

ОЦЕНКА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА КРАСОДНЕВА КАК БИОИНДИКАТОРА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ

Л.Л. Седельникова

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск-90

Получены достоверные данные по содержанию 20 элементов в надземных (листья) и подземных (корневище) органах растений *Heimerocallis hybrida* (сорт *Regal Air*), произрастающих в условиях урбанизированной среды Новосибирской области. Исследования проведены с помощью метода рентгенофлуоресцентного анализа с синхротронным излучением. Показано, что максимальная концентрация большинства элементов приходится на органы растений, которые обитают в техногенной среде. Отмечено высокое содержание тяжелых металлов – свинца, цинка, железа, марганца, меди – в листьях. Установлена повышенная концентрация химических элементов в органах растений *Heimerocallis hybrida*, что позволяет утверждать, что они являются биоиндикаторами экологического состояния промышленно-транспортных зон.

Ключевые слова: элементный состав, РФА СИ, почва, корневище, лист, *Heimerocallis hybrida*, урбанизированная среда, Новосибирская область

Evaluation of the Elemental Composition of *Heimerocallis* as a Bioindicator of the Ecological State of the Urbanized Environment

L.L. Sedelnikova

Central Siberian Botanical Garden SB RAS, 630090 Novosibirsk-90, Russia

As a result, the study using the method of x-ray fluorescence analysis with synchrotron radiation (SRX RF), for the first time obtained reliable data on the content of 20 elements in the above-ground (leaves) and underground (rhizome) plant organs *Heimerocallis hybrida* (sort *Regal Air*) growing in an urban environment in the Novosibirsk oblast. It is shown that the maximum concentration of most elements falls on the organs of plants that live in a man-made environment. The high content of heavy metals – lead, zinc, iron, manganese, copper – in the leaves was noted. The increased concentration of chemical elements in the organs of plants *Heimerocallis hybrida*, which suggests that they are bioindicators of the ecological state of industrial transport zones.

Key words: elemental composition, SRXRF, soil, rhizome, leaf, *Heimerocallis hybrida*, urban environment, Novosibirsk oblast

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-05-62-66

Город Новосибирск — все-сторонне развитый мегаполис с широкой сетью производственных комплексов и развитой дорожно-транспортной инфраструктурой, которые являются источниками поступления в атмосферу и почву химических элементов, в том числе и тяжелых металлов. Это обуславливает необходимость контроля экологического состояния почвы и атмосферы. Большую роль в этом играют растения, представляющие ценность как чувствительные биоиндикаторы поглощения химических

элементов из окружающей среды. Использование декоративных растений в благоустройстве и озеленении производственных территорий позволяет оценить их адаптационную способность к стрессовым состояниям в условиях загрязнения. Опыт применения растений в качестве биоиндикаторов для изучения загрязнения промышленно-транспортных территорий положителен [1–5]. Использование рентгенофлуоресцентного анализа с синхротронным излучением (РФА СИ) вносит новизну в данное исследование.

Цель работы — определение химических элементов и их сравнительный анализ в органах *Heimerocallis hybrida*, произрастающих в промышленно-транспортных зонах Новосибирской области.

В качестве объектов исследования служили образцы надземных (листья) и подземных (корневище) органов лилейника гибридного сорта Регал Айр (рис. 1), которые выращивали на семи пробных площадках, расположенных в окрестностях г. Новосибирска (Советский район), г. Бердска (город-спут-

ник Новосибирска) и п.г.т. Кольцово (Новосибирская область) в местах, расположенных в промышленных зонах и вблизи автомагистральных дорог: 1 — г. Бердск, микрорайон Южный (ул. Белокаменная), в 50 м от главной дороги; 2 — г. Бердск (ул. Боровая), в 5 м от главной дороги по направлению к лесхозу; 3 — п.г.т. Кольцово, в зоне 50 м от главной дороги и Научно-производственного объединения "Вектор" (ул. Векторное шоссе); 4 — п.г.т. Кольцово, в 5 м от второстепенной дороги (ул. Промзона); Советский район г. Новосибирска: 5 — левый берег ГЭС, в 50 м от главной дороги и ФГУП Опытного завода СО РАН (ул. Софийская); 6 — правый берег м-р Шлюз, на пересечении ул. Русской и Бердского шоссе, в 5 м от главной дороги; 7 — в 50 м от главной дороги и завода железобетонных изделий (ЖБИ, ул. Плотинная). Контролем служили растения, выращенные на участке цветочно-декоративных культур Центрального сибирского ботанического сада (ЦСБС СО РАН) с экологически благоприятной ситуацией. Карта-схема расположения пунктов отбора проб представлена на рис. 2.

Элементный состав определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА СИ), основанном на взаимодействии вещества с высокоэнергетическим электромагнитным излучением. Анализ элементного состава образцов растительности и почв проводили на станции элементного анализа ЦКП СЦСТИ Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (накопитель ВЭПП-3) [6]. Основные характеристики экспериментальной станции и методические аспекты работы описаны в работах [7, 8]. Пробы готовили из воздушно-сухого растительного сырья и почвы (1 г), предварительно растирая в агатовой ступке до порошкообразного состояния.

Далее их прессовали в специально сконструированной пресс-форме при давлении 100–150 кг/см² в таблетку массой 30 мг и диаметром 1 см, используя гидравлический пресс. Затем образец в виде таблетки упаковывали во фторопластовые кольца между двумя фторопластовыми пленками толщиной 5 мкм. Измерения проводили при энергии возбуждения 23 кэВ, время измерения спектра каждого образца составляло 300–500 с. Полученные флуоресцентные спектры обрабатывали пакетом программного обеспечения АХИЛ, разработанного для обработки сложных спектров. Концентрацию элементов определяли с использованием метода внешнего стандарта. Основным требованием при использовании внешнего стандарта является близость химического состава матриц исследуемого и стандартного образца, а также уровней содержания элементов в них. В качестве стандартных образцов для сравнения, как наиболее близких по составу к определяемым образцам, использовали российские сертифицированные стандарты: для растительных образцов — ГСО СОРМ1 (травно-злаковая смесь), для почвогрунта — стандарт байкальского ила БИЛ-1 [9]. Предел обнаружения элементов и относительное стандартное отклонение для данных условий эксперимента (энергия возбуждения 23 кэВ) рассчитывали по 20 параллельным измерениям стандартного образца СОРМ1 и 15 параллельным измерениям стандарта БИЛ1. Статистический анализ данных выполнен с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.1 и Microsoft Office Excel 2007.

Сравнительный анализ содержания химических элементов в почвах с разным уровнем загрязнения показал повышенную концентрацию кальция, калия и тяжелых металлов (железа, марганца, никеля, свинца, скандия, цинка) в почвах вблизи автомобильных дорог и



Рис. 1. Лилейник, сорт Регал Айр

Fig. 1. Daylily, variety Regal Air

промышленных предприятий. Промзона м-р Шлюз и прилегающая к нему автотранспортная сеть отличалась более высоким содержанием (в 2,5–7 раз) кальция, хрома, меди, калия, никеля, свинца и скандия, чем на других площадках. Здесь же в почвах выявлен повышенный уровень Рb — 675 мг/кг, что значительно превышает ПДК (6 мг/кг) [10]. Повышенное содержание брома, кальция, хрома, меди, калия, никеля, свинца, цинка отмечено в пригородной промзоне п.г.т. Кольцово и с левобережной стороны ГЭС (Советский район г. Новосибирска). Отдельные элементы по наибольшему содержанию, мг/кг, мышьяка (2,9), хрома (69), железа (31114), марганца (764), ниобия (13), никеля (48), рубидия (74), ванадия (88), циркония (368) имели место в почвенных образцах в м-р Южный (г. Бердск). Почва вблизи



Рис. 2. Карта-схема опытных площадок сбора растений

Fig.2. Schematic map of plant collection sites

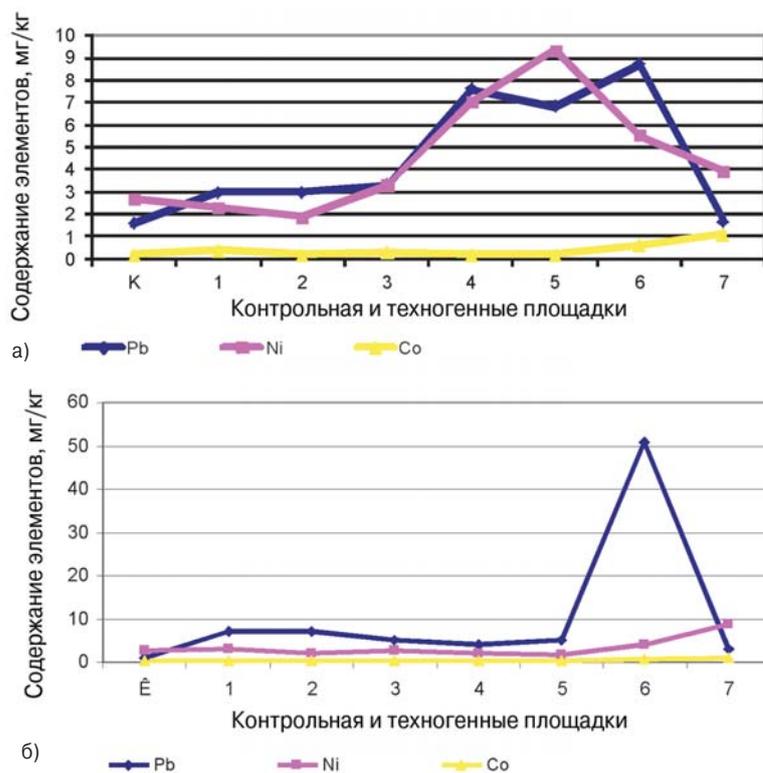


Рис. 3. Содержание свинца, никеля, кобальта, мг/кг. в корневищах (а) и листьях (б) сорта Регал Айр в условиях техногенного загрязнения
Fig. 3. The content of lead, nickel, cobalt, mg/kg, in rhizomes (a) and leaves (b) of the Regal Air variety in the conditions of technogenic pollution

завода ЖБИ (Советский район г. Новосибирска) была в 2–9 раз беднее по содержанию элементов и только содержание скандия и кальция в них было в 8–9 раз больше по сравнению с контролем.

В вегетативных органах растений красоднева гибридного определено 20 химических элементов и установлено, что од-

них в надземных органах больше, чем в подземных, а других наоборот (см. таблицу). Это свидетельствует о неоднородности поглощения органами химических элементов. Листья поглощают больше кальция, брома, молибдена (в 1,5–3 раза) по сравнению с корневищами. Мышьяк, рубидий, иттрий, цирконий, ниобий, накопи-

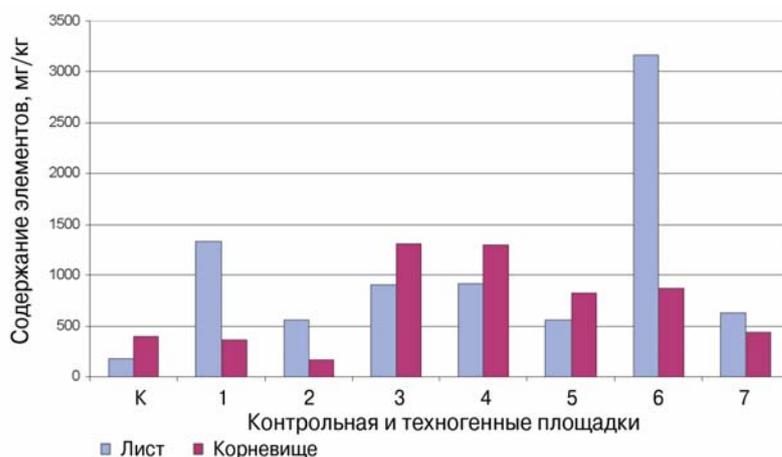


Рис. 4. Содержание элементов в листьях и корневищах *Hemerocallis hybrida*, выращиваемых в Новосибирской области в условиях техногенного загрязнения
Fig. 4. The total content of elements in the leaves and rhizomes of *Hemerocallis hybrida* grown in the Novosibirsk region under technogenic pollution

ваются больше (в 1,5–3 раза) в корневищах, особенно в сильно загрязненных промышленных местах, где расположены площадки 3–7. Селен, скандий равномерно распределены в органах (от 0,01 до 0,019 мг/кг) и имеют минимальное значение. Специфичным характером накопления отличаются свинец, никель, кобальт, цинк, железо, марганец, медь, титан, ванадий, хром, что отражено в существенной разнице их содержания на участках вблизи дорожно-транспортной сети и промышленных предприятий.

В целом, максимальное содержание никеля, цинка, железа, марганца, меди, ванадия, ниобия, мышьяка отмечено в листьях Регал Айр вблизи завода ЖБИ, а повышенное содержание свинца, цинка, меди, циркония, железа, кальция, марганца, стронция, титана, ванадия, хрома, мышьяка, иттрия, циркония, молибдена отмечено в образцах подземных органов Регал Айр вблизи м-р Шлюз, здесь же отмечено накопление свинца в 50 раз по сравнению с контролем и в 7–17 раз по отношению к образцам из других опытных площадок. В зоне Новосибирской ГЭС установлена повышенная концентрация в корневищах никеля, кобальта, цинка, молибдена, кальция, железа, титана, ванадия, ниобия, рубидия. Высоким содержанием марганца, титана, хрома, мышьяка, иттрия, циркония, ниобия отличались органы растений, произрастающих в п.г.т. Кольцово. Согласно сведениям по предельно-допустимым нормам для растений [1], нами отмечена избыточно-токсичная концентрация в листьях свинца (м-р Шлюз), никеля и ниобия (завод ЖБИ), цинка (м-р Шлюз), титана (м-р Шлюз, завод ЖБИ, п.г.т. Кольцово НПО Вектор, Бердск, Южный), хрома (на всех опытных площадках). Остальные химические элементы имели допустимую (достаточно-нормальную) концентрацию. Исходя из этого, можно утверждать, что

Содержание элементов в листьях (числитель) и корневищах (знаменатель) растений *Regal Air* на пробных площадках 1–7Content of elements in leaves (numerator) and rhizomes (denominator) of *Regal Air* plants on trial sites 1–7

Элемент	Контроль	Содержание, мг/кг						
		1	2	3	4	5	6	7
Pb	1±0,7/1,6±0,2	7±0,4/3,0±0,5	7±0,3/3,0±0,5	5±0,8/3,3±0,5	4±0,6/7,6±1,1	5±0,8/6,8±1,0	51±7,7/8,7±1,3	3±05/1,7±0,3
Ni	2,7±0,5/3,9±0,8	3,1±0,6/2,3±0,3	2,0±0,4/1,9±0,3	2,8±0,5/6,3±0,5	1,9±0,4/7,0±1,1	1,8±0,4/9,3±1,9	3,9±0,8/5,5±1,1	8,9±1,8/3,9±0,6
Co	0,2±0,1/0,6±0,2	0,4±0,1/2,0,1±0,0	0,2±0,0/0,6,1±0,0	0,3±0,009/1,5±0,5	0,2±0,1/1,3±0,4	0,2±0,06/1,4±0,4	0,6±0,18/1,0±0,3	1,1±0,3/0,6±0,2
Zn	19±1,9/27±2,7	34±3,4/31±3,1	32±3,2/43±4,3	27±2,7/34±3,4	26±2,6/8,4±0,8	40±4,0/52±5,2	146±14,6/62±6,2	39±3,9/30±3,0
Fe	0,2±0,0/1,5±0,1	2,5±0,2/0,6±0,1	0,9±0,1/1,4±0,1	1,36±0,1/5,3±0,4	0,9±0,1/4,4±0,4	0,8±0,1/4,8±0,3	3,9±0,3/3,1±0,2	2,9±0,2/1,6±0,1
Mn	40±2,0/80±4,0	139±6,9/48±2,4	65±3,3/15±0,8	126±6,3/225±11,	95±4,8/200±10,0	59±3,0/204±10,2	209±18,5/146±7,3	128±6,4/70±3,5
Ca	13±0,8/6,8±0,4	11±0,7/5,2±0,3	21±1,3/5,6±0,3	13±0,8/7,6±0,5	14±0,7/9,2±0,6	11±0,6/9,2±0,5	40±1,9/13,7±0,8	28±1,4/8,5±0,5
Sr	63±3,8/41±2,5	111±6,6/27±1,6	82±4,9/13±0,8	71±4,3/79±4,7	65±3,9/74±4,4	163±9,9/77±4,6	154±9,2/67±4,0	107±6,4/37±2,2
Cu	3,7±0,2/10,4±0,5	5,9±0,3/4,8±0,2	5,1±0,3/6,6±0,3	5,1±0,3/7,7±0,4	4,8±0,2/8,4±0,4	6,2±0,4/11,3±0,6	12,2±0,6/8,7±0,5	12,4±0,6/7,1±0,4
K	16,8±0,9/10,6±0,5	14,5±0,6/11,5±0,6	23,4±1,1/15,7±0,9	23,8±1,1/14,5±0,7	11,3±0,8/14,7±0,7	34,2±2,1/31,0±0,2	6,1±0,8/11,6±0,6	6,8±0,7/18,4±0,9
Ti	20±0,8/181±9,1	469±7,1/124±6,2	181±5,1/20±1,5	329±20,1/805±40,2	190±18,1/805±40,2	123±10,1/679±33,9	621±30,1/467±23,4	254±11,1/232±10,7
V	0,3±0,01/1,6±0,3	2,3±0,1/0,5±0,0	1,1±0,01/0,2±0,0	1,4±0,01/6,6±0,3	1,3±0,01/6,1±0,3	0,8±0,01/6,0±0,3	3,8±0,2/4,8±0,2	2,3±0,1/1,7±0,04
Cr	11,1±4,4/35±1,8	522±2,1/121±6,1	292±1,2/63±3,2	340±13,1/129±6,5	343±13,1/173±8,6	163±6,5/114±5,7	1964±7,8/85±4,3	67,4±2,6/27±1,3
As	0,02±0,0/0,04±0,0	0,11±0,0/0,03±0,0	0,02±0,0/нет	0,08±0,0/0,22±0,0	0,01±0,0/0,14±0,0	0,10±0,1/0,13±0,0	0,16±0,0/0,08±0,0	0,21±0,0/0,09±0,0
Br	3,6±0,8/0,8±0,1	5,7±1,1/1,1±0,1	4,7±0,7/0,7±0,1	3,3±0,1/2±0,2	2,7±0,1/2,9±0,3	3,7±0,2/1,8±0,2	1,7±0,1/1,4±0,1	1,4±0,1/0,6±0,1
Rb	6±0,5/6,9±0,8	20±1,9/7,0±0,8	14±1,2/9,0±1,1	9±0,9/8,3±0,5	5±0,3/16,3±0,9	19±1,3/23,3±2,7	14±1,4/10,8±1,3	7±0,9/7,8±0,9
Y	нет/2,0±0,2	22±1,1/7,0±0,8	7±0,9/4,0±0,5	8±0,7/13±1,5	8±0,7/8±0,9	6,0±0,2/6±0,7	32±2,1/4,0±0,5	7±0,8/3,0±0,4
Zr	7,0±0,1/40±8	145±3,2/41±8,2	58±1,7/14±2,8	85±2,1/221±4,4	53±1,1/181±3,6	39±1,9/136±2,7	221±3,8/232±4,6	145±2,5/182±3,6
Nb	2±0,01/2,9±0,9	9,0±0,7/4±1,2	4±0,3/2±0,8	4±0,2/15,7±4	4±0,3/15,6±4,6	3±0,1/13,0±3,9	9±0,4/13,2±3,3	26±1,1/3,3±0,9
Mo	0,7±0,02/0,2±0,06	1,3±0,1/0,2±0,06	1,2±0,1/0,4±0,1	0,4±0,01/0,1±0,03	0,3±0,01/0,1±0,02	0,2±0,01/0,2±0,06	1,6±0,2/0,2±0,06	0,5±0,01/0,1±0,02

* Содержание K, Ca, Fe дано в мг/г от воздушно-сухой массы.

аккумулирующая способность вегетативных органов изученных образцов *H. hybrida* характеризуется спецификой накопления элементов, где четко прослеживается их увеличение в зоне влияния автотранспорта и промзон на примере концентрации очень токсичных металлов — свинца, никеля, кобальта (рис. 3 а, б). Анализ общего состава содержания микро- и макроэлементов в вегетативных органах *H. hybrida* показал, что по большинству химических элементов они в основном существенно выше, реже ниже и одинаковы с контролем. Однако суммарное содержание элементов в листьях и корневищах растений *H. hybrida*, выращиваемых в Новосибирской области в условиях техногенного загрязнения, в 2,5–10 раз выше, чем в местах с благоприятной экологической ситуацией (рис. 4).

В результате исследования экологического состояния промышленно-транспортных зон в

Новосибирской области путем биотестирования растениями можно сделать следующие выводы.

Надземные и подземные органы красоднева гибридного аккумулируют в больших количествах кальций, калий, хром, железо, марганец, титан, цирконий. Содержание макроэлементов (калий, кальций, железо) достигает максимума и его в 2 раза больше в надземных органах. В вегетативных органах растений концентрация элементов на пробных площадках урбанизированной среды выше, чем в контроле. Исключение составляли никель и кобальт в пунктах, расположенных в г. Бердск: 1 — м-р Южный; 2 — ул. Боровая.

Наибольшей аккумуляционной способностью исследованных химических элементов в подземных и надземных органах отличались растения, произрастающие на пробных площадках Новосибирской

ГЭС, м-р Шлюз, завода ЖБИ, в более загрязненных промышленных зонах и вблизи автодорог. Среднее положение занимали НПО "Вектор" и пригородная промзона (п.г.т. Кольцово) и м-н Южный (г.Бердск, где сказывается нагрузка автотранспорта и влияние Кирпичного завода). Наименьшую концентрацию химических элементов наблюдали в образцах на площадке ул. Боровая (г. Бердск), расположенной в местах, отдалённых от промышленных объектов.

Прослеживается связь содержания элементов в почве и вегетативных органах растений *H. hybrida*, выращиваемых на данных почвах в условиях изученной автором техногенной городской среды Новосибирской области, как качественного показателя накопления химических элементов, в том числе и тяжёлых металлов разной степени токсичности, и тем самым чуткого биоиндикатора состояния окружающей

среды. По величине абсолютного содержания в листьях сорта Регал Айр тяжелые металлы разной степени токсичности располагаются в порядке убывания Ca>Fe>Sr>Mn>Zn>>Cu>Ni>Pb>Co, в корневищах Ca>Fe>Mn>Sr>Zn>Cu>Ni>>Pb>Co, почве Fe>Ca>Mn>Sr>

>Pb>Zn>Co>Ni>Cu. Наиболее неблагоприятной в экологическом отношении является район Новосибирской ГЭС (левый берег) в окрестностях Опытного завода и м-р Шлюз (правый берег), далее опытные площадки в районе завода Железобетонных изделий и

п.г.т. Кольцово, затем городская среда в г. Бердске.

В целом, использование *H. hybrida* в озеленении промышленно-транспортных зон может служить биоиндикатором экологического состояния урбанизированной среды во многих регионах России.

Благодарности: автор выражает благодарность за техническую помощь н.с. Чанкиной О.В. Института химической кинетики и горения СО РАН. Работа выполнена с использованием инфраструктуры ЦКП "СЦСТИ" на базе ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН, поддержанного Минобрнауки России (уникальный идентификатор проекта RFMEF162117X0012).

Исследование выполнено в рамках государственного задания ЦСБС СО РАН № АААА-А17-1170126100053-9 с использованием биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН "Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте", № USU 440534

Литература

1. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2012. 218 с.
2. Двуреченский В.Г. Влияние предприятий металлургии на окружающий их растительный покров. Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов. Кемерово. 2015. С. 79–81.
3. Седельникова Л.Л., Чанкина О.В. Содержание тяжелых металлов в вегетативных органах красоднева гибридного (*Hemerocallis hybrida*) в урбанизированной среде. Вестник КГАУ. 2016. № 2. С. 34–43.
4. Байкалова Т.В., Байкалов П.С., Коротченко И.С. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове, листьях березы под воздействием промышленности г. Красноярска. Вестник КГАУ. 2017. №5. С. 123–130.
5. Копылова Л.В. Накопление тяжелых металлов *Caragana arborescens* Lam. в условиях антропогенного воздействия (Забайкальский край). Уч. Зап. ЗабГУ. 2017. Т. 12. № 1. С. 20–30.
6. Barishev V.B., Kulipanov G.N., Scrinsky A.N. Handbook of Synchrotron Radiation. Amsterdam: Elsevier, 1991. Vol. 13. P. 639.
7. Дар'ин А.В., Ракшун Я.В. Методика выполнения измерений при определении элементного состава образцов горных пород методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3. Научный вестник НГТУ. 2013. 2(51). С. 112–118.
8. Экспериментальная станция Рентгенофлуоресцентного элементного анализа. <http://ssrc.inp.nsk.su/СКР/stations/passport/3/> (дата обращения 10.06.2014).
9. Арнаутков Н.А. Стандартные образцы химического состава природных минеральных веществ. Методические рекомендации. Новосибирск, Наука, 1990. 220 с.
10. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. ГН 2.17.2041-06. М., 2006. 15 с.

References

1. Il'in V.B. Tyazhelye metally i nemetally v sisteme pochva-rastenie. Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2012. 218 s.
2. Dvurechenskii V.G. Vliyanie predpriyatii metallurgii na okruzhayushchii ikh rastitel'nyi pokrov. Problemy promyshlennoi botaniki industrial'no razvitykh regionov. Kemerovo. 2015. S. 79–81.
3. Sedel'nikova L.L., Chankina O.V. Soderzhanie tyazhelykh metallov v vegetativnykh organakh krasodnava gibridnogo (*Hemerocallis hybrida*) v urbanizirovannoi srede. Vestnik KGAU. 2016. № 2. S. 34–43.
4. Baikalova T.V., Baikalov P.S., Korotchenko I.S. Soderzhanie tyazhelykh metallov v pochvennom pokrove, list'yakh berezy pod vozdeistviem promyshlennosti g. Krasnoyarska. Vestnik KGAU. 2017. №5. S. 123–130.
5. Kopylova L.V. Nakoplenie tyazhelykh metallov *Caragana arborescens* Lam. v usloviyakh antropogennogo vozdeistviya (Zabaikal'skii kraj). Uch. Zap. ZabGU. 2017. T. 12. № 1. S. 20–30.
6. Barishev V.B., Kulipanov G.N., Scrinsky A.N. Handbook of Synchrotron Radiation. Amsterdam: Elsevier, 1991. Vol. 13. P. 639.
7. Dar'in A.V., Rakshun Ya.V. Metodika vypolneniya izmerenii pri opredelenii elementnogo sostava obraztsov gornykh porod metodom rentgenofluorestsentnogo analiza s ispol'zovaniem sinkhrotronnogo izlucheniya iz nakopitelya VEPP-3. Nauchnyi vestnik NGTU. 2013. 2(51). S. 112–118.
8. Eksperimental'naya stantsiya Rentgenofluorestsentnogo elementnogo analiza. <http://ssrc.inp.nsk.su/СКР/stations/passport/3/> (data obrashcheniya 10.06.2014).
9. Arnautov N.A. Standartnye obratzsy khimicheskogo sostava prirodnykh mineral'nykh veshchestv. Metodicheskie rekomendatsii. Novosibirsk, Nauka, 1990. 220 s.
10. Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve. Gigenicheskie normativy. GN 2.17.2041-06. M., 2006. 15 s.

Л.Л. Седельникова – д-р биол. наук, ст. науч. сотрудник, Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, 630090 Россия, г. Новосибирск-90, ул. Золотодолинская 101, e-mail: lusedelnikova@yandex.ru

L.L. Sedelnikova – Dr. Sci. (Biol.), Senior Research Fellow, Central Siberian Botanical Garden SB RAS, 630090 Russia, Novosibirsk-90, Zolotodolinskaya Str. 101, e-mail: lusedelnikova@yandex.ru