуют их накоплению в почвенных горизонтах [Корельская, 2005, с. 254–255]. Ранее нами было установлено [Бечина и др., 2012, с. 32], что распределение подвижного фосфора в почвенном профиле меняется скачкообразно, с максимальной аккумуляцией в средних и нижних горизонтах почв.

Накопление свинца в почвах зависит еще и от содержания в них аммонийного азота ( $r = 0,5 \pm 0,02$ ), скорее всего, Pb вытесняет ионы  $\text{NH}_4^+$  из ППК и прочно закрепляется в почве.

Подобное распределение ТМ в почвенной толще может быть связано еще и с тем, что практически на всех проанализированных ПП мало древесно-кустарниковой растительности. Это не позволяет перекачивать ТМ из низлежащих в верхние горизонты почвы для корневого питания растений. Однако встречаются почвы (10 % ПП), в толще которых распределение ТМ иное: максимум содержания ТМ наблюдается в верхних горизонтах. По характеру местности это парки и скверы с густой древесной и травянистой растительностью. В данном случае, напротив, работа корневой системы растений, а также наличие гумуса (3,0–5,3 %) способствуют накоплению ТМ в верхнем горизонте почвенного профиля.

Таким образом, установлено, что почвы г. Новодвинска испытывают техногенно-антропогенное воздействие, вследствие чего происходит накопление ТМ (Ni, Hg, Pb, Cu, Zn) по сравнению с природными (фоновыми) почвами. Это в первую очередь характерно для почв центральной части города и промышленной зоны. Ряд накопления металлов согласно  $K_c$  для урбаноземов выглядит следующим образом:  $\text{Cd} \ll \text{Co} < \text{As} < \text{Mn} < \text{V} < \text{Zn} < \text{Cu} < \text{Ni} < \text{Hg} < \text{Pb}$ , а реплантоземов:  $\text{Cd} \ll \text{Co} < \text{As} \leq \text{Zn} < \text{Mn} < \text{V} < \text{Cu} < \text{Ni} < \text{Pb} \ll \text{Hg}$ . При этом ТМ (Zn, Cu, Pb) аккумулируются в нижних горизонтах почв, что может послужить причиной загрязнения данными пол-



лютантами грунтовых вод. Распределение ТМ по почвенному профилю в условиях промывного водного режима, характерного для данного региона, зависит от физико-химических параметров почв (гранулометрического состава, содержания гумуса, обеспеченности биофильными элементами).

### Литература

1. Бечина И. Н. Особенности накопления и миграции биофильных элементов в почвах города Новодвинска / И. Н. Бечина, Л. Ф. Попова // Экология и геологические изменения в окружающей среде северных регионов : материалы докладов Всероссийской конференции с международным участием (Архангельск, 24–28 сентября 2012 года). – Архангельск : Типография № 2, 2012. – С. 29–33.

2. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест : МУ 2.1.7.730-99 : 2.1.7. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы : введено в действие с 05.04.1999 [Электронный ресурс]. – Москва : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. – 38 с. – Режим доступа : <http://www.dioxin.ru/doc/mu2.1.5.7.730-99.htm>.

3. ГН 2.1.7.020-94, ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2042-06, ГН 2.1.7.2511-09. Оценка почв и грунтов в ходе проведения инженерно-экологических изысканий для строительства. – Москва, 2001.

4. ГОСТ 17.4.4.02-84 Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – Введ. с 01.01.86. – Москва : Изд-во стандартов, 1984. – 7 с.

5. Корельская Т. А. Факторы, влияющие на миграцию тяжелых металлов в системе почва-растение / Т. А. Корельская // Экологические проблемы Севера. – Архангельск : Изд-во АГТУ. – 2005. – С. 254–255.

6. Мотузова Г. В. Экологический мониторинг почв : учебник / Г. В. Мотузова, О. С. Безуглова. – Москва : Академический Проект ; Гаудеамус, 2007. – 237 с.

7. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах (Дополнение № 1 к перечню ПДК и ОДК № 6229-91) ; Гигиенические нормативы. – Москва : Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России. – 8 с.

8. Пилюгина М. В. Экологический биогеохимический мониторинг : критерии, нормативы, коэффициенты : методические рекомендации

/ М. В. Пилюгина, Л. Ф. Попова, Т. А. Корельская. – Архангельск : Изд-во ПГУ, 2007. – 48 с.

9. ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.36-02. Методика измерений валового содержания кадмия, кобальта, марганца, меди, никеля, свинца, хрома и цинка в почвах, донных отложениях, осадках сточных вод и отходах методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии. Утвержден: ФГУ Центр экологического контроля и анализа, 06.08.2002. – Москва, 2002. – 21 с.

10. ПНД Ф 16.1:2.3:3.10-98. Методика выполнения измерений содержания ртути в твердых объектах (почва, компосты, кеки, осадки сточных вод, пробы растительного происхождения) методом атомно-абсорбционной спектрометрии (метод «холодного пара»). Утвержден : Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, 25.06.1998. – Москва, 1998. – 13 с.

11. ПНД Ф 16.1.42-04. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа. Утвержден : ФГУ Федеральный научно-методический центр анализа и мониторинга окружающей среды МПР России, 23.03.2004. – Москва, 2010. – 13 с.

12. *Промышленная экология: учебное пособие* / под ред. В. В. Денисова. – Ростов н/Д ; Москва : Феникс ; MapT, 2009. – 720 с.

© Бечина И. Н., Попова Л. Ф., Васильева А. И., Коробицина Ю. С., 2013

## **Accumulation and Distribution of Heavy Metals in Novodvinsk Soils**

I. Bechina, L. Popova, A. Vasilyeva, Y. Korobitsina

The article covers peculiarities of soil pollution in Novodvinsk – a member of the Arkhangelsk industrial agglomeration – by the heavy metals which are most hazardous in terms of soil pollutants (copper, zinc, lead, cadmium, vanadium, nickel, manganese, cobalt and mercury). The authors introduce data on the total concentration of the heavy metals in the surface layer (0-20 cm) of the main city soil types (urbanozem and replantozem) as well as data on the distribution of Cu, Zn and Pb in these soils' profiles. The concentration ratio and the total pollution index calculated on these data basis point

mainly to the technogenic character of the heavy metal pollution of the city soils.

Key words: heavy metals; soil; total concentration; urbanozem; replantozem; technogenic pollution.

---

**Бечина Ирина Николаевна**, аспирант, Институт естественных наук и биомедицины, кафедра ботаники и общей экологии, Северный (Арктический) федеральный университет (Архангельск), Linki44@yandex.ru.

**Bechina, I.**, post-graduate student, Institute of Natural Sciences and Biomedicine, Department of Botany and General Ecology, Northern (Arctic) Federal University (Arkhangelsk), Linki44@yandex.ru.

**Попова Людмила Федоровна**, кандидат химических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры химии, Институт естественных наук и биомедицины; кафедра химии, Северный (Арктический) федеральный университет (Архангельск), ludap9857@mail.ru.

**Popova, L.**, PhD in Chemistry, senior research scientist, associate professor, Department of Chemistry, Institute of Natural Sciences and Biomedicine, Northern (Arctic) Federal University (Arkhangelsk), ludap9857@mail.ru.

**Васильева Алена Игоревна**, аспирант, Институт экологических проблем Севера Уро РАН (Архангельск), vasilevaalena13@ya.ru.

**Vasilyeva, A.**, post-graduate student, Institute of Ecological Problems of the North of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk), vasilevaalena13@ya.ru.

**Коробицина Юлия Сергеевна**, магистрант, Институт естественных наук и биомедицины, кафедра химии, Северный (Арктический) федеральный университет (Архангельск), Ujka23@yandex.ru.

**Korobitsina, Y.**, Master's degree student, Institute of Natural Sciences and Biomedicine, Department of Chemistry, Northern (Arctic) Federal University (Arkhangelsk), Ujka23@yandex.ru.