



УДК 57.084.2

БИОИНДИКАЦИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ПОЧВ ШАРТАШСКОГО ЛЕСОПАРКА ГОРО- ДА ЕКАТЕРИНБУРГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ *RAPHANUS SATIVUS*

БАГЛАЕВА
Елена Михайловна

*Институт промышленной экологии УрО РАН,
elenbaglaeva@gmail.com*

РАХМАТОВА
Анна Юрьевна

*Уральский федеральный университет,
anya_rahmatova@mail.ru*

КРАМАРЕНКО
Анна Александровна

*Уральский федеральный университет,
anya_rahmatova@mail.ru*

СЕРГЕЕВ
Александр Петрович

*Институт промышленной экологии УрО РАН,
alexanderpsergeev@gmail.com*

Ключевые слова:
биоиндикация
Raphanus Sativus
загрязнение почв
цинк
лесопарки

Аннотация: Исследован рост редиса *R. Sativus* для биоиндикации состояния урбанизированной почвы Шарташского лесопарка города Екатеринбурга на 10 пробных площадках. Методом РФА измерен элементный состав редиса и почвы, проведена оценка перехода цинка, титана, железа и кальция из почвы в растение. Редис может выступать индикатором загрязнения почвы, в частности, цинком.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Н. В. Василевская

Получена: 11 января 2016 года

Подписана к печати: 26 мая 2016 года

Введение

В гетерогенных условиях современного города природная среда подвержена комбинированному техногенному загрязнению, уровень которого повышается с ростом численности городского населения и развитием промышленных зон, примыкающих к жилым кварталам (Алексеев, 2000; Воробейчик, Садыков, 1994). Необходимость экологических исследований парков, лесопарков, дендрариев обусловлена их функциональным назначением: они являются зонами отдыха взрослых и детей (Власенко, 2000; Залесов, Колтунов,

2009). В настоящее время обязательный локальный государственный мониторинг этих объектов не предусмотрен законодательством. Екатеринбург – крупнейший промышленный агломерат на Среднем Урале, изучение уровня нагрузки почвенно-растительного комплекса лесопарков и их компенсационных возможностей является теоретически и практически важной задачей. Вместе с тем уровни техногенного загрязнения лесопарков города Екатеринбурга остаются малоизученными (Залесов, Колтунов, 2009), отсутствуют работы по комплексному изучению системы почва – растение.

Уровень содержания химических элементов в компонентах природной среды (почве, воде и т. п.), соответствующий условиям нормального состояния и функционирования живых организмов, в естественных условиях сильно варьируется и зависит, прежде всего, от физико-химических свойств самой среды. По этой причине сравнение содержания поллютанта с его предельно допустимой концентрацией не дает информации о количестве, способном осуществить переход в растение и далее по пищевой цепи к человеку. Своевременный экологический контроль качества среды обитания выявляет негативные изменения в экосистемах на ранней стадии, до появления визуально наблюдаемых повреждений растительности. Использование в экологическом контроле методов биоиндикации позволяет получить интегральную характеристику состояния компонентов природной среды (почвы, атмосферного воздуха, биоты и др.) как среды обитания любой биологической популяции, включая человека (Шульченко, Федорова, 2000). Для идентификации изменений содержания поллютантов в окружающей среде применяются высокочувствительные к антропогенному загрязнению организмы-индикаторы. Растения, в том числе и культурные, являются информативным индикатором уровня доступных для животных и человека форм химических элементов, главным образом тяжелых металлов, в окружающей среде (Дубинин, Пашин, 1978; Кашин, Иванов, 1998).

В зависимости от типа реакции на содержание тяжелых металлов в окружающей среде выделяют растения-аккумуляторы, накапливающие загрязнитель, индикаторы, отражающие текущее состояние, и растения, исключающие передачу металла из среды (Verma et al., 2013). При диагностике загрязнений компонентов окружающей среды различными поллютантами используются растения, обладающие достоверно известной реакцией на их воздействие, широко применяются салат-латук, полевица побегообразующая, сосна обыкновенная, береза повислая, крапива двудомная (Verma et al., 2013; Криволуцкий, 1991). Некоторые из них могут быть полезны для биоиндикации состояния лесопарков, но не позволя-

ют оценить текущую техногенную нагрузку, поскольку растут на территории, много лет подвергающейся постоянно возрастающему антропогенному воздействию. Следовательно, определение фоновых уровней аккумуляции является важной задачей.

Редис часто используется в качестве тест-объекта для исследования загрязнения почв, что обусловлено его чувствительностью к тяжелым металлам (кадмий, цинк, медь и никель), высокой энергией прорастания семян и скороспелостью культуры (Pandey, 2006).

Цель работы – оценить возможность использования редиса *R. sativus* как биоиндикатора состояния почвы урбанизированной территории на примере Шарташского лесопарка города Екатеринбурга.

Материалы

Для биоиндикации были использованы семена редиса европейской группы *Raphanus sativus* L. *convar radicola* (IPNI, 2016) сорта Скороспелка нежная из одной партии с коротким вегетационным периодом (16–18 дней от всходов до созревания корнеплода). Качество семян соответствовало ГОСТ Р 52171-2003. Для получения однородной выборки 18 г семян были очищены от заведомо невсхожих семян и перемешаны. Из этой выборки было сформировано 12 проб по 25 семян. Пробы были рассортированы в пакеты, взвешены и промаркированы. Перед посадкой семена замачивали на 12 часов в питьевой воде.

Лесопарк Шарташский площадью около 777 га расположен в восточной части города Екатеринбурга в прибрежной полосе озера Шарташ. Это одно из самых живописных и активно посещаемых мест отдыха. Преобладают сосновые разновозрастные леса, местами с примесью березы и липы (Колесников и др., 1973; Архипова и др., 2010). Почвы преимущественно дерново-подзолистые, встречаются болотные низинные торфяные (Гафуров, 2008). Со стороны города на подходе к лесопарку находится небольшой гранитный массив Каменные палатки, являющийся историческим и природным памятником. На территории парка расположено несколько садово-огородных товариществ.

10 проб семян редиса *R. sativus* (пробы G01-G10) было высажено на 10 пробных площадках 01.07.2015 г. в Шарташском лесопарке (рис. 1) в направлении на север от автодороги (ул. Высоцкого) до озера Шарташ. Фактическое их расположение определялось при проведении опробования непосредственно на местности, исходя из необходимости выбора участка высадки редиса в малопосещаемых местах лесопарка. Поверхность места предполагаемой высадки семян площадью 0.4 x 0.4 м очищалась от дикорастущих растений и хвойно-листового опада, естественный грунт рыхлился на глубину 12–15 см. Семена (25 штук) высаживались по треугольной сетке со стороной 5 см на глубину 1.5 см (площадь посева составляла около 0.06 м²). После посадки семена однократно были политы питьевой водой. Географические координаты определялись с помощью GPS-приемника (см. рис. 1). Кон-

трольная проба (проба G11) была высажена 01.07.2015 г. в грунт известного состава (почвогрунт Универсальный ГОСТ 25100-95), предназначенный, в частности, для выращивания овощных культур. Почвогрунтом Универсальным наполнили пластиковый ящик размерами 0.35 x 0.35 м глубиной 40 см, в центр которого по аналогии с высадкой в естественных условиях с однократным поливом питьевой водой при посадке по треугольной сетке со стороной 5 см на глубину 1.5 см была высажена контрольная проба G11. Ящик был помещен в затененное место во дворе на территории Института промышленной экологии. Проба G12 была использована для элементного анализа семян. Всходы росли в естественных условиях без активного вмешательства (прополки, полива). Была зафиксирована 100 % всхожесть семян для всех проб.

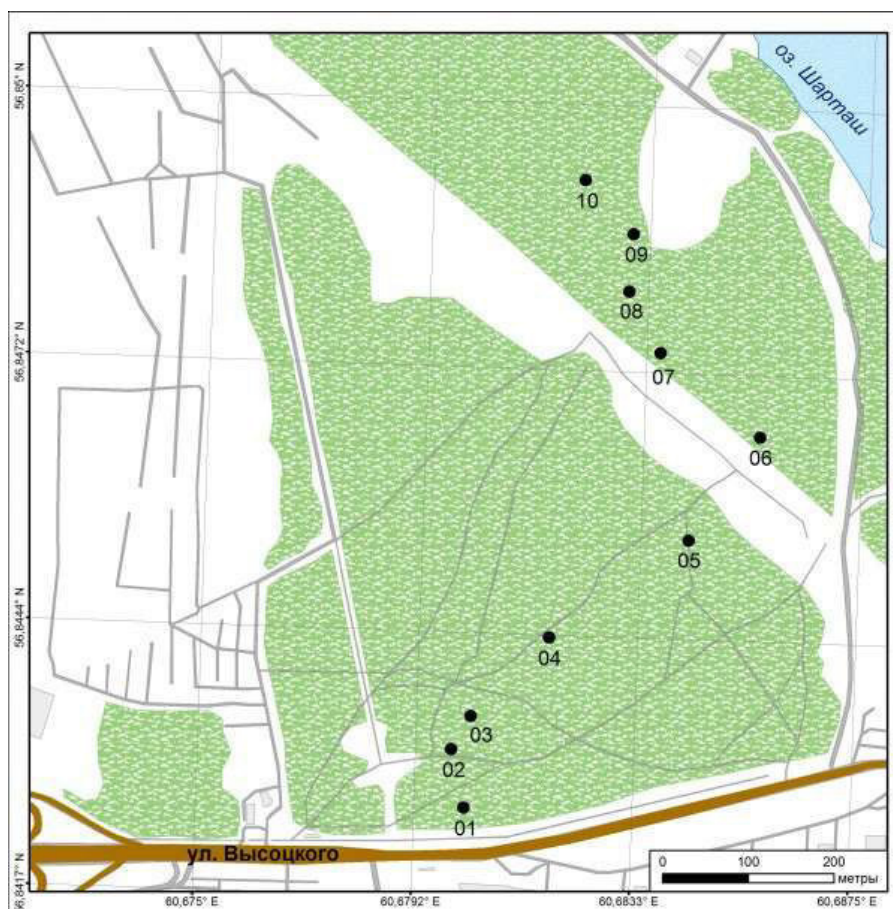


Рис. 1. Картосхема пробных площадок в Шарташском лесопарке

Fig. 1. The schematic map of the sample plots in Shartashsky forest park

Образцы были собраны на 20-й день с момента посадки (20.07.2015 г.), после окончания заявленного производителем семян срока созревания корнеплода (16–18 дней). Выживаемость также составила 100 % (с каждой площадки были собраны 25 растений).

Отбор проб почвы

Для изучения техногенного загрязнения почвы Шарташского лесопарка города Екатеринбурга было отобрано 10 почвенных проб (пробы S01-S10) на 10 пробных площадках высадки редиса после уборки урожая (см. рис. 1). Проба S00 представляла собой грунт универсального состава, в который высаживали контрольную пробу семян.

Поверхность места предполагаемого отбора пробы почвы размечалась в виде квадрата со стороной около 0.25 м. В вершинах и в центре размеченного квадрата пробоотборником из нержавеющей стали диаметром 0.05 м отбирались пять кернов почвы на глубину 0.05 м. Отобранные керны объединялись в одну пробу и запаковывались в двойные полиэтиленовые пакеты для пищевых продуктов. На внутреннем пакете маркером наносился идентификатор пробы.

Условия эксперимента

Во время проведения эксперимента дневная температура не превышала +16 °С, ночью опускалась до +2 °С. Наблюдалась переменная или постоянная облачность в течение дня. Из 20 дней эксперимента 12 дней были с осадками в виде дождя, в среднем выпадало до 6 мм/сут. (Погода и климат..., 2015). Освещенность земной поверхности измерялась люксметром Эколайт-02 в полуденные часы, освещенность колебалась от 100 лк (соответствует пасмурному осеннему дню) до 12000 лк (соответствует солнечному дню в тени).

Методы

Анализ проб

Пробы биоматериала (молодые растения целиком без дифференциации по органам) были подготовлены по стандартной методике для измерения элементного состава методом рентгенофлуоресцентного

анализа на приборе INNOV X Systems X-5000, Olympus в режиме Почва. Использование INNOV X Systems X-5000 не требует специальной пробоподготовки для анализа материала. Перед взвешиванием корни проб биоматериала с каждой площадки были осторожно очищены от почвы, промыты дистиллированной водой, подсушены фильтровальной бумагой. Затем каждая проба (растения целиком) была взвешена. С целью концентрирования измеряемых элементов пробы биоматериала были высушены до воздушно-сухого состояния сначала при комнатной температуре в проветриваемом помещении, затем в термостате суховоздушном TC1/80 при температуре 40 °С и перемолоты до однородного состояния (до фракции 1 мм). После перемалывания были измерены массы сухих проб и проведен их анализ на спектрометре INNOV X Systems X-5000.

Для контроля результатов измерений, выполненных на INNOV X Systems X-5000, был проведен количественный химический анализ выборочно растительных проб на титан, железо, цинк в аккредитованном химико-аналитическом центре ИПЭ УрО РАН на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой ELAN 9000, Perkin Elmer. Результаты измерений разными методами совпали в пределах погрешности.

Отобранные пробы почвы были высушены согласно ГОСТ 27593-88 до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре и перемолоты до фракции 1 мм с целью гомогенизации. После перемалывания был измерен элементный состав почвенных проб методом рентгенофлуоресцентного анализа на приборе INNOV X Systems X-5000 (специальной пробоподготовки не требует).

Обработка результатов

Влияние естественных условий, сложившихся при проведении эксперимента, на рост редиса оценивали, сравнивая полученный за 20 дней прирост биомассы редиса относительно ожидаемого прироста за вегетационный период. Прирост биомассы редиса был рассчитан как отнесенное к площади посева изменение массы пробы биоматериала за период от высадки семян до отбора пробы. Ожидаемый за вегетационный период прирост биомассы 25 семян

при заявленной производителем семян массе корнеплода на момент созревания не менее 10 г и площади посева 0.06 м² был принят 250 г/0.06 м² \approx 4 кг/м².

Сравнительный анализ возможного перехода элементов из почвы в растения был проведен по результатам элементного анализа проб биоматериала и почвы. Для исключения ошибок измерений, связанных с ограниченными размерами измерительного окна рентгенофлуоресцентного спектрометра (площадь активного окна 12.5 мм²) и неоднородностью исследуемого материала (что в большей степени характерно для почвенных образцов), каждая проба десятикратно перемешивалась и измерялась. В качестве среднего содержания элемента в пробе использовалось среднее значение по десяти измерениям. Для оценки ошибки измерения были рассчитаны среднеквадратические отклонения от среднего содержания элементов для каждой пробы.

Связь между концентрациями обнаруженных элементов в почве и растениях была изучена методом корреляционного анализа. Ранговый коэффициент корреляции Спирмена был использован в качестве меры тесноты линейной связи между содержанием элемента в почве и в растении. За сильную принята связь с абсолютным значением коэффициента корреляции больше 0.85, за слабую – с коэффициентом корреляции меньше 0.6.

Результаты

Шарташский лесопарк, с одной стороны, является урбанизированной территорией, подвергающейся систематическому воздействию расположенных вблизи предприятий, с другой – сохраняет природный ландшафт и является местом отдыха горожан. Также на территории парка находятся коллективные сады.

Пробы G01-G10, высаженные в районе Шарташского лесопарка, на момент сбора (20-й день со дня посадки) не достигли, как ожидалось, периода созревания (сформированных корнеплодов массой 10–12 г), а достигли ювениального этапа развития (этапа молодости). Для корнеплодных растений этот этап характеризуется усиленным набором зеленой массы, формированием наземной части, происходит от прорастания семени до закладки цветочных зачатков (Род Редька..., 1979).

Растения контрольной группы (проба G11) на момент сбора (20-й день со дня посадки) также не достигли периода созревания, а достигли ювениального этапа развития, но их масса существенно превышала массу проб, высаженных в естественный грунт. На рис. 2 представлены для сравнения контрольная проба и проба, выросшая на исследуемой урбанизированной территории. Измеренные сырая и сухая массы проб биоматериала приведены в табл. 1



Рис. 2. Контрольная проба G11 (слева) и проба G05 (справа)

Fig. 2. The control sample G11 (left) and test sample G05 (right)

Таблица 1. Масса растительных проб и содержание в них некоторых химических элементов по результатам РФА

№ пробы	Масса проб, г		Ca		Ti		Fe		Zn	
	сырая	сухая	среднее содержание, мг/кг	СКО, мг/кг	среднее содержание, мг/кг	СКО, мг/кг	среднее содержание, мг/кг	СКО, мг/кг	среднее содержание, мг/кг	СКО, мг/кг
G01	2.09	0.16	22066.9	1042.2	424.4	61.3	4517.9	505.8	296.3	23
G02	1.37	0.16	27828.3	3597.1			1665.1	190	658	39.1
G03	2.79	0.24	27231	2115.9	103.3	18.7	1591.7	286	616.4	42.8
G04	2.06	0.15	32668.7	8323	332.8	77	2400.9	352.7	690.8	34.1
G05	2.4	0.19	34401.8	4754.2			849.5	71.2	1221.3	42.5
G06	4.07	0.29	45589.4	14286.8	194.9	48.6	2461.6	540.9	389.8	36.3
G07	2.42	0.23	35659.2	3653.3			1335.6	131.4	1148.9	118.5
G08	2.21	0.18	44398.7	5476.5	79	6	1503.6	117.6	1362.4	84.4
G09	1.98	0.15	34227.8	4633	210.6	69.9	1787.8	258.4	1531	124
G10	3.61	0.23	40937.6	6039.1			1293	196.6	1324.5	54.7
G11	38.67	2.78	50789	5985			381.9	37.5	133.2	9.5
G12	0.26	0.26	4534	1037.5	113.8	14.8	4517.9	505.8	296.1	23

Примечание. СКО – среднеквадратическое отклонение.

Зеленая масса контрольной пробы (G11) существенно превышала массу проб (G1-G10), высаженных в естественный грунт. Прирост биомассы с площади посева (0.06 м²) за период проведения эксперимента для разных пробных площадок составил от 30 до 60 г/м² для проб, высаженных в парке, и около 600 г/м² для контрольной пробы. Таким образом, относительный прирост биомассы по сравнению с ожидаемым за вегетационный период приростом (~250 г с 0.06 м²) для разных пробных площадок составил 1–2 % для проб, высаженных в парке, и 15 % для контрольной пробы.

В результате химического анализа проб биоматериала с помощью РФА были обнаружены фосфор, сера, хлор, калий, кальций, титан, железо, иттрий, цинк, торий. Содержания таких элементов, как серебро, кадмий, ванадий, хром, марганец, золото, медь, кобальт, никель, селен, рубидий, молибден, кадмий, в большей части измерений оказались ниже предела обнаружения. При анализе проб почвы были обнаружены фосфор, калий, кальций, ти-

тан, железо, цинк. Содержания других элементов в большей части проб оказались ниже предела обнаружения РФА.

Обработанные результаты рентгенофлуоресцентного анализа (средние по десяти измерениям содержания некоторых элементов и их среднеквадратические отклонения) проб семян, биоматериала, универсального почвогрунта и почвы представлены в табл. 1–2.

Для оценки взаимосвязи содержаний химических элементов в системе «почва – растение» был проведен корреляционный анализ. Результаты корреляционного анализа содержаний элементов в пробах растительности и почвы представлены в виде схемы, в которой корреляционные связи убывают слева направо:

Ti (0.94) > Zn (0.68) > P (0.55) > Ca (0.53) > Fe (0.45) > K (0.40).

В скобках указаны коэффициенты корреляции Спирмена (сравнивали содержания обнаруженных элементов в растениях и в почве).

Таблица 2. Содержание химических элементов в почвах Шарташского лесопарка и универсальном грунте

№ пробы	Ca		Ti		Fe		Zn	
	среднее содержание, мг/кг	СКО, мг/кг	среднее содержание, мг/кг	СКО, мг/кг	среднее содержание, мг/кг	СКО, мг/кг	среднее содержание, мг/кг	СКО, мг/кг
S00	58680.4	4208	257.1	88.7	5640.3	1118.4	43.1	9.6
S01	8323.7	456.3	2617.7	115.7	29572.8	1462.5	50.6	5.4
S02	14641.5	3293.3	1359.1	120.8	26229.8	1307.8	207.3	36.6
S03	8472.4	301.4	1620.0	128.5	23560.8	1560.7	73.0	9.9
S04	6940.8	160.6	2235.5	76.7	22763.1	664.5	79.6	8.6
S05	13105.3	1240.2	1098.1	92.1	27604.8	1517.0	334.1	51.5
S06	8953.6	476.0	2048.2	157.2	25482.9	1003.5	91.5	11.5
S07	8589.9	468.1	1967.1	98.4	25494.7	893.5	135.0	11.3
S08	9467.5	554.9	1597.9	113.6	25129.0	1023.1	177.0	15.0
S09	8284.1	574.7	1898.2	153.4	28068.7	1705.9	133.6	34.9
S10	8479.0	278.6	1720.2	103.9	20103.0	746.3	105.3	9.6

Обсуждение

Пробы редиса G01-G10, высаженные в районе Шарташского лесопарка, и контрольная проба G11 на момент сбора (20-й день со дня посадки) достигли ювениального этапа развития (этапа молодости). Хотя редис устойчив к низким температурам, но для формирования корнеплодов требует тепла и много солнца при коротком световом дне, а также достаточное количество влаги. Так как используемые семена были жизнеспособны (всхожесть 100 %) со 100 % выживаемостью, в данном эксперименте низкий прирост биомассы всех проб обусловлен слабой освещенностью при длинном световом дне и низкими температурами. Отличие прироста биомассы контрольной пробы и высаженных в естественный грунт проб связано со свойствами подзолистых почв лесопарка.

Содержания фосфора, серы, хлора, калия, кальция, титана, железа, иттрия, цинка, тория (см. табл. 1) в пробах редиса, обнаруженные с помощью РФА, сравнимы с концентрациями этих элементов, приведенными в литературе (Кабата-Пендиас, Пендиас, 2001; USDA, 2015). В большинстве проб редиса, выращенного в парке, обнаружено накопление цинка в растениях по сравнению с семенами редиса (проба G12).

Используемые в эксперименте семена *Raphanus sativus* – условно чистый биоматериал, предназначенный для получения пищевой продукции, с несформированными механизмами адаптации к техногенной нагрузке, характерными для растений, много лет обитающих на исследуемой территории. Накопление цинка в растениях редиса означает высокое содержание доступной для поглощения растениями формы цинка в почвах парка и переход его из почвы в растения в концентрациях, превышающих ПДК (по СанПиН 42-123-4089-86, для сырых овощей и фруктов ПДК цинка определена на уровне 10 мг/кг сырой массы).

При анализе проб почвы лесопарка была отмечена высокая изменчивость элементных содержаний: фосфора, калия, кальция, титана, железа, цинка (см. табл. 2). Содержание тяжелых металлов в почве зависит от типа и свойств почвы и сильно варьируется даже в пределах малых площадей (Сергеев и др., 2013), поэтому определение содержания растворимых и валовых форм металла в почве и сравнение его содержания с санитарно-гигиеническим нормативом, например предельно допустимой концентрацией, или фоновым значением территории не позволяет количественно оценить поглощение этого металла растениями, а далее животными.

Содержание цинка почти во всех пробах почвы превышает как предельно-допустимые концентрации (ориентировочное валовое содержание для подзолистых почв 55 мг/кг (ГН 2.1.7.2042-06)), так и фоновое содержание 49 мг/кг в дерново-подзолистых почвах (Беспамятнов, Кротов, 1985). В поверхностных слоях почв мира средние содержания цинка колеблются в пределах 17–125 мг/кг (Кабата-Пендиас, Пендиас, 2001); на Урале содержание цинка в почвах, по разным данным, варьируется от 3 до 86 мкг/кг (Ильин, 1991; Власенко, 2000). Обнаруженное загрязнение почвы Шарташского лесопарка цинком согласуется с данными по содержанию тяжелых металлов в почве лесопарков Екатеринбурга, приведенными С. В. Залесовым, Е. В. Колтуновым (Залесов, Колтунов, 2009).

По результатам корреляционного анализа содержаний элементов в пробах растительности и почвы, наиболее сильная корреляционная связь обнаружена в растениях и почве для титана (коэффициент корреляции Спирмена 0.94), можно говорить о закономерной связи изменчивости содер-

жаний титана в растениях с изменчивостью его содержания в почве. Обнаруженное содержание титана в почвах парка не превышает кларк в почвах мира (4600 мг/кг), содержание титана в растениях также существенно ниже кларкового содержания в золе растений (1000 мг/кг), приведенного в литературе (Виноградов, 1952). Загрязнения титаном исследуемой почвы не обнаружено, сделать вывод по имеющимся данным о накоплении этого металла в редисе нельзя. Также не обнаружено достоверного накопления железа.

Сильная связь (коэффициент корреляции Спирмена 0.68) обнаружена также между изменчивостью содержаний цинка в растениях и почве. На рис. 3 представлено распределение цинка в пробах растений и почвы. Превышение допустимого уровня валового содержания цинка в почве в большей части приводит к превышению предельно допустимого уровня концентрации цинка в растениях. Это позволяет использовать *Raphanus sativus* как биоиндикатор загрязнения почвы цинком.

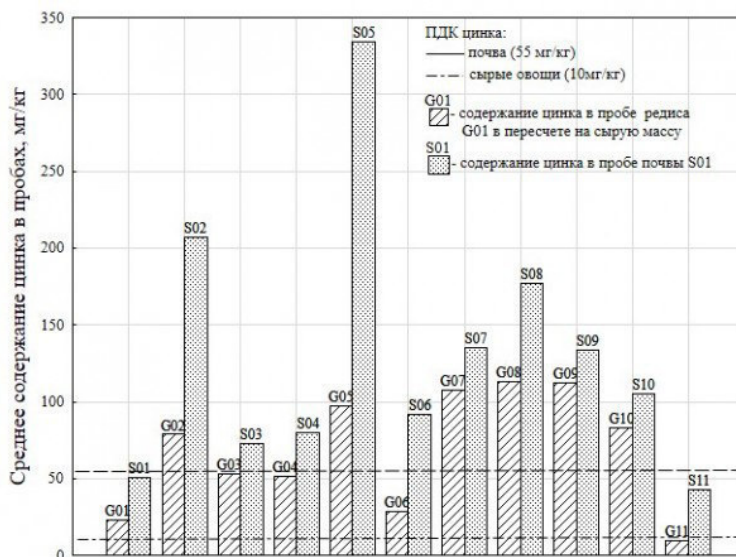


Рис. 3. Среднее содержание цинка в растительных и почвенных пробах

Fig. 3. An average Zinc content in plant and soil samples

Заключение

На примере Шарташского лесопарка города Екатеринбурга оценена возможность использования редиса *R. Sativus* как биоиндикатора состояния почвы урбанизиро-

ванной территории. Показано, что *R. sativus* может выступать индикатором загрязнения почвы лесопарков, в частности, цинком. Обнаружено превышающее ПДК загрязнение почвы и образцов редиса цинком. Для диагностики загрязнений почвы

лесопарка в дальнейшем будет полезно определить детально реакцию редиса на содержание загрязняющих веществ: оценить сроки созревания корнеплодов при

выращивании в загрязненной почве и дифференцировать накопление цинка по органам.

Библиография

- Алексеев В. А. Экологическая геохимия. М.: Логос, 2000. 627 с.
- Архипова Н. П., Богоявленский Л. С., Смирнов С. Н. Лесопарки Екатеринбурга, 2010. URL: http://enc-dic.com/enc_ekateryn/Lesoparki-ekaterinburga-170/ (дата обращения 17.02.2016)
- Беспамятнов Г. П., Кротов Ю. А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде: Справочник. Л.: Химия, 1985. 528 с.
- Виноградов А. П. Основные закономерности распределения микроэлементов между растениями и средой. Микроэлементы в жизни растений и животных. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 270 с.
- Власенко В. Э. Особенности аккумуляции химических элементов в отдельных компонентах лесных экосистем Среднего Урала в условиях аэротехногенного загрязнения: Дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2000. 131 с.
- Воробейчик Е. Л., Садыков О. Ф. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. 280 с.
- Гафуров Ф. Г. Почвы Свердловской области. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. 391 с.
- ГН 2.1.7.2042-06. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М.: Госкомсанитариздат, 1995.
- Дубинин Н. П., Пашин Ю. В. Мутагенез и окружающая среда. М.: Наука, 1978. 124 с.
- Залесов С. В., Колтунов Е. В. Содержание тяжелых металлов в почвах лесопарков г. Екатеринбурга // Аграрный вестник Урала. 2009. № 6 (60). С. 71–72.
- Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. М.: Наука, 1991. 152 с.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 2001. 440 с.
- Кашин В. К., Иванов Г. М. Особенности накопления свинца в растениях бассейна озера Байкал // Экология. 1998. № 4. С. 316–318.
- Колесников Б. П., Зубарева Р. С., Смолоногов Е. П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области: Практическое руководство. Свердловск: УФ АН СССР, 1973. 176 с.
- Кривошукский Д. А. Биоиндикация и биомониторинг / Отв. ред. Д. А. Кривошукский. М.: Наука, 1991. 288 с.
- Погода и климат. Погода в Екатеринбурге. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/weather.php?id=28440&bday=1&fday=20&amonth=7&ayear=2015> (дата обращения 29.11.2015).
- Род Редька – *Raphanus L.* // Флора европейской части СССР / Отв. ред. А. А. Фёдоров. Л.: Наука, 1979. Т. IV / Ред. Ю. Д. Гусев. С. 46–48.
- Сергеев А. П., Баглаева Е. М., Медведев А. Н. Анализ пространственных неоднородностей распределений хрома и никеля по результатам экологического скрининга поверхностного слоя почвы селитебных зон муниципального образования город Новый Уренгой // Вестник Уральского отделения РАН. Наука. Общество. Человек. 2013. № 3 (45). С. 232–242.
- Шунелько Е. В., Федорова А. И. Экологическая оценка городских почв и выявления уровня токсичности тяжелых металлов методом биотестирования // Вестник Воронежского государственного университета. География и экология. 2000. № 4. С. 77–83.
- IPNI The International Plant Names Index. URL: <http://www.ipni.org/ipni/idPlantNameSearch.do?id=924461-1> (дата обращения 15.03.2016).
- Pandey S. N. Accumulation heavy metals (cadmium, chromium, copper, nickel and zinc) in *Raphanus sativus L.* and *Spinacia oleracea L.* Plants Irrigated with Industrial Effluents // Journal of Environmental Biology. 2006. Vol. 27(2). P. 381–384.
- Verma D. K., Gupta A. P., Dhakeray R. Removal of Heavy Metals from whole sphere by plants working as bioindicators – A review // Basic Research Journal of Pharmaceutical Science. 2013. Vol. 1(1) P. 01–07.
- USDA National Nutrient Database for Standard Reference. URL: <http://ndb.nal.usda.gov/> (дата обращения 29.08.2015).

BIONDICATION OF SHARTASHSKY FOREST PARK URBAN SOIL OF EKATERINBURG USING *RAPHANUS SATIVUS*

BAGLAEVA
Elena Mikhailovna

*Institute of Industrial Ecology UB RAS,
elenbaglaeva@gmail.com*

RAKHMATOVA
Anna Yur

Ural Federal University, anya_rahmatova@mail.ru

KRAMARENKO
Anna Aleksandrovna

Ural Federal University, anya_rahmatova@mail.ru

SERGEEV
Aleksandr Petrovich

*Institute of Industrial Ecology UB RAS,
alexanderpsergeev@gmail.com*

Key words:

bioindication
Raphanus Sativus
soil pollution
zinc
forest park

Summary: Ekaterinburg is a large industrial center of Russia. The pollution of the environment with heavy metals is increasing due to the industrialization and human activities. Heavy metals present a very serious problem for all living beings. The aim of this paper is to identify the pollutant content changes in the environment using *Raphanus Sativus*. For bioindication of urbanized soil in Shartashsky forest park of Ekaterinburg city the growth of *Raphanus Sativus* was investigated at ten sample plots and a control one. The element concentration in the plants and soil samples was determined by X-ray analysis. The transition of zinc, titanium, iron and calcium from the soil into the *Raphanus Sativus* was assessed. The results of the correlation analysis of the content of chemical elements in the samples of plants and soil can be represented as a scheme: Ti (0.94) > Zn (0.68) > Ca (0.53) > Fe (0.45). Spearman correlation coefficients are given in brackets. Zinc content in the soil and radish samples was found to be higher than the maximum allowable concentration defined in accordance with the Russian State Standard System. It is shown that radish can be used as an indicator of soil pollution with zinc.

Reviewer: N.V. Vasilevskaya

Received on: 11 January 2016

Published on: 26 May 2016

References

- Alekseenko V. A. Environmental geochemistry. M.: Logos, 2000. 627 p.
Arhipova N. P. Bogoyavlenskiy L. S. Smirnov S. N. Ekaterinburg forest parks. URL: http://enc-dic.com/enc_ekateryn/Lesoparki-ekaterinburga-170/ (data obrascheniya 17.02.2016)
Bespamyatnov G. P. Krotov Yu. A. The maximum allowable concentration of chemical substances. Reference book. L.: Himiya, 1985. 528 p.
Vinogradov A. P. Basic patterns of distribution of trace elements between plants and the environment. Trace elements in plant and animal life. M.: Izd-vo AN SSSR, 1952. 270 p.
Vlasenko V. E. Features of accumulation of chemical elements in separate components of the forest ecosystems of the Central Urals in terms of environmental contamination. Ekaterinburg, 2000. 131 p.

- Vorobeychik E. L. Sadykov O. F. Ecological standardization of technogenic pollution in terrestrial ecosystems (local level). Ekaterinburg: UIF «Nauka», 1994. 280 p.
- Gafurov F. G. The soils of the Sverdlovsk region. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2008. 391 p.
- Indicative limit standard concentration of chemicals in the soil. M.: Goskomsanizdat, 1995.
- Dubinin N. P. Pashin Yu. V. Mutagenesis and environment. M.: Nauka, 1978. 124 p.
- Zalesov S. V. Koltunov E. V. The heavy metal content in the soils of Ekaterinburg forest parks, Agrarnyy vestnik Urala. 2009. No. 6 (60). P. 71–72.
- Il'in V. B. Heavy metals in the soil – plant system. M.: Nauka, 1991. 152 p.
- Pendias A. Pendias H. Trace elements in soils and plants. M.: Mir, 2001. 440 p.
- Kashin V. K. Ivanov G. M. Properties of lead accumulation in the plants of the Lake Baikal basin, Ekologiya. 1998. No. 4. P. 316–318.
- Kolesnikov B. P. Zubareva P. C. Smolonogov E. P. Forest and plant conditions and forest types of the Sverdlovsk region. Sverdlovsk: UF AN SSSR, 1973. 176 p.
- Krivoluckiy D. A. Bioindication and biomonitoring, Otv. red. D. A. Krivoluckiy. M.: Nauka, 1991. 288 p.
- Weather and Climate. Weather in Yekaterinburg. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/weather.php?id=28440&bday=1&fday=20&amonth=7&ayear=2015> (data obrascheniya 29.11.2015).
- Raphanus L. Flora of the European part of the USSR, Otv. red. A. A. Fedorov. L.: Nauka, 1979. T. IV, Red. Yu. D. Gusev. P. 46–48.
- Sergeev A. P. Baglaeva E. M. Medvedev A. N. Analysis of heterogeneity in chromium and nickel spatial distribution by soil ecological screening in residential zones of Novy Urengoy municipality, Vestnik Ural'skogo otdeleniya RAN. Nauka. Obschestvo. Chelovek. 2013. No. 3 (45). P. 232–242.
- Shunel'ko E. V. Fedorova A. I. Environmental assessment of urban soils and detection of heavy metal toxicity level by biotesting, Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geografiya i ekologiya. 2000. No. 4. P. 77–83.
- IPNI The International Plant Names Index. URL: <http://www.ipni.org/ipni/idPlantNameSearch.do?id=924461-1> (data obrascheniya 15.03.2016).
- Pandey S. N. Accumulation heavy metals (cadmium, chromium, copper, nickel and zinc) in *Raphanus sativus* L. and *Spinacia oleracea* L. Plants Irrigated with Industrial Effluents, Journal of Environmental Biology. 2006. Vol. 27(2). P. 381–384.
- Verma D. K., Gupta A. P., Dhakeray R. Removal of Heavy Metals from whole sphere by plants working as bioindicators – A review, Basic Research Journal of Pharmaceutical Science. 2013. Vol. 1(1) P. 01–07.
- USDA National Nutrient Database for Standard Reference. URL: <http://ndb.nal.usda.gov/> (data obrascheniya 29.08.2015).