

УДК 581.8:635

UDC 581.8:635

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО СОДЕРЖАНИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ГОРОДА¹**ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON THE BASIS OF HEAVY METAL CONCENTRATION IN URBAN SOIL AND VEGETATION**

Иванова Руфина Риммовна

к.б.н., доцент

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия

Ivanova Rufina Rimmovna

Cand.Biol.Sci., associate professor

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

В статье приведены результаты оценки состояния городской среды по степени накопления тяжелых металлов почвой и растительностью. Обсуждаются вопросы способности разных растений к накоплению тяжелых металлов в листовом аппарате

The assessment results of urban environmental conditions on the basis of accumulation of heavy metals in the soil and vegetation are presented. The questions about the ability of different plants to accumulate heavy metals in the lives are discussed as well

Ключевые слова: СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ГОРОД, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, РАСТЕНИЯ, ПОЧВА

Keywords: ENVIRONMENTAL CONDITIONS, URBAN SOIL AND VEGETATION, HEAVY METALS

Проблема изучения экологического состояния городской среды жизни чрезвычайно актуальна, поскольку неотъемлемыми признаками современного мира являются концентрация населения в городах, увеличение площади урбанизированных территорий и усиление негативного воздействия на компоненты урбоэкосистем (5, 7, 8).

В атмосферу города в больших количествах попадают оксиды серы, азота, углеводороды, фториды, тяжелые металлы и другие опасные вещества (4, 5, 7, 8). Наиболее опасными, как для природы, так и для человека являются тяжелые металлы (2), которые негативно воздействуют на растения, входящие в фитоценоз города, вызывая их старение, преждевременное пожелтение и опадание листьев, при загрязнении почвы солями таких тяжелых металлов как медь, цинк, свинец нередко наблюдается полное отмирание растительности.

Вопросы экологии городской среды актуальны и для г. Йошкар-Олы (3, 8), поэтому целью работы была оценка состояния окружающей среды по содержанию тяжелых металлов в почве и растениях города. В работе

¹ Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (государственный контракт № 16.552.11.7050 от 29 июля 2011 г.) с использованием оборудования ЦКП «ЭБЭЭ» ФГБОУ ВПО «МарГТУ».

решались такие задачи, как изучение содержания тяжелых металлов (меди, свинца, кадмия, цинка, никеля) в почве и листовом аппарате древесных, кустарниковых и травянистых растений придорожных полос; оценка состояния декоративных многолетников на газонах города; выявление и анализ связей между содержанием тяжелых металлов в почве и листьях растений.

Исследования проводились на основных магистралях г. Йошкар-Олы. В число обследуемых объектов вошли придорожные полосы 12 основных улиц и цветники из разных районов города. Контрольными объектами служили лесопарк «Сосновая роща» и Парк культуры и отдыха.

Для исследования были выбраны: в придорожных полосах – липа мелколистная (*Tilia cordata*), береза повислая (*Betula pendula*), пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolius*), злаки (*Gramineae*); в цветниках – бадан толстолистный (*Bergenia crassifolia* (L.) Fritsch), гейхера кроваво-красная (*Heuchera sanguinea* Engelm), пион молочноцветковый (*Paeonice lactiflora* Pall.) и рудбекия волосистая (*Rudbeckia hirta* L.), как наиболее широко используемые в озеленении города. Для оценки состояния растений использованы анатомо-физиологические показатели: площадь листа (см^2); количество устьиц (на 1 мм^2); площадь устьиц (мкм^2); процент поврежденных листьев на кусте; содержание общего хлорофилла в листьях. Сбор листьев у многолетников проводили на разных участках цветника, из средней части растения, в одно и тоже время (с 13 до 14 часов дня), в сухую ясную погоду. Отбор листьев древесных и кустарниковых растений проводили на разных участках придорожной полосы с четырех сторон растения. Пробы почвы отбирали в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01. Определение тяжелых металлов (валовых форм) в почве осуществлялось согласно Р.Д. 52.18.191 – 89(6). Определение содержания общего хлорофилла в листьях проводили по

методу Годнева. Результаты исследования были статистически обработаны по программе STAT.

Содержание тяжелых металлов в почве придорожных полос представлено в табл. 1. Как видно из таблицы, содержание меди в почве варьировало от $21,75 \pm 0,032$ до $104,93 \pm 0,96$ мг/кг почвы и на всех обследованных улицах существенно превышало уровень контроля ($p < 0,05$). При этом на 33,3 % улицах содержание меди в почве превышает ПДК в 1,5-1,9 раза. Содержание свинца в почве колебалось от $22,50 \pm 0,021$ до $93,50 \pm 0,038$ мг/кг и почти на всех объектах было выше, чем в контроле (различия статистически достоверны, ($p < 0,05$), на 25 % улиц отмечается высокое содержание свинца, превышающее ПДК в 1,1-2,9 раза (табл.1). Содержание кадмия в почве в придорожной зоне города невысокое – от 0 до 2 мг/кг, что не превышает ПДК (табл.1), но на участке по ул. Пушкина его содержание превышает контроль в 2 раза; различие статистически достоверно ($p < 0,05$). Содержание цинка в почве придорожной полосы

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов (валовые формы) в почве г. Йошкар-Олы

Улица	Содержание тяжелых металлов (мг/кг воздушно-сухой почвы), $\bar{x} \pm m$			
	Медь	Свинец	Кадмий	Цинк
Машиностроителей	$104,93 \pm 0,96^{*1}$	$35,00 \pm 0,050^{*1}$	$0,50 \pm 0,006^*$	$94,25 \pm 0,005^*$
Красноармейская	$37,50 \pm 0,306^*$	$22,50 \pm 0,019$	$0,75 \pm 0,015^*$	$96,75 \pm 0,017^*$
Водопроводная	$25,00 \pm 0,032^*$	$27,50 \pm 0,010^*$	$0,50 \pm 0,032^*$	$3,75 \pm 0,015^*$
Пушкина	$35,25 \pm 0,032^*$	$34,25 \pm 0,023^{*1}$	$2,00 \pm 0,010^*$	$2,75 \pm 0,009^*$
Панфилова	$86,50 \pm 0,053^{*1}$	$25,00 \pm 0,015^*$	0	$33,75 \pm 0,006^*$
Карла Маркса	$21,00 \pm 0,063^*$	$30,75 \pm 0,017^*$	0	$82,25 \pm 0,019^*$
Ленинский пр.	$82,75 \pm 0,024^{*1}$	$51,75 \pm 0,012^{*1}$	$0,50 \pm 0,006^*$	$112,5 \pm 0,023^{*1}$
Советская	$25,50 \pm 0,032^*$	$40,00 \pm 0,025^{*1}$	0	$38,25 \pm 0,009^*$
Димитрова	$25,51 \pm 0,058^*$	$29,25 \pm 0,029^*$	$0,95 \pm 0,015^*$	$33,70 \pm 0,006^*$
Коммунистическая	$21,75 \pm 0,032^*$	$29,25 \pm 0,029^*$	0	$98,00 \pm 0,012^*$
Эшкинина	$35,25 \pm 0,025^*$	$36,75 \pm 0,029^{*1}$	0	$94,25 \pm 0,010^*$
Йывана Кырля	$92,50 \pm 0,052^{*1}$	$93,50 \pm 0,038^{*1}$	0	$328,50 \pm 0,015^*$
Сосновая роща	$4,00 \pm 0,017$	$22,50 \pm 0,021$	$1,00 \pm 0,144$	$5,497 \pm 0,009$
ПДК	55	32	3,0	100

Примечание: * - данные статистически достоверны по сравнению с контролем;

¹ – данные статистически достоверны по сравнению с ПДК.

варьировало в пределах от $2,75 \pm 0,009$ до $328,50 \pm 0,015$ мг/кг и на 83 % улиц было существенно выше, чем в контроле, показатели статистически достоверны по сравнению с контрольным результатом в Сосновой роще ($p < 0,05$). Особенно высокое содержание цинка, в 3,3 раза превышающее ПДК, выявлено в почве ул. Й. Кырля (табл. 1).

Исследование уровня содержания тяжелых металлов в почве цветников города показало, что концентрация меди в почве цветников на улицах составляет $55,9 \pm 8,57$ мг/кг, в парке – $7,85 \pm 0,17$ мг/кг, что не превышает ПДК. Содержание цинка в почве цветников парка равно $5,68 \pm 0,04$ мг/кг, на цветниках улиц – $7,6 \pm 0,06$ мг/кг. Содержание никеля в почвенных образцах парка составляет $2,04 \pm 0,01$ мг/кг, в почве цветников с улиц – $3,35 \pm 0,0$ мг/кг. Хотя содержание цинка и никеля в почве цветников, расположенных на улицах города, не превышает ПДК, наблюдается существенное увеличение этих показателей по сравнению с зоной отдыха: по цинку – в 1,3 раза, по никелю – в 1,6 раза. Наиболее сильное загрязнение почвы на цветниках городских улиц связано с медью.

Как показали исследования, содержание меди в листьях березы варьировало от $4,59 \pm 0,012$ до $31,47 \pm 0,012$ мг/кг сухих листьев и во всех пробах было статистически достоверно выше по сравнению с контролем ($3,49 \pm 0,015$ мг/кг; $p < 0,05$). В целом содержание меди в листьях березы на всех обследованных участках превышает контроль в 1,3-9,0 раз. Содержание свинца в листьях березы было в пределах $0,67 \pm 0,006$ - $2,62 \pm 0,021$ мг/кг и во всех местах отбора проб превышало таковое в Сосновой роще ($0,38 \pm 0,003$ мг/кг) в 1,7-6,9 раз, различия статистически достоверны ($p < 0,05$). Содержание кадмия в листьях березы колебалось в пределах от $0,17 \pm 0,012$ до $3,96 \pm 0,15$ мг/кг и в 50 % проб превышало контрольный показатель ($p < 0,05$), а содержание цинка варьировало от $7,19 \pm 0,006$ до $70,72 \pm 0,015$ мг/кг и в 25 % проб существенно превышало контроль ($p < 0,05$). В листьях липы мелколистной содержание меди

колебалось в пределах от $1,98 \pm 0,017$ до $8,74 \pm 0,020$ мг/кг, в 42,5 % проб статистически достоверно выше по сравнению с контролем ($3,77 \pm 0,012$ мг/кг; $p < 0,05$). Содержание свинца в листьях липы, произрастающей по ул. Димитрова, К. Маркса, Водопроводная, Машиностроителей, Ленинский проспект составило $1,25 \pm 0,006$ мг/кг; $1,51 \pm 0,006$ мг/кг; $1,99 \pm 0,012$ мг/кг; $1,14 \pm 0,007$ мг/кг; $1,51 \pm 0,009$ мг/кг; соответственно, что превышает контроль ($1,08 \pm 0,015$ мг/кг) в 1,1-1,8 раз (различия статистически достоверны, $p < 0,05$). На остальных участках содержание свинца в листьях липы находится в пределах контроля. Содержание кадмия в листьях липы варьировало от $0,05 \pm 0,009$ до $0,62 \pm 0,012$ мг/кг, превышение контроля в 1,2-1,3 раза выявлено только на ул. Машиностроителей и Коммунистической. Высокое содержание цинка выявлено в листьях липы, произрастающей в придорожной зоне ул. Водопроводная ($22,08 \pm 0,006$ мг/кг), Пушкина ($13,76 \pm 0,003$ мг/кг), Димитрова ($14,53 \pm 0,009$ мг/кг), ул. Машиностроителей ($12,79 \pm 0,010$ мг/кг); различия по сравнению с контрольным результатом ($5,02 \pm 0,026$ мг/кг) статистически достоверны ($p < 0,05$). Высокое содержание меди в листьях пузыреплодника выявлено на ул. Советской – $116,30 \pm 0,265$ мг/кг, что существенно превышает контроль – $3,77 \pm 0,012$ мг/кг ($p < 0,05$), превышение в 32,4 раза. На этом же участке отмечается высокое содержание свинца ($63,22 \pm 0,011$ мг/кг), кадмия ($10,35 \pm 0,009$ мг/кг), цинка ($13,76 \pm 0,009$ мг/кг). Эти показатели превышают контрольные результаты в 102; 60,9; 1,2 раза соответственно. Различия по сравнению с контролем статистически достоверны ($p < 0,05$). На других объектах обследования содержание цинка и кадмия в листьях пузыреплодника не превышает контроль. В злаковой растительности выявлено высокое содержание меди по ул. Советская ($11,63 \pm 0,026$ мг/кг) и Красноармейская ($33,72 \pm 0,063$ мг/кг), превышающее в 2,4 и 7,6 раз контроль ($4,42 \pm 0,006$ мг/кг), что статистически достоверно ($p < 0,05$). На этих же участках в злаках отмечается высокое содержание свинца:

4,32±0,009; 1,58±0,014; 1,62±0,012 мг/кг соответственно. Данные превышают контроль (0,86±0,006 мг/кг) в 1,8-5,0 раз, что статистически достоверно ($p<0,05$). Высокое содержание кадмия и цинка выявлено в злаках, произрастающих в придорожной зоне ул. Красноармейской – 2,22±0,010 мг/кг и 43,58±0,006 мг/кг соответственно, что превышает контрольные показатели в 20,2 и 5 раз. Высокое содержание цинка выявлено в злаках, произрастающих по придорожным зонам улиц Советская (29,82±0,012 мг/кг), Машиностроителей (16,82±0,010 мг/кг), что статистически достоверно по сравнению с контролем (8,72±0,012 мг/кг ; $p<0,05$).

Суммарное содержание меди, свинца, кадмия, цинка в листьях березы, произрастающей в Сосновой роще, составило 36,26 мг/кг, при этом на долю цинка приходится 88,60 %, меди – 9,60 %, свинца – около 1 % и кадмия – 0,77 %. При возрастании общего содержания ТМ в листьях березы в городской среде отмечено увеличение процентной доли свинца и меди и уменьшение доли цинка. Суммарное содержание исследованных ТМ в листьях липы мелколистной, произрастающей в Сосновой роще, составило 10,35 мг/кг, при этом на долю цинка пришлось 50 %, меди – 36,5 %, свинца – 10,7 %, кадмия – 4,7 %. В условиях города суммарное содержание ТМ в листьях липы превышало контроль в 1,5 – 2,5 раза, при этом отмечается увеличение процентной доли свинца и цинка и уменьшение доли кадмия и меди. Анализ суммарного содержания ТМ в листьях пузыреплодника калинолистного, произрастающего в Сосновой роще, выявил, что содержание меди, свинца, кадмия, цинка составило 15,47 мг/кг, в процентном соотношении преобладал цинк – 71,6 %, на долю меди пришлось 23,6 %, свинца – 4 %, кадмия – 1,1 %. В городской среде в листьях пузыреплодника концентрируется свинец (до 31 %) и медь (до 50 – 85 %). Наиболее высокое общее содержание ТМ в листьях пузыреплодника отмечено на ул. Советской (203,6 мг/кг). В злаках, произрастающих в Сосновой роще, суммарное содержание ТМ составило 14,11 мг/кг, в

процентном соотношении преобладали цинк (62,29 %) и медь (31,57 %), доля свинца составила 6,14 %, кадмия – 0,78 %. В злаках придорожной полосы улиц увеличивалось содержание свинца до 24 – 25 %, меди до 65 – 70 %, при этом отмечалось снижение содержания цинка. Наиболее высокое содержание ТМ в злаках выявлено на ул. Красноармейской (в 5,9 раза выше, чем на контрольном объекте), и ул. Советской (в 3 раза выше, чем на контрольном объекте). Полученные данные согласуются с результатами подобных исследований, проведенных ранее на других объектах города Йошкар-Олы (3, 8) и в других городах (7). Так в г. Москве по результатам мониторинга почвенного покрова в 2008 г. установлено, что на отдельных территориях города концентрации тяжелых металлов 1-2 класса опасности превышают установленные санитарно-гигиенические нормативы: по цинку в 2 раза; меди и свинцу – в 1,5 раза; по кадмию отмечены максимальные превышения в 3,3 раза; по никелю превышений ПДК не выявлено.

Результаты исследования состояния многолетников, произрастающих на цветниках улиц города представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Анатомо-физиологические показатели многолетних цветочных растений

Виды растений	Объект исследования	Показатели состояния растений ($x \pm m$)			
		Площадь листа, $см^2$	Кол-во устьиц на 1 $мм^2$, шт.	Площадь устьиц, $мкм^2$	Общий хлорофилл, мг/г
Бадан толстолистный	парк	295,17 ± 18,01	62,40 ± 1,01	332,29 ± 4,69	13,26 ± 0,36
	улицы	123,75 ± 15,53*	59,72 ± 1,05*	320,19 ± 4,68	10,31 ± 0,27*
Гейхера кроваво-красная	парк	34,97 ± 3,17	61,99 ± 1,05	301,29 ± 5,68	12,33 ± 0,87
	улицы	20,39 ± 1,78*	77,93 ± 1,07*	252,48 ± 7,94*	9,64 ± 1,04*
Пион молочноцветковый	парк	78,93 ± 6,47	105,83 ± 1,13	447,82 ± 6,37	18,38 ± 0,53
	улицы	80,49 ± 5,52	126,90 ± 1,84*	416,13 ± 6,72*	14,25 ± 0,99*
Рудбекия волосистая	парк	21,97 ± 5,75	22,90 ± 0,22	556,41 ± 6,38	2,84 ± 0,11
	улицы	33,77 ± 9,84	24,85 ± 0,17*	460,02 ± 2,77*	1,53 ± 0,22*

Примечание: * - статистически достоверно по сравнению аналогичным показателем зоны парка ($P \leq 0,05$).

Исследованиями выявлено, что у бадана толстолистного и гейхеры кроваво-красной, произрастающих на газонах улиц города, существенно уменьшается площадь листьев, в то время как у пиона молочноцветкового и рудбекии волосистой уменьшения площади листьев не происходит (табл.2). В зоне парка у всех изученных растений поврежденных листьев не выявлено, в то время как в зоне улиц было повреждено: у бадана толстолистного – 55,7 % листьев, у гейхеры кроваво-красной – 11,3 % листьев, у пиона молочноцветкового – 57,9 % листьев и рудбекии волосистой – 36 % листьев. Исследования состояния устьичного аппарата показали, что на газонах улиц у гейхеры кроваво-красной, пиона молочноцветкового и рудбекии волосистой количество устьиц значительно увеличивалось, но площадь их уменьшалась у гейхеры кроваво-красной и рудбекии волосистой на 17 %, а у пиона молочноцветкового на 8 % (табл.2). У бадана толстолистного оба показателя практически не отличались от таковых у растений из парковой зоны. Выявлено существенное снижение содержания общего хлорофилла у всех исследованных видов растений (табл.2), что может свидетельствовать об угнетении фотосинтетической функции.

Исследования показали, что береза повислая, липа мелколистная, пузыреплодник калинолистный, широко используемые в озеленении города, а также злаки, произрастающие в придорожной зоне городских магистралей, содержат существенно более высокие концентрации меди, свинца, кадмия и цинка по сравнению с контрольной зоной – Сосновой рощей. В листьях липы мелколистной общее содержание ТМ в 3,5 раза меньше, чем в листьях березы повислой, но в листьях липы накапливается существенно больше свинца (в 5 раз), меди (в 3,5 раза) и кадмия (в 6 раз). Накопление ТМ в листьях пузыреплодника калинолистного и злаках в 2 раза ниже, чем у березы повислой, но они активнее концентрируют свинец и медь. По результатам исследования можно сделать вывод, что из всех

изученных видов растительности в системе «почва - растение» наилучшим аккумулятором исследованных тяжелых металлов является береза повислая, но и другие растения, используемые в системе озеленения города, активно накапливают ТМ.

Сравнительный анализ содержания ТМ в почве и растительных объектах показал, что содержание тяжелых металлов в листьях исследованных древесных растений, пузыреплодника и наземной части злаковых растений в основном существенно ниже, чем в почве придорожной зоны мест их произрастания. Исключением являются высокие уровни содержания цинка в листьях березы, на отдельных участках превышающие содержание цинка в почве. Из обследованных растений наибольшей способностью накапливать тяжелые металлы из окружающей среды обладает береза повислая.

Обследованные многолетние декоративные растения, произрастающие на цветниках городских улиц, испытывают угнетение, наиболее выраженное у пиона молочноцветкового и бадана толстолистного. Выявленное у изученных растений увеличение количества устьиц и уменьшение их размеров можно рассматривать как ответная реакция на неблагоприятные факторы среды магистральных улиц.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в 20-сантиметровом слое почвы придорожных зон и газонов г. Йошкар-Олы содержатся такие тяжелые металлы как медь, свинец, кадмий, цинк, никель. При этом содержание меди в почве превышает ПДК в 1,5-1,9 раз на 33,3 % обследованных улиц; содержание свинца – в 1,1-1,2 раза на 50,0 % улиц; содержание цинка превышает ПДК в почве 16,6 % объектов. Суммарное содержание валовых форм меди, свинца, кадмия и цинка в почве придорожных зон обследованных улиц превышает таковое в Сосновой роще в 1,7-15,6 раза. В целом почвы придорожных зон 75 % обследованных улиц г. Йошкар-Олы загрязнены тяжелыми металлами.

Растения в городской среде проявляют способность к накоплению тяжелых металлов в количествах, существенно превышающих показатели растений, произрастающих в экологически чистой зоне. Декоративные многолетники, произрастающие на газонах городских улиц, проявляют признаки угнетения жизнедеятельности.

Высокий уровень содержания валовых форм тяжелых металлов в почве и растительности городских улиц, признаки угнетения жизнедеятельности у декоративных многолетников по сравнению с такими экологически чистыми зонами, как Сосновая роща и парк отдыха, свидетельствует о неблагоприятной экологической обстановке на основных магистралях города Йошкар-Олы.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (государственный контракт № 16.552.11.7050 от 29 июля 2011 г.) с использованием оборудования ЦКП «ЭБЭЭ» ФГБОУ ВПО «МарГТУ».

Список литературы

1. Артамонов В.И. Растения и чистота природной среды. М.: Наука, 1986. 172 с.
2. Давыдова С.Л. Тяжелые металлы как суперэкоотоксиканты XXI века. М.: Издательство РУДН, 2002. 140 с.
3. Иванова Р.Р., Корюкова Ю. О. Оценка содержания тяжелых металлов в почве и растительности города Йошкар - Олы в условиях автотранспортного загрязнения // Экология города Йошкар-Олы: научное издание. Йошкар-Ола: Мар.гос.ун-т, 2007, с.159 – 166.
4. Корчагин В.А. Экологические аспекты автомобильного транспорта. М.: Изд-во МНЭПУ, 1997. 100с.
5. Луканин В.Н., Буслаев А.П., Трофименко Ю.В. Автотранспортные потоки и окружающая среда. М.: ИНФРА, 1998. 407с.
6. Р.Д. 52,18,191-89. Методические указания. Методика измерения массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом (ОКСТУ 0017).
7. Экология города/ Под ред. Н.С. Касимова. М.: Науч. мир, 2004. 624 с.
8. Экология города Йошкар-Олы: Научное издание/ Под ред. О.Л. Воскресенской. Мар.гос. ун-т. Йошкар-Ола, 2007. 300 с.