

ИЗБИРАТЕЛЬНАЯ АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПРЕДСТАВИТЕЛЯМИ СЕМЕЙСТВА ROSACEAE В УСЛОВИЯХ ГОРОДА ОРЕНБУРГА (НА ПРИМЕРЕ *MALUS CERASIFERA SPACH.* И *MALUS PRUNIFOLIA (WILLD)*)

Главная особенность экосистем современных городов заключается в том, что в них нарушено экологическое равновесие между потоками вещества и энергии, расходуемых населением для собственного потребления и количеством отходов, поступающих в атмосферу и почву в результате деятельности промышленности, строительства и транспорта. Одним из следствий этого явления стало накопление в городских экосистемах тяжелых металлов (ТМ), которые частично аккумулируются древесными и кустарниковыми растениями парковых зон и уличных насаждений. Растения по отношению к ТМ обладают одним важным свойством – избирательной аккумуляцией, благодаря которой деревья и кустарники разных семейств и видов накапливают в своих вегетативных и генеративных органах различные тяжелые металлы и в разных их количествах. В этой связи возникает необходимость в правильном подборе диких и плодовых видов растений, применяемых для озеленения городских территорий, с учетом состава загрязнителей городской среды и природной особенности деревьев и кустарников к аккумуляции металлов.

Экспериментально показано, что среди металлов-загрязнителей почв города Оренбурга часто присутствуют медь, цинк и свинец. На примере насаждения *Malus cerasifera Spach.* и *Malus prunifolia (Willd.)* установлена различная степень аккумуляции этих ТМ генеративными и вегетативными органами растений. При этом выявлена зависимость между концентрациями ТМ в исследуемых почвенных и растительных образцах. Плоды исследуемых растений в меньшей степени накапливают медь, максимальная аккумуляция отмечена у цинка.

Полученные данные отражают разную интенсивность накопления ТМ различными органами растений семейства Rosaceae. Плодовые насаждения семейства Rosaceae (в частности *Malus cerasifera Spach.* и *Malus prunifolia (Willd.)*) способны к многолетней вегетации в условиях значительной техногенной нагрузки на экосистемы города Оренбурга.

Ключевые слова: избирательная аккумуляция, яблоня, тяжёлые металлы, экология.

Среди многочисленных загрязнителей окружающей среды особое место занимают тяжелые металлы (ТМ). К ним условно относят химические элементы с атомной массой свыше 50, обладающие свойствами металлов или металлоидов. В современных условиях термин тяжелые металлы чаще всего рассматривается не с химической, а с медико-биологической и экологической точек зрения. ТМ обладают способностью накапливаться в живых организмах, включаться в метаболические циклы, образуя при этом высокотоксичные металл-органические соединения. При переходе из одной природной среды в другую они могут изменять свою химическую форму, не подвергаясь биохимическому разложению. Растения способны накапливать катионы тяжёлых металлов, поглощённые ими из воздуха и атмосферных осадков. Токсическое воздействие некоторых тяжелых металлов выражается в виде канцерогенного, мутагенного, тератогенного и других эффектов [5]. Они катализируют окислительно-восстановительные

процессы, гидратацию, дегидратацию, циклизацию и изомеризацию, метилирование и деметилирование, возникновение двойных и тройных связей и многие другие химические реакции, протекающие в живых организмах. Потому присутствие в экосистеме порой даже одного несвойственного ей металла может иметь следствием непредсказуемый ход биологических и экологических процессов. Публикации зарубежных учёных также подтверждают информацию о токсическом воздействии тяжёлых металлов и об их способности накапливаться в живых организмах [13]–[17]. Известно, что наряду с естественной миграцией из горных пород с атмосферными осадками и природными водами, тяжёлые металлы попадают в окружающую среду в результате техногенных процессов. Большая часть ТМ сорбируется и аккумулируется в почвах, для которых она является естественной депонирующей средой. Другие мигрируют с поверхностными и подземными водами [1]. Важную барьерную роль на пути миграции

тяжёлых металлов, кроме почвенного покрова, выполняют растения [9]. Химический состав растений, как известно, отражает элементный состав почв. Поэтому избыточное накопление ТМ растениями обусловлено, прежде всего, их высокими концентрациями в почвах.

Особую тревогу вызывает накопление ТМ в почвах и растениях городских экосистем из-за высокой плотности населения и значительной концентрации на их территориях промышленных объектов, чья производственная деятельность сопряжена с выбросами в окружающую среду большого объема самых разнообразных химических элементов. Опасная экологическая ситуация, сложившаяся в пределах городских территорий в связи с накоплением тяжелых металлов в почвах и растениях парковых зон и уличных насаждений, в полной мере относится к городам Оренбургской области. Промышленность региона отличается большим разнообразием. Добыча полиметаллических руд, сталелитейная промышленность, машиностроение и нефтепереработка сконцентрированы на востоке области в пределах Орско-Новотроицкого промышленного узла. Основными источниками загрязнения урбоэкосистемы города Оренбурга, расположенного в центральной части области, являются предприятия газодобывающей промышленности, нефтепереработки, машиностроения, теплоэнергетики, автомобильный и железнодорожный транспорт. Повышенное содержание тяжелых металлов в пределах города Бузулука связано с автомагистралями и предприятиями ООО «Оренбургский радиатор».

Специфика промышленного производства того или другого региона определяет состав и степень загрязнения ТМ его территории. В то же время существует набор элементов, которые характерны для всей области. К таким загрязнителям почв городской среды относятся свинец, никель, медь, цинк, кобальт. Кроме тяжелых металлов в урбанизированных экосистемах повсеместно присутствуют пыль, оксиды азота, диоксид серы, фториды, пестициды, нефтепродукты. Отмечено, что в пределах территории одного города в разных его районах состав ТМ в почвах может значительно варьироваться в зависимости от расположения в его границах того или иного промышленного объекта.

Исторически сложилось так, что в целях озеленения городских территорий: парков, скверов, уличных насаждений, в области часто используются плодовые культуры. Наибольшей популярностью пользуются яблоня, груша, боярышник, шиповник, рябина, вишня. Многолетние древесные и кустарниковые культуры в наибольшей степени подвержены влиянию тяжелых металлов. Одновременно их плодами пользуются не только городские жители, но и животные, птицы. В этой связи растения, произрастающие в экологически неблагоприятной городской среде, сами становятся не только объектами повышенной опасности, но и важным передаточным звеном в системе «Промышленный объект – ТМ – почва – растения – человек». При этом, важным обстоятельством при оценке роли плодовых древесно-кустарниковых насаждений в городской черте является тот факт, что разные виды перечисленных выше растений по-разному аккумулируют в своих вегетативных и, что особенно важно, в генеративных органах различные тяжелые металлы. В этой связи со всей остротой встает задача не только определить состав ТМ в почвах городских экосистем области, но и с учетом их химического состава подобрать плодовые растения, которые по своим природным свойствам не приспособлены к аккумуляции тех металлов, которые в почве урбоэкосистем пребывают в приоритете, что, в совокупности, обеспечит относительно невысокое содержание ТМ в их вегетативных и генеративных органах.

В Оренбургском государственном университете под руководством профессоров Русанова А.М. и Савина Е.З. проведена определенная работа по определению состава ТМ-загрязнителей почв крупных городов области и по подбору древесно-кустарниковых насаждений на их территории. Проведен мониторинг снегового покрова города Орска, исследован состав валовых и подвижных форм ТМ в почвах и состав и тяжелых металлов в плодах шиповника парков города Орска [4], [6], [7]. Выполнено определение состава ТМ в плодах яблони в условиях города Оренбурга. Исследованы возможности определения уровня загрязнения почв ТМ придорожных территорий и газоустойчивость древесных растений в пределах городской черты [5], [8], [9]. На при-

мере рябины обыкновенной и яблони дикой изучено влияние ТМ на плодовые деревья улиц города Бузулука [11], [12]. В процессе работ по экологическому мониторингу земель области составлены подробные карты всех городов по загрязнению почвенного покрова их территорий тяжелыми металлами [13]. Однако, несмотря на большой объем выполненных работ, некоторые аспекты проблемы ещё не до конца изучены. Среди них исследование состава и концентраций ТМ в почвах экосистем города Оренбурга и подбор плодовых культур для их посадки в условиях города.

Местом проведения исследований стали три участка на разных по техногенной нагрузке территориях г. Оренбурга, которые включают представителей семейства Rosaceae, возраст которых составлял более от 15 до 20 и более лет:

- 1) плодовые насаждения и почва по ул. Чкалова;
- 2) плодовые насаждения и почва на Аллее в п. Ростоши;
- 3) плодовые насаждения и почва на базе отдыха «Урал».

Все три участка включают в себя насаждения яблони вишнеплодной (*Malus cerasifera* Spach.) и яблони китайской *Malus prunifolia* (Willd.). **Первый участок характеризуется повышенным транспортным потоком**, однако исследуемые насаждения яблонь на данном участке находятся в хорошем состоянии и имеют привлекательный вид. Второй участок испытывает гораздо меньшее влияние транспорта по сравнению с первым участком и также включает в себя плодовые насаждения, имеющие привлекательный вид и находящиеся в хорошем состоянии. Третий участок находится в промышленной части города и также испытывает воздействия транспорта. Нужно отметить, что третья исследуемая территория располагается в пойме реки Урал и участок периодически затопливается. Яблони на данном участке находятся в угнетённом состоянии. Цель исследования состоит в изучении содержания и особенностей накопления тяжёлых металлов в вегетативных и генеративных органах яблони вишнеплодной (*Malus cerasifera* Spach.) и яблони китайской *Malus prunifolia* (Willd.) на участках с различной степенью техногенной

нагрузки в пределах г. Оренбурга. В качестве материалов исследования были определены почвенные образцы, проводящие ткани растений, а также их плоды и листья. Исследования включали в себя маршрутный метод, сбор проб почв методом конверта. Растительные же образцы отбирались в конце вегетационного периода, когда концентрация ТМ в растениях достигает своего годового максимума. Элементный состав исследуемой группы ТМ был выбран исходя из предварительного анализа ранее выполненных и литературных данных, в которых описаны факты превышения уровней ПДК в почвенных и растительных образцах по Cu, Zn и Pb. Из них, согласно ГОСТ 17.4.1.0283, Zn и Pb отнесены к первому классу опасности (высоко опасные), а Cu – ко второму (умеренно опасные).

Для анализа исследуемых образцов применялся метод атомно-адсорбционной спектrophотометрии с использованием спектрофотометра и весов. Исследования растительных образцов проводились в соответствии с ГОСТ 30692, ГОСТ 30178, почвенных образцов в соответствии с РД 52.18.289 (подвижная форма). Эколого-токсикологическая оценка полученных данных проводилась на основе ПДК тяжёлых металлов в сырье и пищевых продуктах (СанПиН 2.3.2.1078-01) и ПДК химических веществ в почвах (Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06).

Анализ полученных данных (табл. 1, 2) позволил выявить особенности накопления группы доминирующих в почвах городской среды ТМ в различных органах плодовых растений. В этой связи результаты исследования можно рассматривать в двух аспектах: один связан с охраной здоровья человека (при использовании плодовых растений, содержащих ТМ в пищу), а другой – с оценкой использования исследуемых плодовых деревьев в городских насаждениях.

Экспериментально установлено, что в исследуемых образцах, как почвенных, так и растительных, наблюдается превышение содержания ТМ. Анализы показали, что исследуемые таксоны яблонь даже в условиях превышения содержания подвижных форм меди в почвах выше уровня ПДК не сопровождается повышением концентрации этого элемента в вегетативных и генеративных органах растений. В свою очередь цинк аккумулируется плодами деревьев

Таблица 1 – Степень аккумуляции (мг/кг) ТМ вегетативными и генеративными органами *Malus cerasifera* Spach

металл	Cu				Zn				Pb			
	почва	стебель	листья	плод	почва	стебель	листья	плод	почва	стебель	листья	плод
№1	3,9	2,5	1,2	1,6	11,6	5,0	3,0	8,5	5,2	0,56	0,11	0,26
№2	5,1	3,3	0,8	1,3	15,4	8,8	6,3	9,6	7,1	0,46	0,12	0,38
№3	3,8	1,4	0,8	9,5	25,2	3,1	7,2	12,2	14,5	0,32	0,12	0,48
ПДК	3,0	10,0	10,0	10,0	23,0	5,0	5,0	5,0	6,0	0,4	0,4	0,4

Таблица 2 – Степень аккумуляции ТМ вегетативными и генеративными органами *Malus prunifolia* (Willd.)

металл	Cu				Zn				Pb			
	почва	стебель	листья	плод	почва	стебель	листья	плод	почва	стебель	листья	плод
№1	2,0	4,5	2,1	1,5	10,4	4,2	2,1	7,5	4,9	0,36	0,11	0,54
№2	5,9	6,2	6,6	1,2	25,8	7,3	6,6	9,2	7,3	0,56	0,13	0,43
№3	6,6	3,4	0,11	1,6	28,3	6,7	0,11	15,9	12,8	0,26	0,13	0,38
ПДК	3,0	10,0	10,0	10,0	23,0	5,0	5,0	5,0	6,0	0,4	0,4	0,4

в количестве, превышающем ПДК, даже в ситуациях, когда его уровень накопления в почве не достигал предельных концентраций. При этом ПДК цинка в плодах превышал предельные значения в 1,5–3,2 раза. Похожая ситуация складывается и с динамикой свинца в системе почва – вегетативные органы растений – плод. Разница заключалась лишь в том, что превышения ПДК свинца в плодах яблонь оказались минимальными (не более чем в 1,35 раз).

Полученные результаты показывают, что плодовые насаждения семейства Rosaceae (в частности яблони вишнеплодной (*Malus*

cerasifera Spach.) и яблони китайской *Malus prunifolia* (Willd.)), несмотря на превышения в их вегетативных и генеративных органах ТМ, способны к многолетней вегетации в условиях значительной техногенной нагрузки на экосистему города Оренбурга в виде значительного содержания в почвах ТМ. Однако превышения ПДК в плодах этих растений цинка и свинца в условиях слабой экологической культуры населения города ограничивают их использования в качестве материала для посадки в парковых зонах, в скверах и на улицах города.

3.03.2017

Список литературы:

1. Алексеев, Ю.В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 147 с.
2. Обзор состояния и загрязнений окружающей среды Оренбургской области. 2013 год / Оренбургский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал ФГБУ «Приволжское УГМС». – Оренбург, 2014. – 53 с.
3. Русанов, А.М. Характеристика эколого-геохимического состояния почв территории Оренбургской области / А.М. Русанов, Е. В. Блохин, Н. Н. Зенина // Гигиена и санитария: Медицина. – 2002. – №5. – С. 15–17.
4. Русанов, А.М. Мониторинг снегового покрова города Орска / А.М. Русанов, Д.М. Турлибекова // Материалы V межд. НПК «Урбозкосистемы: проблемы и перспективы развития». – Ишим, 2010. – С. 220–221.
5. Содержание тяжелых металлов в плодах яблони в городских условиях / А.М. Русанов, Е.З. Савин, С.Э. Нигматянова, М.М. Нигматянов, М.А. Степанова // Вестник ОГУ. – 2011. – №1. – С. 148–151.
6. Русанов, А.М. Тяжёлые металлы в плодах шиповника парков города Орска / А.М. Русанов, Д.М. Турлибекова // Вестник ОГУ. – 2011. – №12. – С. 299–300.
7. Содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах г. Орска / А.М. Русанов, А.В. Тесля, Н.И. Прихожай, Д.М. Турлибекова // Вестник ОГУ. – 2012. – №4. – С. 226–229.
8. Фитоиндикация загрязнения почв придорожных территорий города Оренбурга / А.М. Русанов, Т.С. Воеводина, А.В. Новоженнин, Н.М. Кириллова // Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове. – Томск, 2015. – С. 242–245.
9. Рябухина, М.В. Газоустойчивость древесных растений в пределах городской черты на примере сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / М.В. Рябухина, И.Н. Брежнева // Тр. Института Биоресурсов и прикладной экологии. – 2009. – Вып. 8. – С. 30–34.
10. Степанова, М.А. Тяжёлые металлы в почвах и растениях улиц города Бузулука (на примере рябины обыкновенной) / М.А. Степанова // Вестник ОГУ. – 2011. – №12.
11. Степанова, М.А. Аккумуляция тяжёлых металлов яблоней дикой (*Malus Sylvestris*) в условиях города Бузулука / М.А. Степанова // Вестник ОГУ. – 2013. – №6.
12. Мониторинг земель Оренбургской области / О.Б. Степанова, А.М. Русанов, С.А. Юров, Д.Г. Поляков // Оренбург. – 2011. – 28 с.
13. Ambika, Asati Effect of Heavy Metals on Plants: An Overview / Ambika Asati, Mohnish Pichhode, Kumar Nikhil // International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management (IJAIEM). – Volume 5. – Issue 3. – March 2016. – P. 56–66.
14. Heavy Metals: Biological Importance and Detoxification Strategies / M. Oves, M. Saghir Khan, A. Huda Qari, M. Nadeen Felemban, T. Almeelbi // J Bioremed Biodeg, 2016. – 7: 334. – doi: 10.4172/2155-6199.1000334.
15. Environmental Health Risk Estimation of Heavy Metals Accumulated in Soil and Cultivated Plants Irrigated with Industrial Effluents / G.C. Kisku, Markandeya, H. Kushwaha, S. Arora // Adv Recycling Waste Manag, 2016. – 1: 108. – doi: 10.4172/arwm.1000108.
16. Soil and vegetables enrichment with heavy metals from geological sources in Gilgat, Pakistan / S. Khan, S. Rehman, A.Z. Khan, M.T. Shah // Ecoto. Environ. Safty, 2010. – 73: 1820–1827.
17. Metal accumulation in a potential winter vegetable mustard (*brassica campestris* L.) irrigated with different types of waters in Punjab, Pakistan / Zafar Iqbal Khan, Kafeel Ahmad, Muhammad Ashraf, Sumara Yasmeen, Asma Ashfaq, Muhammad Sher // Pak. J. Bot., 2016. – 48(2): 535–541.

Сведения об авторе:

Скворцова Т.А., аспирант кафедры биологии и почвоведения
химико-биологического факультета Оренбургского государственного университета
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, e-mail:atanya-92@mail.ru