

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПОЧВОЙ И РАСТЕНИЯМИ В МЕСТАХ СБОРА И ВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Воскресенская О. Л., Воскресенский В. С., Алябышева Е. А.

ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет», Йошкар-Ола, Россия (424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1), e-mail: voskers2006@rambler.ru

В статье отражены результаты исследований по содержанию и накоплению тяжелых металлов (ТМ), таких как свинец, кадмий, цинк и медь в почве и растениях, произрастающих в местах сбора и временного хранения твердых бытовых отходов (ТБО) в ряде районов города Йошкар-Олы. Отмечено, что почвы, прилегающие к контейнерным площадкам, накапливают высокое содержание свинца, цинка и меди, при этом различные районы города характеризуются неодинаковым содержанием ТМ. Наиболее высокий уровень содержания ТМ обнаружен в почвах микрорайона Гомзово. Травянистые растения с поверхностной корневой системой активно поглощают ТМ из почвы, при этом установлена видовая специфика накопления ТМ органами подорожника большого, ромашки пахучей и горца птичьего. Отмечено, что практически у всех растений подземные органы (корни) накапливают большее количество ТМ по сравнению с листьями, что подтверждается коэффициентом поглощения.

Ключевые слова: антропогенное загрязнение, *Matricaria suaveolens*, *Plantago major*, *Polygonum aviculare*, городские почвы, контейнерные площадки, твердые бытовые отходы, тяжелые металлы: свинец, кадмий, медь, цинк.

ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SOIL AND PLANTS IN LOCATIONS GATHERING AND TEMPORARY STORAGE SOLID WASTE

Voskresenskaya O. L. Voskresenskiy V. S., Alyabysheva E. A.

Mari state university, Ioshkar Ola, Russia (424000, Ioshkar Ola, Lenin Square, 1), e-mail: voskers2006@rambler.ru

The paper describes the results of studies on the content and accumulation of heavy metals: lead, cadmium, zinc and copper. Heavy metals were determined in soil and plants growing in the field collection and temporary storage of solid waste in a number of areas of the city of Yoshkar-Ola. It is noted that the soil adjacent to the container site, accumulate high levels of lead, zinc and copper. The different areas of the city are characterized by uneven heavy metal content. The highest level of heavy metals found in the soil Gomzovo neighborhood. Herbaceous plants with shallow root system actively absorb heavy metals from the soil. On species specificity of heavy metal accumulation bodies plantain, chamomile and sweet-smelling Knotweed. It is noted that almost all the underground organs of plants (roots) to accumulate large amounts of heavy metals compared with leaves. Confirmation is the absorption coefficient.

Keywords: anthropogenic pollution, *Matricaria suaveolens*, *Plantago major*, *Polygonum aviculare*, urban soils, container platforms, solid waste, heavy metals: lead, cadmium, copper, zinc.

Введение

Быстрое увеличение объемов твердых бытовых отходов (ТБО) – одна из важнейших экологических, экономических и социальных проблем на федеральном, региональном и муниципальном уровнях [5]. Сложившиеся в городе Йошкар-Оле негативные тенденции в обращении с ТБО представляют реальную угрозу намечаемой стабилизации социально-экономического состояния города и здоровью населения, ведут к значительному экономическому ущербу и опасным загрязнениям окружающей среды.

В городе Йошкар-Оле ежегодно образуется около 500 тыс. м³ твердых бытовых отходов. Мусоросборные площадки, построенные преимущественно 30–40 лет назад под накопление до 1 м³ отходов на 1 жителя, сейчас принимают с учетом крупногабаритного мусора: старой мебели, бытовых приборов, упаковки, отходов ремонта жилья и др. около 2

м³. Система сбора отходов в городе Йошкар-Оле включает 321 контейнерную площадку, где установлено 1730 контейнеров [7]. В настоящее время увеличилось количество отходов сложного комбинированного состава, они выносятся на контейнерную площадку и при несвоевременном их удалении являются источниками загрязнения почвы тяжелыми металлами, которые являются наиболее опасными ингредиентами ТБО [5]. Среди тяжелых металлов особую опасность представляют свинец, кадмий и их соединения.

Почва – это весьма специфический компонент биосферы, поскольку она не только аккумулирует различные загрязняющие компоненты, но и выступает как природный буфер, контролирующей перенос химических элементов и соединений в атмосферу, гидросферу и живое вещество. Тяжелые металлы, накапливающиеся в почвах, медленно удаляются при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии и дефляции [2]. Растения могут накапливать тяжелые металлы в тканях или на поверхности органов, поэтому растения являются промежуточным резервуаром, через который тяжелые металлы попадают из почв, а частично из воды и воздуха в организм человека и животных.

Целью работы явилось изучение содержания тяжелых металлов в почве и растениях, произрастающих на территории мест сбора и временного хранения твердых бытовых отходов в условиях города Йошкар-Олы.

Объекты и методы. Для исследования были выбраны 3 жилых района г. Йошкар-Олы: микрорайоны «Гомзово» (западная), «Привокзальный» (южная) и «Ширяйково» (восточная части города). В качестве конкретного объекта были взяты места сбора и временного хранения твердых бытовых отходов, а именно территории, прилегающие к контейнерным площадкам. Контрольной зоной служила особо охраняемая природная территория (ООПТ) «Сосновая роща», расположенная в лесопарковой зоне г. Йошкар-Олы.

Пробы почвы отбирались на площадках размером 100x100 см методом конвертирования на глубину 5 см на территориях, прилегающих к контейнерным площадкам по адресам: ул. Красноармейская, 96а; Красноармейская, 118; Советская, 173; Советская, 177; Луначарского, 59 и на контрольной территории (Сосновая роща). На данной территории отбирались растения подорожника большого (*Plantago major* L.), горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.) и ромашки пахучей (*Matricaria suaveolens* L.).

Исследования образцов почвы и растений были проведены в лаборатории физико-химических методов исследований (ФГУЗ) «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Марий Эл». Измерения содержания тяжелых металлов (меди, свинца, цинка, кадмия) были проведены методом атомно-абсорбционной спектрометрии [3, 4]. Содержание ионов металлов рассчитывали в миллиграммах на килограмм сухой массы (мг/кг). Для характеристики процессов передвижения химических элементов использовали коэффициент

передвижения (Кп). Статистическую обработку данных проводили с помощью программы «STATISTIKA 6.0». Достоверность различий обсуждалась при 5 % уровне значимости.

Результаты и их обсуждение

Городские условия являются хорошей природной лабораторией для изучения влияния загрязняющих веществ на эколого-физиологические процессы в растениях. Исследования в этом направлении в течение ряда лет проводятся на территории города Йошкар-Олы [2, 7]. В рамках мониторинга городской среды нами был рассчитан комплексный показатель загрязнения почв г. Йошкар-Олы тяжелыми металлами (Zc). По суммарному показателю загрязнения почв тяжелыми металлами (ГМ), рассчитанному относительно содержания веществ в почвах контрольной зоны (ООПТ «Сосновая роща»), которые в минимальной степени подвергаются техногенному воздействию, почвы города Йошкар-Олы отнесены к категории умеренно опасных ($Z_c=21,0$).

Работа была начата с изучения содержания в почве наиболее опасных тяжелых металлов свинца и кадмия (табл. 1), при этом соединения свинца и кадмия в пробах почвы контрольной зоны «Сосновая роща» не были обнаружены.

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в почве г. Йошкар-Олы

Объект исследования, (контейнерные площадки, ул.)	Содержание тяжелых металлов, мг/кг			
	Свинец	Кадмий	Медь	Цинк
Сосновая роща (контр.)	0	0	0	5,75±0,33
Красноармейская, 96а	144,98±7,39	0	25,80±0,76	157,23±7,80
Красноармейская, 118	146,53±8,46	1,63±0,06	45,64±2,63	169,65±9,79
Советская, 173	18,70±1,25	0	20,07±0,63	140,27±8,38
Советская, 177	28,11±1,33	1,25±0,01	22,72±1,08	173,70±8,87
Луначарского, 59	47,01±2,13	0	20,80±1,09	141,31±7,58

При изучении проб почвы в местах сбора и временного хранения ТБО, а именно, с территорий, прилегающих к контейнерным площадкам в микрорайоне Гомзово (ул. Красноармейская, 96а, 118), обнаружено повышенное содержание свинца, которое составило 145 мг/кг, при норме до 130 мг/кг. В других исследованных районах города (микрорайон «Ширяйково» и привокзальная часть города) содержание свинца не превышало ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК).

Содержание кадмия обнаружено в почвах двух из шести исследованных территорий, а именно, в микрорайоне Гомзово (ул. Красноармейская, 118) и привокзальной части города (ул. Советская, 177). Валовое содержание кадмия в почвах на указанных территориях колебалось от 1,2 мг/кг до 1,6 мг/кг, при норме до 2,0 мг/кг. В отличие от свинца кадмий попадает в почву в значительно меньших количествах. В кислых почвах со значением $pH < 6$ ионы кадмия весьма подвижны и накопления этого элемента не наблюдается.

Соединения кадмия с гуминовыми кислотами значительно менее устойчивы, чем аналогичные соединения свинца.

Изучение содержания меди и цинка показало (табл. 1), что в почвах контрольной зоны (Сосновая роща) медь не обнаружена, а содержание цинка составило всего лишь 5,7 мг/кг. Валовое содержание меди в пробах почвы во всех исследуемых районах Гомзово, Ширийково и в привокзальной части г. Йошкар-Олы не превышало ОДК и находилось в пределах от 25 до 45 мг/кг. Известно, что благодаря своей высокой подвижности медь легче вымывается из почвы, чем свинец. Растворимость соединений меди в почве заметно увеличивается при значениях $pH < 5$. Наибольшая концентрация меди 45 мг/кг, при норме до 132 мг/кг, обнаружена в пробах почвы, отобранных в микрорайоне Гомзово (ул. Красноармейская, 118). Однако эти значения были ниже ОДК почти в 3 раза.

Из таблицы 1 следует, что степень аккумуляции цинка в почвах всех исследованных районов г. Йошкар-Олы была выше, чем других тяжелых металлов. Следует отметить, что цинк принадлежит к числу распространенных в технике и быту металлов, поэтому ежегодное внесение его в почву очень велико. Известно [6], что при значениях pH более 6 происходит накопление цинка в почве в больших количествах благодаря взаимодействию с глинами. Результаты исследований показали, что содержание цинка в почве на загрязненной территории в микрорайоне Гомзово было в 30 раз выше, чем в контрольной зоне.

Таким образом, выявлена различная тенденция накопления тяжелых металлов почвами г. Йошкар-Олы. Наибольший уровень загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами – цинком, медью, свинцом и кадмием установлен на территориях, прилегающих к контейнерным площадкам в микрорайоне Гомзово. Тем не менее, валовое содержание меди, кадмия и цинка в почвах исследованных районов города Йошкар-Олы, не превышало ОДК.

Растения, являясь индикаторами состояния геохимической среды, накапливают металлы из загрязненных почв и воздуха и аккумулируют самые разные элементы в зависимости от характера загрязнения [2]. В работах многих исследователей [1] показано, что между химическим составом растений, с одной стороны, и средой обитания, с другой, существует несомненная связь. Установлено, что микроэлементный состав растений в значительной мере определяется почвой как основой любого экотипа. Однако прямой корреляции между содержанием тяжелых металлов в растениях и валовой концентрацией их в почве обычно нет из-за способности растений к избирательному накоплению элементов. Чаще выявляется зависимость накопления тяжелых металлов растениями от содержания их подвижных свободных форм в почвенном растворе.

Проведение исследований по аккумуляции тяжелых металлов растительными организмами показало (табл. 2), что содержания свинца в растениях подорожника большого, горца птичьего и ромашки пахучей значительно различаются. При этом содержание свинца в растениях, произрастающих в местах сбора и временного хранения ТБО на территории всех исследованных контейнерных площадок, было достоверно выше, чем в растениях, произрастающих в Сосновой роще (контроль).

Таблица 2. Содержание свинца и кадмия в растениях, мг/кг сух. массы

Место отбора проб	Подорожник большой			Горец птичий			Ромашка пахучая		
	листья	корни	Кп	листья	корни	Кп	листья	корни	Кп
<i>Свинец</i>									
Сосновая роща (контр.)	0,02± 0,00	0,91± 0,05	0,02	0,19± 0,01	0,45± 0,01	0,42	0,01± 0,00	0,73± 0,04	0,01
Красноармейская, 96а	4,87± 0,13	6,49± 0,30	0,75	0,67± 0,02	1,06± 0,05	0,63	1,28± 0,07	4,05± 0,18	0,31
Красноармейская, 118	4,88± 0,28	5,59± 0,31	0,87	0,29± 0,01	1,70± 0,07	0,63	1,21± 0,07	4,04± 0,15	0,30
Советская, 173	1,95± 0,11	4,75± 0,28	0,41	1,61± 0,10	2,38± 0,37	0,76	1,55± 0,07	2,43± 0,08	0,63
Советская, 177	2,08± 0,07	5,08± 0,29	0,41	1,70± 0,07	2,86± 0,16	0,59	2,01± 0,11	4,06± 0,17	0,50
Луначарского, 59	3,52± 0,13	6,88± 0,22	0,51	0,70± 0,02	0,99± 0,04	0,70	2,89± 0,16	3,26± 0,18	0,89
<i>Кадмий</i>									
Сосновая роща (контр.)	0,19± 0,01	0,16± 0,01	1,18	0,01± 0,00	0,02± 0,00	0,50	0,02± 0,00	0,04± 0,00	0,50
Красноармейская, 96а	0,58± 0,02	1,34± 0,05	0,43	0,35± 0,02	0,45± 0,02	0,78	0,45± 0,02	0,88± 0,05	0,51
Красноармейская, 118	0,68± 0,03	1,02± 0,03	0,67	0,83± 0,06	0,94± 0,05	0,88	0,97± 0,07	1,03± 0,04	0,94
Советская, 173	0,25± 0,01	0,72± 0,04	0,35	0,10± 0,00	0,23± 0,02	0,43	0,32± 0,01	0,50± 0,02	0,64
Советская, 177	0,45± 0,02	0,53± 0,03	0,85	0,78± 0,03	0,85± 0,03	0,92	0,72± 0,04	0,82± 0,01	0,88
Луначарского, 59	0,26± 0,00	0,44± 0,02	0,59	0,24± 0,00	0,32± 0,01	0,75	0,21± 0,01	0,32± 0,01	0,66

Наибольшее содержание свинца было характерно для растений подорожника большого, произрастающих на улице Красноармейской. Достаточно активно аккумулировали свинец растения ромашки пахучей, а горец птичий показал наименьшую металлоаккумулирующую способность по отношению к этому ТМ. Следует отметить, что листья и корни изучаемых растений накапливали свинец по-разному. Так, наибольшее накопление свинца корнями (в 6,0 раз больше по сравнению с контролем) установлено для подорожника большого. Расчет коэффициента перемещения (Кп) показал, что у всех изученных растений свинец накапливался в основном в корнях и в меньшей степени в листьях. Для растений, произрастающих на территории контейнерных площадок города Йошкар-Олы, коэффициент перемещения свинца находился в пределах от 0,3 до 0,8.

Статистический анализ результатов исследования растений по содержанию кадмия показал, что количество данного элемента в растениях, произрастающих в микрорайонах Гомзово, Ширийково и привокзальной части города было достоверно выше, чем у растений, отобранных в условно чистой зоне (Сосновая роща). Так, содержание кадмия в надземных частях растений подорожника большого было в среднем в 3,5 раза и корнях в 6 раз выше, чем в аналогичных органах данного растения контрольного варианта. Наибольшая аккумулятивная способность к кадмию отмечена у корней растений подорожника большого, произрастающих на улице Красноармейской.

Как видно из таблицы 3, накопление меди в большей степени наблюдалось в ромашке пахучей, особенно в корнях растений (превышает контроль в 8 раз), произраставших на территории контейнерных площадок по улице Красноармейской 96а и 118.

Таблица 3. Содержание меди и цинка в растениях, мг/кг сух. массы

Место отбора проб	Подорожник большой			Горец птичий			Ромашка пахучая		
	листья	корни	Кп	листья	корни	Кп	листья	корни	Кп
<i>Медь</i>									
Сосновая роща (контр.)	1,95± 0,17	4,19± ,18	0,46	0,92± 0,05	0,52± 0,03	1,76	0,83± 0,04	1,59± 0,08	0,52
Красноармейская, 96а	3,07± 0,12	5,27± 0,29	0,58	6,01± 0,18	5,12± 0,14	1,17	6,06± 0,45	12,81± 0,74	0,47
Красноармейская, 118	5,04± 0,09	9,02± 0,52	0,56	7,69± 0,40	6,70± 0,29	1,15	9,80± 0,45	13,95± 0,97	0,70
Советская, 173	4,80± 0,25	5,95± 0,34	0,80	6,34± 0,17	5,75± 0,15	1,10	7,80± 0,41	8,43± 0,37	0,92
Советская, 177	4,20± 0,12	6,80± 0,21	0,62	6,97± 0,28	5,70± 0,32	1,22	8,27± 0,47	9,70± 0,56	0,85
Луначарского, 59	4,65± 0,21	6,07± 0,17	0,76	4,87± 0,16	5,70± 0,21	0,85	4,65± 0,26	6,39± 0,34	0,72
<i>Цинк</i>									
Сосновая роща (контр.)	5,77± 0,27	7,78± 0,43	0,74	1,26± 0,07	0,89± 0,05	1,41	1,65± 0,09	2,90± 0,16	0,57
Красноармейская, 96а	6,73± 0,16	8,86± 0,51	0,76	14,33± 0,80	13,05± 0,75	1,09	17,47± 1,00	18,45± 1,06	0,94
Красноармейская, 118	7,84± 0,45	8,50± 0,49	0,92	16,13± 0,81	15,92± 0,77	1,01	16,39± 0,95	20,13± 1,04	0,81
Советская, 173	11,53± 0,42	14,75± 0,86	0,78	19,01± 1,15	17,97± 0,74	1,05	36,10± 2,10	38,03± 1,61	0,95
Советская, 177	13,45± 0,60	15,95± 0,92	0,84	17,50± 0,95	15,43± 0,89	1,13	37,04± 2,11	40,71± 1,77	0,91
Луначарского, 59	11,36± 0,36	13,45± 0,60	0,84	14,47± 0,66	13,51± 0,66	1,07	14,22± 0,70	16,73± 0,96	0,85

Металлоаккумулирующая способность горца птичьего по отношению к меди также была достаточно высокая. В корнях горца птичьего содержание меди превышает контроль (Сосновая роща) в 9 раз. В листьях растений подорожника большого и ромашки пахучей ионов меди накапливалось меньше, чем в корнях, о чем свидетельствует коэффициент

перемещения, $K_p < 1$ (табл. 3). В листьях горца птичьего содержание меди было наоборот выше, чем в корнях, при этом коэффициент перемещения находился в пределах 1,1–1,7. Возможно, это является физиологической особенностью данного вида растений.

Содержание цинка в изученных видах растений увеличивалось по мере усиления техногенной нагрузки на среду. Так, накопление данного элемента растениями было значительно выше на территориях, где обнаружено наибольшее валовое содержание цинка в почвенном покрове. Во всех местах сбора и временного хранения твердых бытовых отходов большей металлоаккумулирующей способностью обладали органы ромашки пахучей. Средняя величина содержания цинка, обнаруженная в надземных частях растений ромашки пахучей, произрастающих на территории Сосновой рощи, была достоверно ниже, чем ее содержание на территории, прилегающей к контейнерным площадкам привокзальной части г. Йошкар-Олы по адресу: ул. Советская, 173 и 177.

Таким образом, содержание свинца, кадмия, меди и цинка в вегетативных органах травянистых растений с поверхностной корневой системой в условиях города Йошкар-Олы было существенно выше на территории контейнерных площадок по сравнению с контрольной зоной (Сосновая роща). Можно предположить, что повышенное содержание металлов в городских растениях, особенно в местах временного хранения твердых бытовых отходов, связано с большим поступлением их из загрязненных почв.

Считается, что различные виды растений обладают специфической способностью накапливать тяжелые металлы. Причем, главным образом, это осуществляется через корневую систему. Как правило, наибольшее содержание токсичных элементов отмечается в корнях, далее идут стебли, листья, запасующие ткани и плоды (семена); под особой защитой в растениях находятся репродуктивные органы.

Заключение

Таким образом, установлена тенденция различного накопления тяжелых металлов подорожником большим, ромашкой пахучей и горцем птичьим. Подорожник большой значительно накапливал свинец и кадмий; у ромашки пахучей выявлена тенденция к наибольшей концентрации меди и цинка; горец птичий более активно, чем подорожник большой, аккумулировал цинк. Степень накопления тяжелых металлов в тканях растений зависела от их содержания в почве. Возможно, повышенное содержание металлов в исследуемых растениях на территории контейнерных площадок города Йошкар-Олы связано с большим поступлением их из загрязненных почв. Подземные части растений подорожника большого, ромашки пахучей и горца птичьего в отличие от надземных органов, в большей степени аккумулировали тяжелые металлы.

Обнаруженное более высокое содержание металлов в корневой системе исследованных травянистых растений может являться приспособительной реакцией, ослабляющей токсическое действие металлов и предохраняющей фотосинтезирующие и генеративные органы от воздействия ТМ. Первым барьером на пути поступления тяжелых металлов из почвы в надземную часть является покровная ткань корней, обладающая значительной избирательно адсорбирующей способностью. Свойство растительных организмов накапливать большое количество химических элементов может быть использовано в целях индикации загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, а данные растения могут выступать в качестве биоиндикаторов-накопителей тяжелых металлов.

Список литературы

1. Бухарина И. Л., Двоглазова А.А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений городских насаждений: монография. – Ижевск: изд-во «Удмурский университет», 2010. – 184 с.
2. Воскресенский В. С., Воскресенская О. Л. Влияние факторов городской среды на функциональное состояние древесных растений: монография. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2011. – 195 с.
3. ГОСТ 17.4.3.01. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. – М.: Гидрометеоздат, 1981. – С. 9-33.
4. Ермаченко Л. А. Атомно-абсорбционный анализ в санитарно-гигиенических исследованиях: методическое пособие. – Чебоксары: изд-во «Чувашия», 1997. – 207 с.
5. Селивановская С. Ю. Отходы производства и потребления: правовое регулирование, утилизация, размещение: учебник. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. – 222 с.
6. Фелленберг Т. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию. – М.: Мир, 1997. – 232 с.
7. Экология города Йошкар-Олы: научное издание. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2007. – 300 с.: ил.

Исследование выполнено при поддержке ФЦП № 14.В37.21.1111 «Экологические аспекты функционального состояния растений в условиях городской среды», НИР № 5.8479.2013 «Экологический мониторинг и прогнозирование состояния урбанизированных и природных популяций растений».

Рецензенты:

Винокурова Р. И., доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола.

Карасев В. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры ботаники, дендрологии и садово-паркового строительства ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола.