

УДК 635.9:572.8:581.192.6(571.14)

Людмила Леонидовна Седельникова¹,
доктор биологических наук, старший научный сотрудник,
Центральный Сибирский ботанический сад
Сибирского отделения Российской академии наук
(630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101),
e-mail: lusedelnikova@yandex.ru

Ольга Васильевна Чанкина²,
научный сотрудник,
Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского
Сибирского отделения Российской академии наук
(630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3),
e-mail: chankina@kinetics.nsc.ru

Изменчивость коэффициента биологического поглощения тяжёлых металлов вегетативными органами *Hemerocallis hybrida*

Представлены результаты исследования коэффициента биологического поглощения листьями и корневищами *Hemerocallis hybrida* (семейство *Hemerocallidaceae*) тяжёлых металлов – свинца, никеля, кобальта, цинка, железа, марганца, кальция, стронция, меди. Элементный состав определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА СИ), основанном на взаимодействии вещества с высокоэнергетическим электромагнитным излучением СИ. Проанализировано поглощение представленных элементов вегетативными органами у сортов *Regal Air* и *Speak to me*, выращиваемых в городской среде. Изучена изменчивость коэффициента биологического поглощения надземными и подземными органами данных сортов девяти элементов тяжёлых металлов разной степени токсичности. Проведён сравнительный анализ коэффициента биологического поглощения листьями и корневищами *Hemerocallis hybrida* тяжёлых металлов, выращиваемых вблизи семи промышленных зон и автотранспортных дорог городов Новосибирска и Бердска. Отмечено, что коэффициент биологического поглощения свинца, никеля, кобальта, цинка, железа, марганца, меди у данных сортов в техногенных условиях произрастания выше по сравнению с контрольными растениями. Установлена индивидуальная изменчивость коэффициента биологического поглощения данных элементов в подземных и надземных органах в контрольном и опытных вариантах. При анализе полученных данных выявлено, что коэффициенты биологического поглощения цинка, кобальта, никеля, марганца, меди листьями у сортов *Regal Air* и *Speak to me* у опытных образцов, выращенных вблизи автомагистрали и промышленной зоны (7-й вариант), являются наибольшими по сравнению с другими вариантами. Обнаружено, что коэффициент биологического поглощения этих элементов листьями у *Regal Air* в 1,2–1,8 раза выше, чем *Speak to me*. Отмечена сортоспецифичность в накоплении тяжёлых металлов вегетативными органами.

Ключевые слова: коэффициент биологического поглощения, тяжёлые металлы, РФА СИ, корневище, лист, *Hemerocallis hybrida*, городская среда

¹ Л. Л. Седельникова провела сбор материала и подготовила пробы для анализа, обработала и проанализировала данные, оформила статью.

² О. В. Чанкина провела рентгенофлуоресцентный анализ на содержание элементного состава.

Lyudmila L. Sedel'nikova¹,
Doctor of Biology, Senior Researcher,
Central Siberian Botanical Garden,
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
(101 Zolotodolinskaya st., Novosibirsk, 630090, Russia),
e-mail: lusedelnikova@yandex.ru

Olga V. Chankina²,
Researcher,
Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion,
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
(3 Institutskaya st., Novosibirsk, 630090, Russia),
e-mail: chankina@kinetics.nsc.ru

Variability in the Coefficient of Biological Absorption of Heavy Metals in *Hemerocallis hybrida* Vegetative Organs

Results of the study of the coefficient of biological absorption of heavy metals, such as lead, nickel, cobalt, zinc, iron, manganese, calcium, strontium, and copper by leaves and rhizomes of *Hemerocallis hybrida* (family *Hemerocallidaceae*) are presented. Elemental composition was determined by x-ray fluorescence analysis using synchrotron radiation (XRF SR), based on the interaction of matter with high-energy electromagnetic radiation SI. The absorption of the above elements by the vegetative organs in the cultivars *Regal Air* and *Speak to me* grown in the urban environment was analyzed. The variability of the coefficient of biological absorption in the aboveground and underground organs of these elements was studied. The comparative analysis of the coefficients of biological absorption of heavy metals by leaves and rhizomes of *Hemerocallis hybrida* grown near seven industrial areas, motor roads of Novosibirsk and Berdsk was conducted. It is noted that the coefficients of biological absorption of lead, nickel, cobalt, zinc, iron, manganese, copper, in urban growing conditions are higher as compared with the control plants. Individual variability of the coefficient of biological absorption of these elements in underground and aboveground organs in control and experimental variants was established. The coefficients of biological absorption of zinc, cobalt, nickel, manganese, copper by leaves of kinds of *Regal Air* and *Speak to me* from the experienced samples grown close to the motorway and industrial zone (seven variant) of reinforced concrete are the highest compared with other variants. The coefficients of biological absorption of these elements by leaves of *Regal Air* 1.2–1.8 times higher than *Speak to me* was discovered. Sort specificity in the accumulation of heavy metals in vegetative organs was marked.

Keywords: coefficient of biological absorption, heavy metal, synchrotron X-ray diffraction, rhizome, leaf, *Hemerocallis hybrida*, urban environment

Введение. В современных условиях природная среда подвержена комбинированному техногенному загрязнению. Тяжёлые металлы относятся к числу наиболее распространённых и опасных для биоты загрязнителей экологической среды [3; 4; 7; 13]. Известно, что по уровню токсичности тяжёлые металлы делятся на очень токсичные (Pb, Ni, Co), умеренно токсичные (Zn, Fe, Mn) и слаботоксичные (Ca, Sr, Cu) [1; 5; 7, с. 22]. Условия городской среды, где сильно развита автотранспортная сеть и промышленные зоны, сказываются на её загрязнении. В связи с этим зелёные насаждения играют решающую роль в очищении окружающей среды, т. к. при избытке элементов в почве они накапливаются в органах. Ранее нами проведено исследование по содержанию девяти элементов (Pb, Ni, Co, Zn, Fe, Mn, Ca, Sr, Cu) в почве, надземных и подземных органах *Hemerocallis hybrida* hort. – красоднева гибридного сем. *Hemerocallidaceae* [11; 12]. В качестве характеристики избирательного поглощения химических элементов растениями используется коэффициент биологического поглощения [9], что послужило основанием для проведения данного исследования.

Цель – рассчитать и провести сравнительный анализ коэффициента биологического поглощения тяжёлых металлов вегетативными органами растений *Hemerocallis hybrida*, произрастающих в условиях техногенного загрязнения.

Материалы и методы исследования. Объектами исследования служили два сорта *Hemerocallis hybrida* hort. (сем. *Hemerocallidaceae* R.Br.), сорт *Speak to me* и сорт *Regal Air*. Отбор почв и подготовку растительного материала осуществляли по общепринятой методике

¹ L. L. Sedel'nikova conducted data collection and prepared the samples for analysis, processed and analyzed data, designed the article.

² O. V. Chankina held x-ray fluorescence analysis for elemental composition.

[8]. Содержание металлов в почве, листьях и корневищах растений определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа [2; 14] с использованием синхротронного излучения (РФА СИ), основанном на взаимодействии вещества с высокоэнергетическим электромагнитным излучением СИ. Анализ элементного состава образцов данных растений и почв проводили на станции элементного анализа ЦКП СЦСТИ Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН (накопитель ВЭПП-3). Коэффициент биологического поглощения (КБП) рассчитывали как отношение содержания элемента в сухой массе листьев и корневищ к его содержанию в почве [9]. В работе использовано семь вариантов опыта, представленных в табл. 1–4. Контролем служили растения этих же сортов на экспозиционном участке цветочно-декоративных культур ЦСБС СО РАН.

Результаты и их обсуждение. Для удобства рассмотрим КБП Pb, Ni, Co, Zn, Fe, Mn, Ca, Sr, Cu по органам.

Наземные органы (листья). Известно, что свинец (Pb) чрезвычайно легко поглощается растениями [7]. Нами отмечено, что КБП этого элемента в листьях сортов *Regal Air* и *Speak ty me* во всех вариантах варьирует (табл. 1–2). Высокий КБП Pb характерен для вариантов 5 (0,090) и 7 (0,045) с. *Speak ty me*, что в 2–4 раза выше, чем в контроле. Содержание КБП Pb в вариантах 1 и 3 у этого сорта меньше, чем в контроле, а в остальных вариантах незначительно больше (табл. 1). В листьях с. *Regal Air* КБП Pb выше во всех вариантах, с наибольшим значением (0,051–0,098) в вариантах 1, 3, 6 (табл. 2).

По данным [7], никель (Ni) относится к элементам среднего биологического захвата. Наименьшее значение КБП элемента у с. *Speak ty me* обнаружено в вариантах 1, 2, 3, 5, 6, а у с. *Regal Air* – в вариантах 1, 3, 4, 5, 6. Однако установлено, что в листьях с. *Speak ty me* КБП Ni больше в 1,5–3 раза, чем в контроле в вариантах 4 и 7, соответственно (0,15) и (0,33). У с. *Regal Air* в варианте 2 КБП Ni в 1,32 раза больше (0,111), а в варианте 7 – в 7 раз (0,593) больше, чем в контроле.

Считается, что кобальт относится к элементам активного биологического захвата растениями [10]. Наименьшее значение КБП Co по сравнению с контролем отмечено в вариантах 1, 2 и 3 у с. *Speak ty me*. Однако в листьях этого же сорта в 1,5–4 раза больше КБП Co в вариантах 4–7, с наибольшим значением в варианте 7 (КБП 0,12). У с. *Regal Air* наблюдали одинаковое значение КБП элемента контрольного и опытного варианта – 5. Этот показатель в вариантах 1, 2, 3, 4, 6 составляет в 1,3–3,7 раза выше по сравнению с контролем. Однако самое высокое значение КБП элемента листьями было в варианте 7 (0,22), что в 12 раз выше, чем в контроле.

По данным [1; 15], активность накопления цинка различна у разных видов растений. Установлено, что КБП Zn листьями с. *Speak ty me* в вариантах 1, 2, 4 было в 1,2–1,3 раза меньше, а в варианте 6 – в 2,5 раза меньше, чем в контроле. Однако в вариантах 3 и 7 КБП элемента с. *Speak ty me* – в 1,5–2,2 раза больше, чем в контроле, причём в варианте 7 наблюдали его наибольшее значение (0,931). У с. *Regal Air* наименьшее значение КБП Zn отмечено в вариантах 1, 4, 6. Самый высокий показатель КБП Zn (1,345) отмечен также у с. *Regal Air* в варианте 7, что в 2,8 раза выше, чем в контроле.

Таблица 1

Коэффициент биологического поглощения тяжёлых металлов листьями сорта *Speak ty me*

Элемент	Контроль	Опыт*						
		1	2	3	4	5	6	7
Pb	0,021	0,014	0,025	0,01	0,020	0,090	0,030	0,045
Ni	0,100	0,040	0,080	0,06	0,15	0,075	0,07	0,330
Co	0,030	0,007	0,020	0,008	0,075	0,045	0,044	0,120
Zn	0,410	0,298	0,328	0,614	0,305	0,458	0,158	0,931
Fe	0,027	0,018	0,051	0,018	0,0229	0,139	1,417	0,377
Mn	0,070	0,069	0,229	0,088	0,237	0,264	0,219	0,417
Ca	0,942	0,639	0,118	0,639	0,721	0,406	0,20	0,143
Sr	0,396	0,263	0,335	0,266	0,660	0,711	0,643	0,553
Cu	0,330	0,166	0,195	0,213	0,089	0,186	0,225	0,508

* Примечание: контроль – ЦСБС, Бердск: 1 – Южный; 2 – Боровая; Новосибирск: 3 – Кольцово, НПО Вектор; 4 – Кольцово, пригородная зона; 5 – Опытный завод; 6 – Шлюз, автомагистраль; 7 – автомагистраль, завод ЖБИ

Железо относится к элементам слабого захвата [4]. Коэффициент биологического поглощения элемента листьями с. *Speak ty me* в контрольном варианте – незначительно выше, чем в опытных вариантах 1, 2, 3, 4. Однако поглощение этого элемента в 1,5–5 раз выше в вариантах 2 и 5, чем в контроле. Более высоким коэффициентом поглощения в 52,4 и 13,9 раза характеризуются показатели, соответственно, в вариантах 6 – 1,417, а также 7 – 0,377. Коэффициент биологического поглощения железа листьями с. *Regal Air* увеличивается в 3–10 раз во всех вариантах у опытных образцов по сравнению с контролем. Самое высокое значение КБП Fe – в вариантах 6 (0,282) и 7 (0,314).

Таблица 2

Коэффициент биологического поглощения тяжёлых металлов листьями сорта *Regal Air*

Элемент	Контроль	Опыт*						
		1	2	3	4	5	6	7
Pb	0,0104	0,098	0,044	0,051	0,023	0,029	0,075	0,045
Ni	0,084	0,064	0,111	0,066	0,070	0,041	0,079	0,593
Co	0,018	0,028	0,033	0,025	0,025	0,018	0,067	0,220
Zn	0,463	0,060	0,483	0,474	0,102	0,471	0,317	1,345
Fe	0,011	0,079	0,088	0,049	0,059	0,034	0,282	0,314
Mn	0,057	0,182	0,239	0,171	0,177	0,090	0,386	0,556
Ca	0,989	0,839	0,163	0,753	0,420	0,420	0,371	0,223
Sr	0,362	0,634	0,051	0,410	0,423	0,872	0,963	0,915
Cu	0,218	0,218	0,250	0,212	0,081	0,213	0,305	0,954

* Примечание: см. табл. 1

Марганец легко поглощается растениями и тормозит поглощение Ca и Mg [7]. У с. *Speak ty me* КБП Mn в листьях наблюдается незначительно меньше, чем в контроле в варианте 1. В остальных вариантах КБП Mn больше по сравнению с контролем: в 1,25 раза (вариант 3), в 3–3,7 раза (варианты 2, 4, 5, 6), в 6 раз (вариант 7). Во всех опытных вариантах с. *Regal Air* КБП Mn в 1,5–3,0 раза выше (варианты 1, 3, 4, 5) и 4,4–6,4 раза выше (варианты 2 и 6) по сравнению с контролем. Самым высоким значением КБП Mn отличается вариант 7 (0,556), т. е. показания в 9,7 раза выше, чем в контроле.

Известно, что Ca слабо поглощается растениями [4]. Установлено, что самый высокий КБП Ca листьями с. *Speak ty me* и с. *Regal Air* в контроле – 0,942 и 0,989. Причём у первого сорта КБП Ca во всех опытных вариантах показания ниже, чем в контроле: в 1,3–1,47 раза (варианты 1, 2, 4), в 2 и 4,7 раза (варианты 5 и 6), в 6,5 и 7,9 раза (соответственно, варианты 7 и 2). У с. *Regal Air* в 4–6 раз меньше значение КБП Ca в вариантах 2 и 7. Наибольший показатель КБП (0,839) – в варианте 1.

Стронций относится к сильно накапливаемым растениями элементам [6]. Обнаружено, что КБП Sr меньше у с. *Speak ty me* в вариантах 1, 2, 3, чем в контроле. В вариантах 4–7 КБП Sr в 1,3–1,7 раза выше, чем в контроле. У с. *Regal Air* наблюдали меньшее значение КБП элемента, чем в контроле в варианте 2. Во всех других вариантах КБП Sr в 1,5–3 раза выше, с наибольшим значением в варианте 6 (0,963) и варианте 7 (0,915).

Считается, что из почвы медь переходит в одни растения слабо, в другие – активно [5; 7]. Нами установлено, что КБП Cu листьями с. *Speak ty me* меньше, чем в контроле в вариантах 1–6. Однако в варианте 7 КБП Cu в 1,5 раза больше (0,508), чем в контроле. Наименьшее значение у с. *Speak ty me* отмечено в варианте 4 (0,089). У с. *Regal Air* также в варианте 4 было обнаружено наименьшее показание КБП элемента листьями опытных, чем контрольных растений – в 2,7 раза. Одинаковые значения КБП Cu наблюдали в контроле и варианте 1 (0,218). Самое высокое КБП – в варианте 7 (0,954), что в 4 раза больше, чем в контроле.

Подземные органы (корневища) (табл. 3, 4). У с. *Speak ty me* КБП Pb в контроле не обнаружено. У опытных растений во всех вариантах этот показатель составляет 0,021–0,098 (табл. 3), с наибольшим показателем в вариантах 1 (0,098) и 7 (0,071). В варианте 4 КБП Pb корневищами с. *Regal Air* имел наибольшее значение (0,047), в 2,9 раза превышающее контрольный. Однако в варианте 1 показания КБП Pb в 4 раза меньше, чем в контроле. В вариантах (3, 5 и 7) КБП Pb выше, чем в контроле в 1,6–2,5 раза (табл. 4).

Установлено, что показатель КБП Ni корневищами с. *Speak ty me* был выше, чем в контроле в вариантах 3–7. Показано, что КБП Ni в 2 раза выше в варианте 4, в 4,8 раза – в вариантах

те 7 по сравнению с контролем. У с. *Regal Air* в этих же вариантах (4, 7) накопление в корневищах Ni выше всего в 2 раза по сравнению с контролем.

Таблица 3

Коэффициент биологического поглощения тяжёлых металлов подземными органами сорта *Speak ty me*

Элемент	Контроль	Опыт*						
		1	2	3	4	5	6	7
Pb	–	0,098	0,025	0,021	0,038	0,028	0,025	0,071
Ni	0,109	0,063	0,100	0,159	0,248	0,173	0,171	0,520
Co	0,027	0,036	0,033	0,100	0,200	0,127	0,166	0,340
Zn	0,707	0,448	0,530	0,666	0,763	0,494	0,225	1,103
Fe	0,044	0,081	0,084	0,141	0,354	0,222	0,326	0,648
Mn	0,072	0,174	0,266	0,222	0,446	0,307	0,335	1,022
Ca	0,509	0,401	0,077	0,440	0,324	0,301	0,924	0,009
Sr	0,218	0,394	0,242	0,405	0,654	0,513	0,450	0,855
Cu	0,335	0,177	0,32	0,271	0,097	0,286	0,198	0,469

* Примечание: см. табл. 1

Выявлено, что накопление в корневищах Co у с. *Speak ty me* является высоким по сравнению с контролем во всех вариантах, особенно в вариантах 3–7. Так, в вариантах 3 и 5 КБП Co в 3,7 и 4,7 раза больше, чем в контроле, в вариантах 4 и 6 – в 6–7 раз, в варианте 7 – в 11 раз. Высокий КБП элемента обнаружен у с. *Regal Air* в корневищах также в вариантах 3–7: в 2–2,3 раза (варианты 3, 6, 7), в 3 раза (варианты 4, 5), чем в контроле, с наименьшим значением КБП элемента почти в 7,7 раз в варианте 1 (0,007) по сравнению с контролем.

Определено, что у с. *Speak ty me* КБП Zn выше, чем в контроле в варианте 4 (0,763) и варианте 7 (1,103). В остальных вариантах данное значение меньше по сравнению с контролем, как и у с. *Regal Air*, у которого только в варианте 7 (1,034) КБП Zn в 1,5 раза выше, чем в контроле.

Таблица 4

Коэффициент биологического поглощения тяжёлых металлов подземными органами сорта *Regal Air*

Элемент	Контроль	Опыт*						
		1	2	3	4	5	6	7
Pb	0,016	0,004	0,019	0,033	0,047	0,040	0,013	0,026
Ni	0,122	0,048	0,105	0,176	0,252	0,211	0,112	0,260
Co	0,054	0,007	0,016	0,125	0,162	0,127	0,111	0,120
Zn	0,658	0,463	0,652	0,596	0,142	0,612	0,134	1,034
Fe	0,073	0,019	0,013	0,190	0,278	0,202	0,224	0,176
Mn	0,113	0,063	0,055	0,306	0,373	0,311	0,270	0,304
Ca	0,511	0,366	0,043	0,429	0,274	0,358	0,128	0,069
Sr	0,236	0,154	0,081	0,457	0,484	0,412	0,419	0,316
Cu	0,612	0,177	0,331	0,321	0,142	0,389	0,217	0,546

* Примечание: см. табл. 1

Отмечено, что показания КБП Fe корневищами с. *Speak ty me* больше у опытных растений по сравнению с контрольными. Однако наибольшие значения КБП Fe отмечаются в вариантах 4–7: в 5 раз (вариант 5), в 7,3 раза (вариант 6), в 8 раз (вариант 4), в 14 раз (вариант 7). Установлено, что в вариантах 4–7 у с. *Regal Air* КБП элемента в 2,4–3,8 раза больше, чем в контроле.

Установлено, что показания КБП Mn у опытных растений с. *Speak ty me* во всех вариантах выше, чем в контроле. Наибольшее значение КБП Mn было в корневищах с. *Speak ty me* в варианте 7 (1,022), что в 14 раз превышало контрольный. Также у с. *Regal Air* КБП элемента в 2,3–3,3 раза выше в вариантах 3–7, чем в контроле, с наибольшим значением КБП элемента в корневищах в вариантах 4 (0,373) и 5 (0,311), соответственно.

Поглощение кальция корневищами с. *Speak ty me* в контроле составляло 0,509. Однако у опытных растений оно было наибольшим в варианте 6 – 0,924 (в 1,8 раз), а наименьшим – в варианте 7 – 0,009 (в 56,5 раза). У с. *Regal Air* КБП Ca корневищами было также наибольшее в контроле – 0,511. В опытных образцах наблюдали меньше КБП Ca в вариантах: 1, 3, 4, 5 – в 1,2–1,8 раз; 6 – в 4,1 раза; 7 – в 6 раз; 2 – в 7 и 11,7 раз, чем в контроле.

Выявлено, что КБП Sr корневищами с. *Speak ty me* у опытных растений больше, чем у контрольных, с показаниями КБП Sr в 2–3 раза больше в вариантах 4–6, в 3,9 раза – в варианте 7. Незначительно выше, чем в контроле, – в варианте 2 (0,242). У с. *Regal Air* КБП элемента в 1,3–2,1 раза больше, чем в контроле, в вариантах 3–7, с наименьшим значением в варианте 2 – 0,081, а также в варианте 1 – 0,154.

Определено, что КБП Cu в корневищах с. *Speak ty me* является высоким в варианте 7 (0,469). В остальных вариантах этого сорта поглощение меди было ниже, чем у контрольных образцов. Высокий КБП элемента подземными органами был у растений с. *Regal Air* в контроле (0,612). В других опытных вариантах этот показатель был ниже, только в варианте 7 КБП Cu приближался к контролю (0,546).

При анализе полученных данных установлено, что КБП Zn, Co, Ni, Mn, Cu листьями с. *Regal Air* и *Speak ty me* у опытных образцов, выращенных вблизи автомагистрали и завода ЖБИ (вариант 7), – наибольшие по сравнению с другими вариантами. Причём КБП Zn, Co, Ni, Mn, Sr, Cu листьями у с. *Regal Air* в 1,2–1,8 раза выше, чем с. *Speak ty me*. Поглощение свинца листьями в этом варианте у сортов является одинаковым (0,045), а железа – в 1,2 меньше у с. *Regal Air* по сравнению с с. *Speak ty me*. Установлено, что высокие показания КБП Sr листьями наблюдали в варианте 6 у с. *Regal Air* (0,963) и варианте 5 у с. *Speak ty me* (0,711), т. е., соответственно, вблизи автомагистрали (Шлюз) и Опытного завода. Высокий КБП Fe листьями обнаружен у с. *Speak ty me* (1,417) также в варианте 6, а у с. *Regal Air* – в варианте 7 (0,314). Отмечено, что КБП Pb – самый высокий в надземных органах в варианте 1 у с. *Regal Air*, т. е. вблизи автодороги по направлению пос. Южный (Бердск). Сравнение КБП элементов по органам у растений в варианте 7 показало, что они выше в корневищах, чем в листьях.

Полученные данные весьма разнообразны, однако в целом отмечена тенденция миграции Zn, Ni, Pb, Co, Fe, Mn, Sr из почвы в листья и корневища у опытных образцов в условиях промышленных зон и автомагистралей в вариантах: 5 – Новосибирская ГЭС; 6 – район Шлюз (правый берег); 7 – район завод ЖБИ. В более отдалённых районах – варианты: 1 – Бердск, Южный; 2 – Бердск, Боровая; 3 – Кольцово, НПО Вектор; 4 – Кольцово, пригородная зона – показатели КБП этих элементов меньше (кроме КБП Pb в варианте 1 в надземных органах с. *Regal Air* и подземных с. *Speak ty me*), но больше, чем в контроле, т. е. коэффициент биологического поглощения возрастал как в условиях сильного, так и среднего загрязнения среды. В городской среде наблюдалось снижение коэффициента поглощения Ca и Cu, где эти показатели являлись более высокими у контрольных образцов, где сорта выращивали без искусственной подкормки.

Выводы:

1. Коэффициент биологического поглощения свинца, никеля, кобальта, цинка, железа, марганца, меди вегетативными органами сортов *Hemerocallis hybrida* в техногенных условиях произрастания в 1,5–5 раз выше по сравнению с контрольными растениями.

2. Выявлена сортоспецифичность коэффициента поглощения элементов органами в городской среде: а – у с. *Regal Air* КБП Pb, Cu листьями больше, чем у с. *Speak to me* во всех вариантах, Ni, Ca – кроме варианта 4, Co, Mn – кроме вариантов 4, 5, Zn – кроме вариантов 1, 3, 4, Fe – кроме вариантов 5, 6, Cu – кроме варианта 4; б – у с. *Speak to me*, наоборот, больше КБП Ni корневищами во всех вариантах, Pb – кроме вариантов 3 и 4, Co, Fe, Sr – кроме варианта 3, Mn – кроме вариантов 3, 5, Ca – кроме вариантов 3, 5, 7, Zn – кроме вариантов 1, 2, 5, Cu – кроме вариантов 2–7, чем у с. *Regal Air*.

3. Изменение коэффициента поглощения Pb, Ni, Co, Zn, Fe, Mn, Ca, Sr, Cu подземными и надземными органами индивидуально у сортов *Regal Air* и *Speak to me* опытных и контрольных растений.

Благодарности

Авторы приносят благодарность за помощь по измерению спектров, которые выполнены с использованием инфракрасной ЦКП «СЦСТИ» на базе ВЭПП-3 Института Ядерной физики СО РАН.

Список литературы

1. Алексеев Ю. В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
2. Арнаутов Н. А. Стандартные образцы химического состава природных минеральных веществ. Новосибирск: Наука, 1990. 220 с.

3. Бессонова В. П., Иванченко О. Е. Влияние загрязнения среды на величину коэффициента биологического накопления в растениях железа, марганца, цинка и меди // Проблемы озеленения крупных городов. М.: Прима-М, 2008. С. 171–173.
4. Добровольский В. В. Тяжёлые металлы: загрязнение окружающей среды и глобальная геохимия // Тяжёлые металлы в окружающей среде. М.: МГУ, 1980. С. 3–12.
5. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
6. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 263 с.
7. Матвеев Н. М. Экологические основы аккумуляции тяжёлых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: СУ, 1997. 220 с.
8. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / под ред. Н. Т. Зырина, С. Г. Малахова. М.: Гидрометеоздат, 1981. 108 с.
9. Пельман А. И. Геохимия биосферы и ноосферы. Биогеохимические циклы в биосфере. М.: Наука, 1976. С. 86–98.
10. Сапрыкин Ф. Я. Геохимия почв и охрана природы. Л.: Недра, 1984. 231 с.
11. Седельникова Л. Л., Чанкина О. В. Содержание тяжёлых металлов в вегетативных органах красоднева гибридного (*Hemerocallis hybrida*) в урбанизированной среде // Вестн. КГАУ. 2016. № 2. С. 34–43.
12. Седельникова Л. Л., Чанкина О. В., Седельникова А. А. Элементный состав (*Hemerocallis hybrida*) в промышленных зонах окрестностей Новосибирска // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: материалы IV Междунар. конф. Кемерово: Примула, 2015. С. 131–134.
13. Цветкова Н. Н. Микроэлементы в лесных биогеоценозах степной зоны Украины // Лесоведение. 1976. № 3. С. 57–64.
14. Barishev V. B., Kulipanov G. N., Scrinsky A. N., Handbook of Synchrotron Radiation. Amsterdam: Elsevier, 1991. Vol. 3. PP. 639.
15. Bockheim J. G., Leide J. E. Foliar nutrient dynamics and nutrient-use efficiency of oak and pine on a low-fertility soil in Wisconsin // Can. J. Forest Res. 1991. Vol. 21, № 6. PP. 925–934.

References

1. Alekseev Yu. V. Tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh. L.: Agropromizdat, 1987. 142 s.
2. Arnautov N. A. Standartnye obraztsy khimicheskogo sostava prirodnikh mineral'nykh veshchestv. Novosibirsk: Nauka, 1990. 220 s.
3. Bessonova V. P., Ivanchenko O. E. Vliyaniye zagryazneniya sredy na velichinu koeffitsienta biologicheskogo nakopleniya v rasteniyakh zheleza, margantsa, tsinka i medi // Problemy ozeleneniya krupnykh gorodov. M.: Prima-M, 2008. S. 171–173.
4. Dobrovolskii V. V. Tyazhelye metally: zagryazneniye okruzhayushchei sredy i global'naya geokhimiya // Tyazhelye metally v okruzhayushchei srede. M.: MGU, 1980. S. 3–12.
5. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh. M.: Mir, 1989. 439 s.
6. Kovda V. A. Biogeokhimiya pochvennogo pokrova. M.: Nauka, 1985. 263 s.
7. Matveev N. M. Ekologicheskie osnovy akkumulyatsii tyazhelykh metallov sel'skokhozyaistvennyimi rasteniyami v le-sostepnom i stepnom Povolzh'e. Samara: CU, 1997. 220 s.
8. Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu polevykh i laboratornykh issledovaniy pochv i rastenii pri kontrole zagryazneniya okruzhayushchei sredy metallami / pod red. N. T. Zyryina, S. G. Malakhova. M.: Gidrometeoizdat, 1981. 108 s.
9. Pel'man A. I. Geokhimiya biosfery i noosfery. Biogeokhimicheskie tsikly v biosfere. M.: Nauka, 1976. S. 86–98.
10. Saprykin F. Ya. Geokhimiya pochv i okhrana prirody. L.: Nedra, 1984. 231 s.
11. Sedel'nikova L. L., Chankina O. V. Soderzhanie tyazhelykh metallov v vegetativnykh organakh krasodneva gibridnogo (*Hemerocallis hybrida*) v urbanizirovannoi srede // Vestn. KGAU. 2016. № 2. S. 34–43.
12. Sedel'nikova L. L., Chankina O. V., Sedel'nikova A. A. Elementnyi sostav (*Hemerocallis hybrida*) v promyshlennykh zonakh okrestnostei Novosibirska // Problemy promyshlennoi botaniki industrial'no razvitykh regionov: materialy IV Mezhdunar. konf. Kemeroovo: Primula, 2015. S. 131–134.
13. Tsvetkova N. N. Mikroelementy v lesnykh biogeotsenozakh stepnoi zony Ukrainy // Lesovedenie. 1976. № 3. S. 57–64.
14. Barishev V. B., Kulipanov G. N., Scrinsky A. N., Handbook of Synchrotron Radiation. Amsterdam: Elsevier, 1991. Vol. 3. PP. 639.
15. Bockheim J. G., Leide J. E. Foliar nutrient dynamics and nutrient-use efficiency of oak and pine on a low-fertility soil in Wisconsin // Can. J. Forest Res. 1991. Vol. 21, № 6. PP. 925–934.

Статья поступила в редакцию 05.12.2016; принята к публикации 15.01.2017

Received: December 05, 2016; accepted for publication: January 15, 2017

Библиографическое описание статьи

Седельникова Л. Л., Чанкина О. В. Изменчивость коэффициента биологического поглощения тяжёлых металлов вегетативными органами *Hemerocallis hybrida* // Ученые записки ЗабГУ. Сер. Биологические науки. 2017. Т. 12, № 1. С. 45–51.

Reference to the article

Sedel'nikova L. L., Chankina O. V. Variability in the Coefficient of Biological Absorption of Heavy Metals in *Hemerocallis hybrida* Vegetative Organs // Scholarly Notes of Transbaikal State University. Series Biological sciences. 2017. Vol. 12, No. 1. PP. 45–51.