

УДК 630*18

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.216

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

*Е.Б. Карбасникова*¹, канд. с.-х. наук, доц.; ORCID: [0000-0003-2850-9362](https://orcid.org/0000-0003-2850-9362)

*О.С. Зальвская*², канд. с.-х. наук, доц.; ORCID: [0000-0002-7520-6295](https://orcid.org/0000-0002-7520-6295)

*О.В. Чухина*¹, канд. с.-х. наук, доц.; ORCID: [0000-0003-0318-4549](https://orcid.org/0000-0003-0318-4549)

¹Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, ул. Шмидта, д. 2, с. Молочное, г. Вологда, Россия, 160555;

e-mail: helen15@yandex.ru, Dekanagro@molochnoe.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: o--s@yandex.ru

Одним из путей нивелирования влияния опасных факторов среды на комфортность проживания в городе признается создание зеленых насаждений целевого состава. Цель данной работы – проанализировать содержание тяжелых металлов в почве и древесных растениях на разной удаленности от автомобильных дорог в урбаносреде (г. Вологда). Для анализа выбраны породы, преобладающие в зеленых насаждениях изучаемого населенного пункта. В большинстве объектов встречается береза пушистая (*Betula pubescens*) и ель колючая (*Picea pungens*), в живых изгородях вдоль дорог наиболее популярен кустарник – карагана древовидная (*Caragana arborescens*). Установлено содержание высокотоксичных поллютантов (кадмия, свинца, цинка, меди, никеля, хрома). В почвах г. Вологды не зафиксировано наличия подвижных форм тяжелых металлов, концентрация которых бы превышала предельно допустимую. Однако содержание цинка и кадмия у автомобильных дорог выше фонового значения для европейской части России. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах по мере удаления от дороги снижается. Такая же тенденция отмечена и для ассимиляционного аппарата исследуемых деревьев и кустарников. В листьях и хвое дендрофлоры больше всего накапливается цинка, второе место занимает медь, третье – свинец. Определено, что карагана древовидная и береза пушистая способны аккумулировать тяжелые металлы в листьях. Выявлено, что коэффициент биологического поглощения выше у таких элементов, как медь, цинк и свинец.

Для цитирования: Карбасникова Е.Б., Зальвская О.С., Чухина О.В. Содержание тяжелых металлов в почве и древесной растительности в условиях городской агломерации // Лесн. журн. 2019. № 5. С. 216–223. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.216

Ключевые слова: тяжелые металлы, экологическая обстановка, загрязняющие вещества, мониторинг, тест-растения.

Введение

Урбанизированная территория содержит большое количество загрязнителей, в том числе тяжелых металлов – ядов, действующих на организм человека на клеточном уровне. К тяжелым металлам относятся металлы переходных групп, атомная масса которых составляет 50 и более единиц. Наиболее токсичны ртуть, олово, кобальт, никель, свинец и хром [1, 5, 10]. Туда входят и физиологически необходимые для живых организмов элементы (цинк, медь, марганец, железо, кобальт, молибден), а также и металлы, действие которых

пока до конца не изучено (свинец, никель, кальций, ртуть). Все обнаруженные в растениях химические элементы так или иначе участвуют в важных физиологических и биохимических процессах [13, 14, 18].

Свинец и цинк – очень опасные для здоровья человека тяжелые металлы. При этом свинец, который поступает в организм с вдыхаемым воздухом, намного токсичнее, чем тот, который мы получаем с пищей или водой [7, 9, 11, 12].

Одним из путей нивелирования влияния опасных факторов среды на комфортность проживания в городе является создание зеленых насаждений целевого состава. Проблема санитарно-гигиенической роли городской дендрофлоры особенно актуализировалась в конце XX – начале XXI в.

Одна из наиболее важных задач при проектировании насаждений в урбаносреде – подбор ассортимента деревьев и кустарников, сохранение их устойчивости и выполнение ими функций по оздоровлению среды, поэтому в условиях городов необходимо учитывать способность древесных растений накапливать тяжелые металлы [2].

Транспорт является основным источником загрязнения природной среды. С увеличением количества автотранспортных средств загрязнение воздуха неуклонно растет. Тяжелые металлы поступают в околоторожное пространство в результате работы двигателей и при других воздействиях (содержатся в материалах автопокрышек, кузовов, подшипников, вкладышей, тормозных масел).

По литературным данным [2, 4], свинец аккумулируется в верхнем (0...5 см) слое почвы. Отходы от движения автомобилей оказывают разнообразное воздействие на растения и почву на полосе шириной 50...100 м и более. Распространение такого влияния зависит от климатических условий района исследования (интенсивность жидких осадков в летний период), дендрологического состава придорожных посадок, биологических особенностей культивируемых видов древесной и кустарниковой растительности и других не менее важных факторов [14, 17, 20].

Необходимо рассматривать систему «почва–растение» как структуру, объединенную потоком химических элементов. В связи с тем, что процессы аккумуляции тяжелых металлов в почве и растениях городской среды тесно связаны, их предлагается исследовать совместно [8, 16, 19].

Цель данной работы – проанализировать содержание тяжелых металлов в почве и древесных растениях на разной удаленности от автомобильных дорог в урбаносреде (г. Вологда).

Объекты и методы исследования

Отбор образцов почвы производился в зеленых насаждениях центральной части г. Вологды согласно рекомендациям ГОСТ 17.4.3.01–17 весной после таяния снега в верхнем слое почвы. Получены образцы для анализа вблизи дороги и на расстоянии 50 м от нее. В качестве контроля была взята почвенная проба за пределами городской черты, на удаленной от автомобильных дорог и промышленных предприятий территории.

Схема размещения мест отбора почвенных образцов приведена на рисунке.

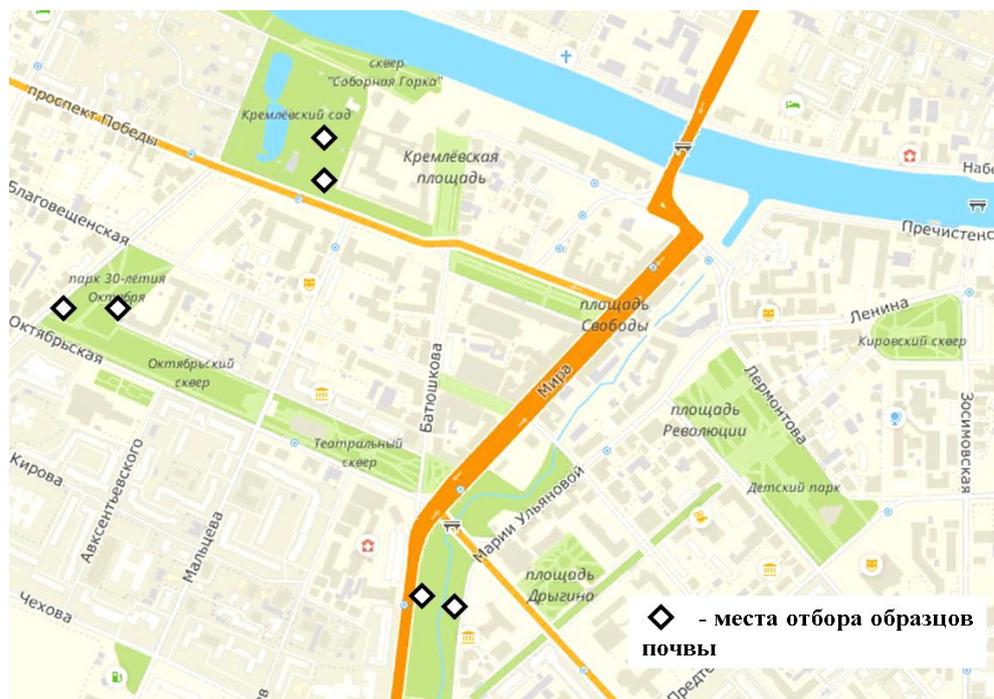


Рис. 1. Места отбора проб в г. Вологда

Fig. 1. Sampling point in Vologda

Для анализа растительного материала выбраны породы, преобладающие в зеленых насаждениях г. Вологды: из лиственных деревьев – береза пушистая (*Betula pubescens*); из хвойных – ель колючая (*Picea pungens*); из кустарников – карагана древовидная (*Caragana arborescens*), наиболее часто встречающаяся в живых изгородях вдоль дорог.

Отбор листьев и хвои выполнен на тех же участках, где были получены образцы почв. Сбор растительного материала производился в сентябре у 15 экземпляров каждой породы на высоте 1,5 м со всех сторон растения. Масса каждого растительного образца, взятого для анализа, составила 0,7 кг при естественной влажности.

Анализ образцов почвы и листвы (хвои) на содержание тяжелых металлов выполнен в ФГБУ «Агрохимцентр «Вологодский» с использованием атомно-абсорбционной спектрометрии с предварительной экстракцией кислотами.

В ходе экспериментов определяли концентрацию тяжелых металлов (кадмия (Cd), свинца (Pb), цинка (Zn), никеля (Ni), меди (Cu), хрома (Cr)), для которых разработаны критерии предельно-допустимых концентраций (ПДК).

В ходе камеральной обработки установлено содержание тяжелых металлов в растительных организмах, характеризующееся коэффициентом биологического поглощения (КБП), равным отношению содержания металла в сухой массе растения к его содержанию в почве [9]. Кроме того, проведен сравнительный анализ с ПДК [3] и фоновыми значениями. В качестве фона использовали данные для дерново-подзолистых почв европейской части России [6]. Для растений сравнивали содержание с усредненными данными для тяжелых металлов в растительности на незагрязненных почвах [4].

Результаты исследования и их обсуждение

Почвы, для которых проведен анализ на содержание подвижных форм тяжелых металлов, относятся к дерново-подзолистому типу и имеют кислую и слабокислую реакцию.

Высокотоксичные поллютанты в почве, согласно ГОСТ 17.4.3.01–17, делятся на три класса опасности. Cd, Pb, Zn относятся к первому (высокому) классу опасности, Ni, Cu, Cr – ко второму (умеренному). Установлено, что содержание тяжелых металлов этих двух групп в почве города (в непосредственной близости от автодороги и на расстоянии 50 м от нее) ниже ПДК или близко к фоновым значениям (табл.1).

Таблица 1

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве (мг/кг)

Место отбора проб	1-й класс опасности			2-й класс опасности		
	Cd	Pb	Zn	Ni	Cu	Cr
Фоновое значение для России	0,01	3,58	12,25	–	1,20	8,75
В Вологодской области (контроль)	0,04±0,002	1,47±0,6	7,10±0,8	–	0,38±0,01	0,86±0,04
Вблизи дороги	0,05±0,002	1,80±0,04	14,10±1,1	3,51±0,5	0,50±0,02	1,02±0,06
На удалении 50 м от дороги	0,04±0,001	1,77±0,8	9,70±1,3	2,67±0,5	0,45±0,02	0,62±0,02
ПДК [3]	0,20	6,00	23,0	4,00	3,00	6,00

Полученные результаты свидетельствуют, что уровень загрязнения почвы тяжелыми металлами не превышает ПДК. В контрольном образце все изученные элементы содержатся в меньшем количестве, чем в урбанизированных почвах. При сравнении содержания подвижных форм тяжелых металлов вблизи дороги и на расстоянии 50 м от нее установлено, что при удалении от источника загрязнения (автомобильной дороги) их количество снижается. Наиболее существенное уменьшение характерно для хрома (на 39 %), цинка (на 31 %) и никеля (на 24 %). Сопоставляя с фоновыми показателями по России, можно утверждать, что в Вологде у кромки проезжей части дороги содержание кадмия и цинка выше фоновых значений для дерново-подзолистых почв.

У растений существует несколько вариантов систем контроля за поступлением токсичных элементов, которые попадают в листья и плоды, оказывая существенное влияние на процессы жизнедеятельности: фотосинтез, дыхание, деятельность ферментов и др. Толерантность к тяжелым металлам контролируется на генетическом уровне, а также в значительной мере зависит от периода онтогенеза растения.

По результатам накопления тяжелых металлов в ассимиляционной части дерева можно расположить в следующие ряды, где в числителе приведены данные для деревьев, расположенных вблизи автодороги, в знаменателе – на удалении 50 м:

береза пушистая	$\frac{Zn}{Zn} \rangle \frac{Cu}{Pb} \rangle \frac{Pb}{Cu} \rangle \frac{Ni}{Cr} \rangle \frac{Cr}{Ni} \rangle \frac{Cd}{Cd}$;
ель колючая	$\frac{Zn}{Zn} \rangle \frac{Cu}{Pb} \rangle \frac{Pb}{Cu} \rangle \frac{Cr}{Cr} \rangle \frac{Ni}{Ni} \rangle \frac{Cd}{Cd}$;
карагана древовидная	$\frac{Zn}{Zn} \rangle \frac{Cu}{Cu} \rangle \frac{Pb}{Pb} \rangle \frac{Cr}{Cr} \rangle \frac{Ni}{Ni} \rangle \frac{Cd}{Cd}$.

Как видно из данных табл. 2, во всех образцах растений больше всего накапливается цинка, меньше – кадмия (более чем в 7 раз ниже фонового значения (нормы содержания в растениях [4]) – 0,78 мг/кг). Второе место по степени поглощения занимает медь, третье – свинец.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в листе и хвое древесных растений (мг/кг) и значение КБП

Элемент	Норма	Ель колючая				Карагана древовидная				Береза пушистая			
		у кромки дороги	КБП	на удалении 50 м	КБП	у кромки дороги	КБП	на удалении 50 м	КБП	у кромки дороги	КБП	на удалении 50 м	КБП
Cu	9,90	0,40± ±0,17	0,80	0,15± ±0,07	0,30	16,90± ±6,74	33,80	8,70± ±3,42	19,20	29,20± ±11,60	58,50	0,28± ±0,12	0,60
Zn	53,30	8,01± ±0,73	0,56	6,1± ±0,55	0,62	81,2± ±7,34	5,75	67,10± ±6,06	6,90	191,20± ±17,27	13,56	19,90± ±1,80	2,05
Pb	4,10	0,34± ±0,07	0,18	0,50± ±0,09	0,28	1,48± ±0,27	0,82	0,95± ±0,18	0,53	0,62± ±0,12	0,34	1,09± ±0,20	0,61
Cd	0,78	<0,01	0,20	<0,01	0,25	0,01	0,20	<0,01	0,20	<0,01	0,20	<0,01	0,20
Ni	8,10	0,025± ±0,01	–	0,03± ±0,01	–	0,34± ±0,07	–	0,13± ±0,03	–	0,29± ±0,06	–	0,04± ±0,01	–
Cr	1,30	0,06± ±0,001	0,05	0,08± ±0,001	0,12	0,45± ±0,07	0,44	0,14± ±0,02	0,22	0,20± ±0,03	0,19	0,07± ±0,01	0,11

Содержание тяжелых металлов в ассимиляционном аппарате при удалении от автодороги уменьшается. Их накопление у лиственных пород (березы пушистой и караганы древовидной) выше, чем у хвойных (ели колючей). Для некоторых элементов (цинка, меди, никеля, хрома) превышение составляет более чем в 2 раза. В случае, если содержание никеля и хрома в листьях березы пушистой вблизи автодороги принять за 100 %, то на удалении 50 м оно составляет соответственно 14,6 и 34,6 %. На удалении 50 м от автодороги содержание свинца, никеля, хрома в листьях караганы древовидной уменьшается на 35,7; 62,1 и 69,9 % по сравнению с показателями для деревьев вблизи проезжей части.

Необходимо отметить высокое содержание цинка в листьях караганы древовидной и березы пушистой в условиях эксперимента, превышающее норму [4]. Кроме того, для данных видов отмечены высокие значения КБП по меди и цинку. Полученные результаты свидетельствуют о том, что карагана

древовидная и береза пушистая в наибольшей мере обладают способностью накапливать тяжелые металлы.

Заключение

В почвах г. Вологды не зафиксировано содержания подвижных форм тяжелых металлов, превышающего ПДК, однако содержание цинка и кадмия у автомобильных дорог выше фонового значения для европейской части России. Количество тяжелых металлов в почвах и растениях уменьшается по мере удаления от автомобильных дорог. Коэффициент биологического поглощения выше для таких элементов, как медь, цинк. Карагана древовидная и береза пушистая способны накапливать тяжелые металлы в листьях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Алексеев С.В., Молчанов А.А. Плодоношение сибирской лиственницы в северных условиях // Советский Север: газ. 1938. № 8. С. 62–72. [Alekseev S.V., Molchanov A.A. Fruiting of Siberian Larch in Northern Conditions. *Sovetskiy Sever*, 1988, no. 8, pp. 62–72].
2. Бабич Н.А., Карбасникова Е.Б., Долинская И.С. Интродуценты и экстразональные виды в антропогенной среде (на примере г. Вологды): моногр. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012. 184 с. [Babich N.A., Karbasnikova E.B., Dolinskaya I.S. *Introduced and Extrazonal Species in the Anthropogenic Environment (On the Example of Vologda)*: Monography. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2012. 184 p.].
3. ГН 2.1.7.2041–06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: гигиенические нормативы. М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с. [GN 2.1.7.2041–06. *Maximum Allowable Concentration (MAC) of Chemical Substances in Soils: Hygiene Standards*. Moscow, Federal Hygienic and Epidemiological Center of Rosпотребнадзор Publ., 2006. 15 p.].
4. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 150 с. [Il'in V.B. *Heavy Metals in the Soil–Plant System*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991. 150 p.].
5. Никаноров А.М., Хоружая Т.А. Экология. М.: Приор, 1999. 304 с. [Nikanorov A.M., Khoruzhaya T.A. *Ecology*. Moscow, Prior Publ., 1999. 304 p.].
6. Обзор фонового состояния окружающей природной среды СССР за 1985 г. / под ред. Ю.А. Израэля, Ф.Я. Ровинского. М.: Гидрометеоздат, 1986. 110 с. [A Review of the Background Environmental Conditions of the USSR for 1985. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1986. 110 p.].
7. Орлов Д.С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высш. шк., 2002. 334 с. [Orlov D.S. *Ecology and Biosphere Protection under Chemical Pollution*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2002. 334 p.].
8. Парибок Т.А., Лейна Г.Д., Сазыкина Н.А., Топорский В.Н., Николаева Т.И., Дьячкова Т.Б. Накопление свинца в городских растениях // Ботан. журн. 1981. Т. 66, № 11. С. 1646–1654. [Paribok T.A., Leina G.D., Sazykina N.A., Toporskiy V.N., Nikolayeva T.I., D'yachkova T.B. Lead Accumulation in Urban Plants. *Botanicheskii Zhurnal*, 1981, vol. 66, no. 11, pp. 1646–1654].
9. Снакин В.В., Кузнецов А.В., Платонов И.Г., Присяжная А.А., Соколов О.А., Хрисанов В.Р., Рухович О.В. Свинец в почвах и растениях России // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов: обз. информ. М., 1988. Вып. 11. С. 73–90. [Snakin V.V., Kuznetsov A.V., Platonov I.G., Prisyazhnaya A.A., Sokolov O.A., Khrisanov V.R., Rukhovich O.V. Lead in Soils and Plants of Russia. *Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov: obzornaya informatsiya*, 1988, vol. 11, pp. 73–90].

10. Филонова Е.Н. О гигиеническом нормировании тяжелых металлов в почвах // Безопасность жизнедеятельности. 2009. № 3. С. 30–35. [Filonova E.N. On the Hygienic Fixing of Heavy Metals in the Soil. *Bezopasnost' zhiznedeatel'nosti* [Life Safety], 2009, no. 3, pp. 30–35].
11. Фомичева Ю.С. Свинец в окружающей среде и его влияние на человека // Материалы междунар. молодеж. экол. форума стран Баренц-региона. Архангельск, 2001. С. 211–212. [Fomicheva Yu.S. Environmental Lead and Its Impact on Humans. *Proceedings of the International Youth Ecological Forum of the Countries of the Barents Region*. Arkhangelsk, 2001, pp. 211–212].
12. Abadin H., Ashizawa A., Stevens Y.-W., Lladós F., Diamond G., Sage G., Citra M., Quinones A., Bosch S.J., Swarts S.G. *Toxicological Profile for Lead*. Atlanta, GA, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US), 2007. 528 p.
13. Antonovics J., Bradshaw A.D., Turner R.G. Heavy Metal Tolerance in Plants. *Advances in Ecological Research*, 1971, vol. 7, pp. 1–85. DOI: [10.1016/S0065-2504\(08\)60202-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60202-0)
14. Antosiewicz D.M. Adaptation of Plants to an Environment Polluted with Heavy Metals. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 1992, vol. 61, no. 2, pp. 281–299. DOI: [10.5586/asbp.1992.026](https://doi.org/10.5586/asbp.1992.026)
15. Kabala C., Chodak T., Szerszen L., Karczewska A., Szopka K., Frateczak U. Factors Influencing the Concentration of Heavy Metals in Soils of Allotment Gardens in the City of Wrocław, Poland. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2009, vol. 18, no. 7, pp. 1118–1124.
16. Kim Y.-Y., Yang Y.-Y., Lee Y. Pb and Cd Uptake in Rice Roots. *Physiologia Plantarum*, 2002, vol. 116, iss. 3, pp. 368–372. DOI: [10.1034/j.1399-3054.2002.1160312.x](https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1160312.x)
17. Lu Y., Zhu F., Chen J., Gan H., Guo Y. Chemical Fractionation of Heavy Metals in Urban Soils of Guangzhou, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2007, vol. 134, no. 1-3, pp. 429–439. DOI: [10.1007/s10661-007-9634-1](https://doi.org/10.1007/s10661-007-9634-1)
18. Macnair M.R. The Genetics of Metal Tolerance in Vascular Plants. *New Phytologist*, 1993, vol. 124, iss. 4, pp. 541–559. DOI: [10.1111/j.1469-8137.1993.tb03846.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03846.x)
19. Maina H.M., Egila J.N., Shagal M.H. Chemical Speciation of Some Heavy Metals in Sediments in the Vicinity of Ashaka Cement Factory, Gombe State, Nigeria. *Journal of Research in Environmental Science and Toxicology*, 2012, vol. 1, iss. 7, pp. 186–194.
20. Vink A.P.A. *Landscape Ecology and Land Use*. New York, NY, Longman, 1983. 264 p.

HEAVY METALS CONTENT IN SOILS AND WOODY VEGETATION OF URBAN AREA

*E.B. Karbasnikova*¹, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ORCID: [0000-0003-2850-9362](https://orcid.org/0000-0003-2850-9362)

*O.S. Zalyvskaya*², Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ORCID: [0000-0002-7520-6295](https://orcid.org/0000-0002-7520-6295)

*O.V. Chukhina*¹, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ORCID: [0000-0003-0318-4549](https://orcid.org/0000-0003-0318-4549)

¹Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, ul. Shmidta, 2, Molochnoe, Vologda, 160555, Russian Federation; e-mail: helen15@yandex.ru, Dekanagro@molochnoe.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: o--s@yandex.ru

Creation of green areas of target composition is one of the ways of levelling the influence of hazardous environmental factors on the comfort of living in the city. The research purpose is content analysis of heavy metals in soils and woody plants at different distances from roads of the urban environment (Vologda). Breeds prevailing in the green areas of the studied settlement were selected for the analysis. Downy birch (*Betula pubescens*) and blue spruce

(*Picea pungens*) are found in a majority of objects; Siberian pea shrub (*Caragana arborescens*) is the most popular shrub in hedges along the roads. The content of highly toxic pollutants (cadmium, lead, zinc, copper, nickel, chromium) has been found. The presence of active forms of heavy metals, the concentration of which would exceed the maximum allowable concentration, has not been recorded in the soils of Vologda. However, the content of zinc and cadmium near the roads is higher than the background value for the European part of Russia. The content of active forms of heavy metals in soils near the road and with distance from it reduces. The same trend was noted for the assimilation apparatus of the studied trees and shrubs. In leaves and needles of dendroflora, zinc accumulates the best of all, copper takes the second place, and lead takes the third place. It was determined that Siberian pea shrub and downy birch are able to accumulate heavy metals in leaves. It was found that the biological absorption factor is higher for elements such as copper, zinc, and lead.

For citation: Karbasnikova E.B., Zalyvskaya O.S., Chukhina O.V. Heavy Metals Content in Soils and Woody Vegetation of Urban Area. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 5, pp. 216–223. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.216

Keywords: heavy metals, environmental situation, pollutants, monitoring, test plant.

Поступила 05.04.18 / Received on April 05, 2018
