

УДК 504.054

НАКОПЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РАСТЕНИЯМИ В СООТВЕТСТВИИ С ЛАНДШАФТНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ ГОРОДА СТАВРОПОЛЯ

Дегтярева Т.В., Титоренко В.А.

ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
Ставрополь, e-mail: dtb.70@mail.ru, titorenko-valya@yandex.ru

Проведен анализ накопления тяжелых металлов растениями города Ставрополя в соответствии с ландшафтной структурой и функциональным зонированием городской территории. Выявлены средние концентрации и пределы колебаний ТМ в растениях фоновой территории, свидетельствующие о биогеохимической специализации видов растений, принадлежащих к разным семействам. Оценена интенсивность вовлечения химических элементов из почвы в биологический круговорот, и рассчитаны коэффициенты биологического поглощения элементов растениями, которые позволяют судить о подвижности химических элементов в почве. Для растений характерна наибольшая интенсивность биологического поглощения из почвы кадмия. На втором месте идет поглощение цинка, затем меди. Менее активно концентрируется и захватывается из почвы свинец. Наиболее выраженным индикатором загрязнения в условиях оказался мох *Pleurosium schreberi*. Все изученные растения наиболее интенсивно загрязнены свинцом.

Ключевые слова: тяжелые металлы, техногенное воздействие, загрязнение

ACCUMULATION OF ELEMENTS PLANTS UNDER LANDSCAPE-FUNCTIONAL STRUCTURE CITY OF STAVROPOL

Degtyareva T.V., Titorenko V.A.

FGAOU VPO «North-Caucasian Federal University»,
Stavropol, e-mail: dtb.70@mail.ru, titorenko-valya@yandex.ru

The analysis of the accumulation of heavy metals by plants in Stavropol in accordance with the landscape structure and functional zoning of the urban area. Revealed average concentrations and limits of variation in plants TM background territory showing biogeochemical specialization plant species belonging to different families. Evaluated the intensity of the involvement of chemical elements from the soil in the biological cycle and biological absorption coefficients are calculated elements by plants, which provide a glimpse of the mobility of chemical elements in the soil. For plants, the highest intensity is characteristic of biological uptake of cadmium from soil. In second place was the absorption of zinc, then copper. Less actively concentrated and captured the lead from the soil. The strongest indicator of pollution in the environment appeared moss *Pleurosium schreberi*. All plants studied most extensively contaminated with lead.

Keywords: heavy metals, technogenic influence, pollution

Изучение накопления тяжелых металлов растениями имеет важное значение в связи с возросшим загрязнением окружающей среды. Живые организмы являются наилучшими индикаторами для определения интенсивности антропогенного воздействия, а также возможностей естественного самовосстановления городских экосистем. Растения нередко служат защитным экраном для городских почв, перехватывая вредные компоненты выбросов промышленных производств, автотранспорта, трансформируя их состав в результате биологического поглощения и минерализации. Они по изменению морфологических свойств (увядание, раннее пожелтение и др.) и биогеохимическим особенностям могут указывать на повышенные уровни загрязнения городской среды тяжелыми металлами.

Цель исследования – изучение особенностей распределения тяжелых металлов в растениях города Ставрополя в зависимости от ландшафтной структуры и функциональных зон, выявление степени техногенного загрязнения.

Материалы и методы исследования

В пределах территории г. Ставрополя по особенностям миграции химических элементов выделяются автономные элювиальные ландшафты плакора структурно-денудационных плато, трансэлювиальные ландшафты склонов структурно-денудационных плато и речных долин, трансаккумулятивные пластовых эрозионно-денудационных равнин [Шальнев, 2007]. Техногенное воздействие проявляется в существовании селитебной, промышленной, лесопарковой, дачной функциональных зон и исторического центра. Ландшафтная структура территории, функциональные зоны в совокупности образуют ландшафтно-функциональную структуру города. Ставрополь располагается в подзоне обыкновенных мицеллярно-карбонатных черноземов с выщелоченными глубоко-карбонатными черноземами. Антропогенная трансформация почв приводит к формированию различных типов урбаноземов. На территории ландшафтов и функциональных зон города выполнено биогеохимическое опробование в количестве 133 проб растений.

Изучены представители различных жизненных форм и семейств. Из древесных – дуб черешчатый *Quercus robur* (листья), из травянистых – пырей ползучий *Elytrigia repens*, а также мох *Pleurosium schreberi*. Выбор данных представителей был определен их широкой распространенностью на территории города и

фоновых участков; по многочисленным публикациям – это виды, обладающие хорошими индикаторными свойствами [Никифорова и др., 1995, Давыдова, 2000 и др.]. Рассматривалось содержание приоритетных загрязнителей, относящихся к группе тяжелых металлов (ТМ): меди, цинка, свинца, кадмия. В качестве урбанизированного фона использовались концентрации микроэлементов в аналогичных видах на территории природно-археологического музея-заповедника «Татарское городище», непосредственно примыкающего к городу.

Результаты исследования и их обсуждение

Средние концентрации и пределы колебаний ТМ в растениях, произрастающих на фоновой территории, свидетельствуют о биогеохимической специализации видов растений, принадлежащих к разным семействам. Газонные злаки по сравнению с другими семействами отличаются низким фоном большинства металлов. Образцы мхов фоновой территории являются относительно концентраторами кадмия, меди, цинка, что говорит об их повышенной требовательности к широкому кругу химических элементов (табл. 1).

Растения, произрастающие в черте города, показали некоторое повышение зна-

чений концентрации в них ТМ. Наиболее высокие уровни содержания металлов отмечаются у мха *Pleurosium schreberi*. Очевидно, здесь есть зависимость также с особенностями морфологического строения самого растения. Сильная изрезанность поверхности и опушенность мхов обуславливают лучшую, чем у других видов растений, способность к механическому захвату твердодвзвешенных частиц, поступающих из атмосферных выпадений. Менее активными концентраторами ТМ оказались листья *Quercus robur*.

Интенсивность вовлечения химических элементов из почвы в биологический круговорот оценена с помощью коэффициента биологического поглощения (Кб), показывающего направленность перераспределения элемента и его обмен между почвенным и растительным компонентами ландшафта. Ряд биологического поглощения элементов для растений в черте города указывает на активное накопление мхом кадмия и цинка ($K_b > 1$), менее энергичное поглощение меди и свинца. *Quercus robur* и *Elytrigia repens* отличаются средним биологическим захватом кадмия, цинка, меди, свинца (табл. 2).

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в растениях, мг/кг абс.сух.вещ.

Элемент	Фоновая территория			Среднее значение в черте города			Min			max			Стандартное отклонение		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Cd	0,17	0,19	0,4	0,41	0,23	1,08	0,11	0,1	0,1	3,7	0,45	2,5	0,6	0,8	5,8
Cu	4,0	3,6	8,1	4,5	3,9	11,6	1,5	1,1	2,2	21	33	86	0,6	0,8	1,2
Zn	14,6	17,7	23	15,6	21,5	28	1,5	5,6	6,9	33	55	93	0,8	1,3	6,9
Pb	1,1	2,3	1,8	1,2	2,8	2,1	0,1	1,0	0,3	15	16	25	0,3	0,1	1,2

Примечание: 1 – *Elytrigia repens*, 2 – *Quercus robur*, 3 – мох *Pleurosium schreberi*

Таблица 2

Ряды биологического поглощения элементов для растений

Объект	Группы элементов	
	Биологического накопления	Биологического захвата
	сильного, Кб 10 – 1,0	среднего, Кб 1 – 0,1
<i>Pleurosium schreberi</i>	Cd (1,5), Zn (1,04)	Cu (0,9), Pb (0,47)
<i>Quercus robur</i>	-	Cd (0,5), Zn (0,45), Cu (0,25), Pb (0,14)
<i>Elytrigia repens</i>	-	Cd (0,57), Zn (0,56), Cu (0,26), Pb (0,16)

Интенсивность и геохимическую контрастность техногенных аномалий в растительном покрове г. Ставрополя характеризует коэффициент техногенной концентрации (Кс). Значение Кс определяется отношением реального (аномального) содержания пол-

лютанта в конкретном природном объекте к его фоновому уровню [Сагет, 1982]. Существование видовой дифференциации в распределении тяжелых металлов определяет различную индикаторную значимость опробованных видов растений и требует

расчета степени аномальности отдельно по конкретным видам. Коэффициент концентрации рассчитывался для средних содержаний в опробованных видах растений в пределах основных родов элементарных ландшафтов и по функциональным зонам.

Накопление ТМ в растениях зависит от приуроченности их места обитания к городским функциональным зонам, определяющим в какой-то степени однотипность техногенных нагрузок и однородность экологических условий для растительного покрова (табл. 3). Растения, произрастающие в промышленной зоне, характеризуются самы-

ми высокими уровнями концентрации и наибольшей контрастностью в содержании микроэлементов. Содержание меди превышает в 2–4 раза содержание в других функциональных зонах. Концентрации цинка находятся в пределах 22,0–86,7 мг/кг, достигая максимальных значений у мхов в пределах трансаккумулятивных ландшафтов эрозионно-денудационных равнин. Не являются единичными максимальные значения 9,4–33,2 мг/кг для свинца, 22–83,8 мг/кг для меди, 1,9–2,1 мг/кг для кадмия, превышающие более чем в 2–10 раз фоновые уровни.

Таблица 3

Содержание микроэлементов в различных функциональных зонах, мг/кг абс.сух.вещ.

Объект	Функциональная зона	Кадмий	Медь	Цинк	Свинец
<i>Elytrigia repens</i> n = 46	Промышленная	0,29	4,5	22,1	3,4
	Селитебная	0,19	3,2	24,5	3,6
	Исторический центр	0,19	3,3	23,1	2,9
	Лесопарковая	0,16	4,3	27,5	1,2
	Дачная	0,17	3,8	19,5	2,4
<i>Quercus robur</i> n = 37	Промышленная	0,37	5,8	30,7	2,25
	Селитебная	0,23	6,1	21,0	2,24
	Исторический центр	0,32	4,2	24,5	2,32
	Лесопарковая	0,15	3,9	19	1,46
	Дачная	0,17	3,8	18,5	1,9
<i>Pleurosium schreberi</i> n = 44	Промышленная	2,1	83,8	86,7	33,2
	Селитебная	1,2	27,5	57,5	26,6
	Исторический центр	0,4	8,3	40,6	15,3
	Лесопарковая	1,5	8,6	48,2	14,5
	Дачная	1,1	9,4	33,5	13,9

Распределение тяжелых металлов в растениях селитебной зоны характеризуется также повышенными миконцентрациями. В пырее содержание кадмия и цинка по основным родам элементарных ландшафтов остается мало контрастным, а медь и свинец более интенсивно накапливаются в условиях трансаккумулятивных и трансэлювиальных ландшафтов. Содержание цинка во мхах селитебной зоны приближается к аналогичному в промышленной зоне. Максимумы концентраций меди (27,5 мг/кг), свинца (26,6 мг/кг), цинка (57,5 мг/кг) у мхов приурочены к трансаккумулятивным ландшафтам эрозионно-денудационных равнин, для которых характерно расположение промышленных предприятий внутри селитебной зоны и многолетнее воздействие бытовых источников загрязнения.

Исторический центр города по уровню концентрирования растениями свинца (6,8 мг/кг) и цинка (40,6 мг/кг) сопоставим

с селитебной зоной. Листья *Quercus robur* более интенсивно накапливают кадмий (0,32 мг/кг), цинк (24,5 мг/кг). В то же время для мхов характерно снижение содержания кадмия, меди, свинца. Это отмечается, однако, лишь в тех образцах, отбор которых производился на расстоянии 150–200 м от дороги. Большая транспортная нагрузка центральной части города приводит к значительному накоплению свинца в газонных злаках (в 2 раза выше фона) и мхах (в 9 раз выше фона).

Растения лесопарковой зоны отличаются неоднородностью. В пырее ползучем содержание кадмия, свинца, меди является околофоновым; значение цинка (27,5 мг/кг) является повышенным (в 2 раза выше фона). Для листьев *Quercus robur* содержание всех рассматриваемых элементов приближается к фоновому, при этом выражено накопление кадмия, меди и цинка вниз по геохимическому сопряжению

ландшафтов. Изученные образцы *Pleuro-siumschreberi* лесопарковой зоны показали высокие уровни кадмия (1,5 мг/кг), цинка (48,2 мг/кг), свинца (14,5 мг/кг). Количество меди близко к фоновому. Максимальные содержания цинка (72,1 мг/кг) и свинца (15,9 мг/кг) были обнаружены в образцах, взятых в районе урочища Ташлянский склон, расположенного вблизи центральной промышленной зоны.

Дачные районы г. Ставрополя имеют повышенное содержание в растениях кадмия и свинца (превышение фона в 1,8 и 3,5 раза). Содержание цинка незначительно превышает фон (в 1,2 раза); медь имеет фоновые значения. В укосах *Elytrigia repens* и листьях *Quercus robur* превышение фонового содержания имеют цинк и свинец. Для мхов дачных районов характерны высокие значения кадмия, цинка, свинца.

Ландшафтно-геохимические особенности территории города оказывают определенное влияние на накопление тяжелых металлов растениями. В укосах *Elytrigia repens* в элювиальных ландшафтах плакора содержание кадмия, меди и свинца превышает фон более чем в 2 раза ($K_c = 2,4 - 2,5$). Максимальная контрастность биогеохимических аномалий на плакоре у *Elytrigia repens* выражена в промышленных зонах и составляет для кадмия 4,5; меди – 3,9; цинка – 2,3; свинца – 5,8. Образцы *Elytrigia repens*, отобранные в лесопарковой зоне плакора, более интенсивно загрязнены медью ($K_c = 3,1$) и цинком ($K_c = 1,9$), чем аналогичные образцы селитебной зоны плакора.

Загрязнение трансэлювиальных ландшафтов склонов структурно-денудационных плато характеризуется мало контрастной аномальностью в *Elytrigia repens* кадмия, меди, цинка (средние значения K_c 1,3-1,6). Значительная контрастность проявляется по свинцу в условиях пологих склонов восточной экспозиции с селитебной застройкой ($K_c = 5$) и историческим центром города ($K_c = 2,3$).

В условиях пластовых эрозионно-денудационных равнин значения K_c в *Elytrigia repens* резко дифференцируется по расположению в функциональных зонах. Загрязнение промышленной зоны кадмием ($K_c = 3,4$) и медью ($K_c = 4,6$) в 2 раза превышает загрязнение в селитебных зонах. В данных ландшафтах максимальные значения превышения фона в пырее выявлены по свинцу ($K_c = 3,3$). Контрастность биогеохимических аномалий в трансэлювиальных ландшафтах речных долин и балок в образцах *Elytrigia repens* выражена по меди ($K_c = 2,4$) и свинцу ($K_c = 2,4$). Загрязнение лесопарковой зоны данных ландшафтов

цинком, медью и кадмием сопоставимо с загрязнением селитебной зоны и достигает одинаковых величин K_c . Мало контрастная аномальность содержания химических элементов в укосах *Elytrigia repens* дачных районов проявляется по всем родам ландшафтов.

Сопоставляя данные значения в плакоре структурно-денудационных плато, следует отметить меньшую выраженность контрастности аномалий кадмия, меди и цинка в образцах *Quercus robur* относительно *Elytrigia repens*. Содержание свинца в селитебной, лесопарковой и дачной зоне данных элювиальных ландшафтов мало контрастно ($K_c = 1,1-1,5$); в то же время в промышленной зоне идет превышение фона по свинцу более чем в 8 раз ($K_c = 8,1$).

Установленные средние значения K_c в листьях *Quercus robur* для трансэлювиальных ландшафтов склонов структурно-денудационных плато равны или несколько снижены относительно автономных элювиальных ландшафтов. Очевидно, преобладание выноса элементов из почвенного покрова территории города в трансэлювиальных условиях выражено в какой-то степени и в растительном покрове. Распределение элементов в листьях *Quercus robur* в условиях пластовых эрозионно-денудационных равнин акчагыльской поверхности выравнивания отличают аномалии меди ($K_c = 5,2$), свинца ($K_c = 7,4$). Данные значения K_c получены в образцах, отобранных на территории, непосредственно прилегающей к железнодорожному вокзалу. В трансаккумулятивных условиях миграции элементов листья *Quercus robur* селитебной зоны загрязнены медью ($K_c = 1,9$) и свинцом ($K_c = 2,1$); в лесопарковой зоне – кадмием ($K_c = 2$).

Более высокую индикаторную значимость для оценки биогеохимических аномалий на территории г. Ставрополя имеет *Pleurosium schreberi*. В автономных элювиальных ландшафтах плакора *Pleurosium schreberi* заметно индицируют загрязнение свинцом: от $K_c = 19,4$ в промышленных районах, $K_c = 10,5$ в селитебной и лесопарковой зонах (образцы отбирались около автотрасс), до $K_c = 5,4$ в дачной зоне. Среднее значение коэффициента техногенной концентрации меди для плакора – 2,2, в том числе в промышленной зоне $K_c = 5,6$; для остальных зон концентрации меди в *Pleurosium schreberi* приближаются к фоновым. Уровни загрязнения мхов цинком и кадмием в элювиальных условиях также высоки в промышленных районах. Биогеохимическую контрастность загрязнения у *Pleurosium schreberi* в трансэлювиальных ландшафтах склонов структурно-денудационных плато характеризуют аномалии цинка в

селитебной, лесопарковой, дачной зонах и историческом центре города (Кс 2,2 – 2,5); свинца (от Кс = 6,3 в дачной зоне до Кс = 13,5 в селитебной зоне и историческом центре города); меди (Кс 1,3 – 3,2). Аккумулятивный эффект, характерный для распределения элементов в трансаккумулятивных ландшафтах пластовых эрозивно-денудационных равнин проявляется и у *Pleurosium schreberi*. Средние значения Кс в данных ландшафтах у кадмия – 3,4; у меди – 6,6; у цинка – 3; у свинца – 12,7. Различия в интенсивности техногенной нагрузки проявляются в контрастности значений Кс по функциональным зонам.

Выводы

Биогеохимическое изучение территории города показывает повышенное загрязнение растений промышленных зон, исторического центра. Селитебные территории также во многом испытывают влияние различных источников загрязнения. Для изученных растений характерна наибольшая интенсивность биологического поглощения из почвы кадмия. На втором месте идет поглощение цинка, затем меди. Менее активно концентрируется и захватывается из почвы свинец.

Наиболее контрастными индикаторами загрязнения в условиях города оказался *Pleurosium schreberi*. Другие виды опробования (*Elytrigia repens*, *Quercus robur*) не столь резко индицируют загрязнение растительного покрова города относительно фоновой территории. Все изученные растения города наиболее интенсивно загрязнены свинцом.

Список литературы

1. Археологический и природный музей-заповедник «Татарское городище» как природное наследие / Под ред. В.А. Шальнева. Ставрополь: СГУ, 1999. 100 с.
2. Давыдова С.Л. Автотранспорт продолжает загрязнять окружающую среду. // Экология и промышленность России, 2000. № 7. – С. 40–41.
3. Дегтярева Т.В. Геохимические особенности ландшафтов г. Ставрополя (на примере распределения тяжелых металлов в почвах и растениях). Автореф. дис. канд. геогр. наук. Ставрополь, 2003. – 24 с.

4. Дегтярева Т.В., Титоренко В.А. Динамика содержания тяжелых металлов в почвах г. Ставрополя. Материалы II Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы экологии и природопользования». – Ставрополь, 2011. – С.74–78.

5. Никифорова Е.М., Лазукова Г.Г., Рубилина Н.Е. Эколого-геохимическая оценка состояния природной среды г. Новгорода. Экогеохимия городских ландшафтов. Под ред. Н.С. Касимова. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – С.129–152.

6. Саэт Ю.Е., Башаркевич И.Л., Ревич Б.А. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 66 с.

7. Шальнев В.А. Эволюция ландшафтов Северного Кавказа: Ставрополь: Изд-во СГУ, 2007. – 310 с.

References

1. Archaeological and Natural Museum -Reserve «Tatar settlement» as a natural heritage / Ed. VA Shalнева. Stavropol: SSU, 1999. 100 p.

2. Davydova S.L. Motor continues to pollute the environment. // Ecology and Industry of Russia, 2000. no. 7. – pp. 40–41.

3. Degtyareva T.V. Geochemical features of the landscape of Stavropol (for example, distribution of heavy metals in soils and plants). Author. dis. Candidate. geogr. Sciences. Stavropol, 2003. – 24 p.

4. Degtyareva T.V., Titorenko V.A. Dynamics of heavy metals in soils of Stavropol. Proceedings of the II International scientific and practical conference «Actual problems of ecology and nature». – Stavropol, 2011. – pp.74–78.

5. Nikiforov E.M., Lazukova G.G., Rubilina N.E. Ecological-geochemical assessment of the state of the natural environment of Novgorod. Ecogeochemistry urban landscapes. Ed. N.S.Kasimova. – Moscow: Moscow State University Press, 1995. – pp. 129–152.

6. Saet Y.E., Basharkevich I.L., Revich B.A. Guidelines for geochemical assessment of pollution sources. – М.: IMGRE, 1982. – 66 p.

7. Shalnev V.A. Evolution of landscapes of the North Caucasus Stavropol UnivSSU, 2007. – 310 p.

Рецензенты:

Лысенко А.В., д.г.н., доцент, заведующий кафедрой физической географии и ландшафтоведения ИМЕН Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь;

Мишвелов Е.Г., д.б.н., профессор кафедры экологии и природопользования ИМЕН Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь.

Работа поступила в редакцию 24.06.2014.