

## Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов в сырье некоторых представителей рода *Paeonia* L.

А. А. Реут<sup>1</sup>✉, С. Г. Денисова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

✉E-mail: cvetok.79@mail.ru

**Аннотация.** В настоящее время тяжелые металлы рассматриваются в качестве основных загрязнителей почв. Известно, что вегетативная масса сельскохозяйственных культур способна накапливать их в большом количестве. Декоративные цветочные культуры, которые прочно занимают свою экологическую нишу, практически не рассматриваются с данной точки зрения. **Цель работы** – изучение особенностей накопления тяжелых металлов в надземных и подземных органах некоторых представителей рода *Paeonia* L. в условиях урбанизированной среды города Уфы. Объектами исследований являлись семь таксонов пиона (*P. peregrina* Mill., *P. lactiflora* Pall., *P. lactiflora* f. *rosea*, *P. delavayi* Franch., *P. × hybrida* Аппассионата, Мустай Карим, Jeanne d'Arc). **Методика.** Изучение элементного состава надземной и подземной частей проводили по методике № М-02-1009-05 атомной спектроскопии. Математическую обработку данных осуществляли с помощью общепринятых методов вариационной статистики с использованием пакета программ AgCStat в виде надстройки Excel. **Научная новизна.** Впервые для исследования взяты разные таксоны и части растений пионов. **Результаты.** Выявлено, что в изученных образцах содержание меди в 4,15–2520,00 раз выше, чем других элементов. Отмечено, что минимальные концентрации мышьяка, кадмия, хрома, марганца и железа отмечены в корнях; свинца и никеля – в цветках; меди – в листьях изучаемых пионов. Максимальное содержание мышьяка, свинца, хрома обнаружено в листьях; кадмия, никеля, марганца – в стеблях; железа – в цветках. Результаты корреляционного анализа показали, что абсолютные значения концентраций изучаемых элементов у рассматриваемых таксонов пиона коррелируют между собой в слабой и средней степени. Корреляционное изучение пар элементов позволяет оценить синергизм накопления и его отсутствие, что соответствует мнению других авторов.

**Ключевые слова:** *Paeonia*, тяжелые металлы, надземные органы, подземная масса, Республика Башкортостан.

**Для цитирования:** Реут А. А., Денисова С. Г. Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов в сырье некоторых представителей рода *Paeonia* L. // Аграрный вестник Урала. 2021. № 11 (214). С. 45–55. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-214-11-45-55.

**Дата поступления статьи:** 28.09.2021, **дата рецензирования:** 04.10.2021, **дата принятия:** 11.10.2021.

### Постановка проблемы (Introduction)

С ростом градостроительства происходит изменение городской среды, которая во многих отношениях отличается от природной. Одна из важных характеристик урбанизированной территории – загрязнение почв тяжелыми металлами в силу их токсического и мутагенного действия на растения и все живые организмы. Тяжелые металлы занимают особое положение среди других техногенных загрязняющих веществ, поскольку, не подвергаясь физико-химической или биологической деградации, накапливаются в поверхностном слое почв и изменяют их свойства, в течение длительного времени оставаясь доступными для корневого поглощения растениями и активно включаясь в процессы миграции по трофическим цепям [1, с. 35], [2, с. 28].

Содержание тяжелых металлов в растительной продукции определяется комплексом факторов, основные из которых – видовые особенности растений, физиологическая значимость элементов и их содержание в окружающей среде. Под влиянием этих факторов формируется характерное для вида распределение элементов по органам [3, с. 113].

Известно, что вегетативная масса сельскохозяйственных культур способна накапливать значительно больше тяжелых металлов, чем клубни и корнеплоды, что представляет особую важность в выращивании таких овощных культур [4, с. 10]. Декоративные цветочные культуры, которые прочно занимают свою экологическую нишу, практически не рассматриваются с данной точки зрения [5, с. 204], [6, с. 190].

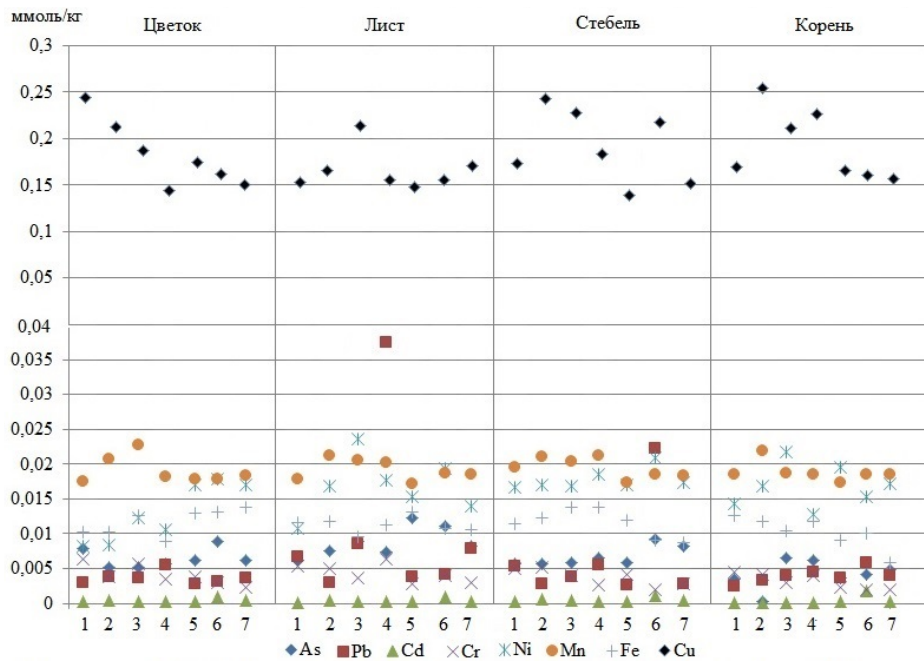
В связи с вышеизложенным актуально изучение особенностей накопления тяжелых металлов в надземных и подземных органах некоторых представителей рода *Paeaonia* L. в условиях урбанизированной среды города Уфы.

**Методология и методы исследования (Methods)**

Исследование проводилось на базе Южно-Уральского ботанического сада-института – обособленно-структурного подразделения ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (далее ЮУБСИ УФИЦ РАН) в весенне-летний периоды 2018–2021 годов.

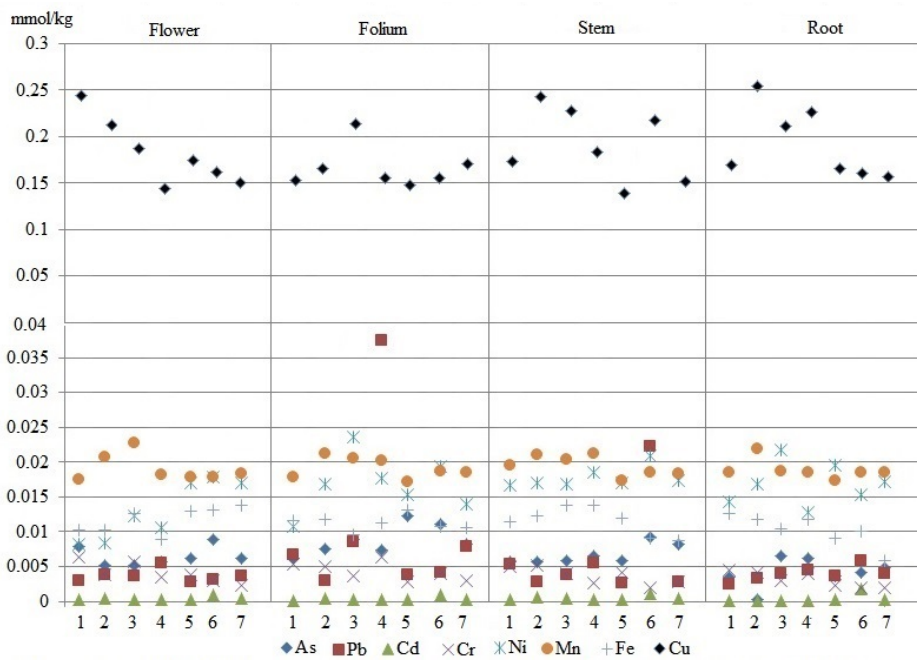
Объектами исследований являлись четыре вида (*P. peregrina* Mill., *P. lactiflora* Pall., *P. lactiflora* f. *rosea*, *P. delavayi* Franch.) (сем. *Paeaniaceae* Rudolphi) и три сорта пиона, созданные на основе *P. lactiflora* Pall. (Аппассионата, Мустай Карим, Jeanne d'Arc), интродуцированные и выращенные на базе ЮУБСИ УФИЦ РАН [7, с. 129].

Климат района исследований – континентальный, с продолжительной холодной зимой и умеренно теплым летом, большой изменчивостью температуры воздуха, особенно весной и осенью. Среднегодовая температура воздуха равна +2,6 °С, среднемесячная



1. Аппассионата 2. Мустай Карим 3. Jeanne d'Arc 4. *P. delavayi* 5. *P. lactiflora* 6. *P. lactiflora* f. *rosea* 7. *P. peregrina*

Рис. 1. Содержание мышьяка, свинца, кадмия, хрома, меди, никеля, марганца, железа в органах пиона



1. Appassionata 2. Mustaj Karim 3. Jeanne d'Arc 4. *P. delavayi* 5. *P. lactiflora* 6. *P. lactiflora* f. *rosea* 7. *P. peregrina*

Fig. 1. The content of arsenic, plumbum, cadmium, chromium, copper, nickel, manganese, iron in organs of paeony

температура воздуха в январе составляет  $-14,3$  °С, в июле  $+19,3$  °С, абсолютный минимум  $-53,0$  °С ниже нуля, абсолютный максимум  $-37,0$  °С выше нуля, среднегодовое количество осадков  $-580$  мм [8, с. 31]. Почвообразующими породами служат элювий и делювиальные желто-бурые суглинки. Почва отличается большой уплотненностью [9, с. 12].

Изучение элементного состава растительных образцов проводили на базе аналитической лаборатории научно-исследовательского института сельского хозяйства. Для исследования были взяты цветки, стебли, листья и корни объектов исследований. Для проведения анализа с 10 средневозрастных генеративных растений каждого таксона в фазе цветения (май – июнь) брали цветки, листья и стебли. Сбор надземных частей интродуцентов проводили в утренние часы. Корни выкапывали в конце сентября – начале октября (до первых заморозков). Корни очищали от примесей, промывали в проточной, а затем в дистиллированной воде. Для количественного анализа цветки, стебли, листья и корни высушивали до воздушно-сухого состояния, затем измельчали до размера частиц, проходящих сквозь сито с диаметром отверстий 1 мм [10, с. 218].

Изучение элементного состава образцов проводили по методике № М-02-1009-05 атомной спектроскопии [11, с. 80], [12, с. 143].

Математическую обработку данных осуществляли с помощью общепринятых методов вариационной статистики с использованием пакета программ AgCStat в виде надстройки Excel [13], [14, с. 35], [15, с. 101], [16, с. 96].

### Результаты (Results)

Проведен анализ результатов исследования микроэлементного состава цветков, листьев, стеблей и корней семи разных таксонов пиона (Аппассионата, Мустай Карим, Jeanne d'Arc, *P. delavayi*, *P. lactiflora*, *P. lactiflora* f. *rosea*, *P. peregrina*). Для каждой группы сырья представлены исследования по восьми элементам (мышьяк, свинец, кадмий, хром, медь, никель, марганец, железо). Количественные показатели элементов приведены к ммоль/кг воздушно-сухого сырья.

Как видно из рис. 1, все изучаемые растения имеют достаточно высокое содержание меди (в 4,15–2520,00 раз выше по сравнению с другими элементами) во всех видах сырья. Максимальное содержание меди отмечено в корнях, минимальное – в стеблях.

Концентрация других элементов в изучаемых органах пионов находится практически на одном уровне, и по содержанию их можно расположить в порядке возрастания (таблица 1).

Известно, что наиболее высокие количества мышьяка фиксируются в листьях и корнеплодах растений [17, с. 292]. Выявлено, что наименьшее содержание данного элемента отмечали в цветках у сорта Jeanne d'Arc (0,0051 ммоль/кг), в листьях – у сорта Аппассионата (0,0062 ммоль/кг), в стеблях и корнях – у сорта Мустай Карим (0,0056 и 0,0003 ммоль/кг со-

ответственно). Наибольшая концентрация данного элемента наблюдалась в цветках и стеблях *P. lactiflora* f. *rosea* (0,0090 и 0,0092 ммоль/кг соответственно).

Известно, что свинец в природных популяциях присутствует во всех растениях, при этом его роль в метаболизме не установлена [18, с. 38]. Показано, что максимальное содержание свинца отмечено в листьях у большинства образцов. Минимальные показатели встречаются в разных видах сырья (рис. 1). Наименьшее количество свинца обнаружено в корнях сорта Аппассионата (0,0024 ммоль/кг), в цветках и стеблях *P. lactiflora* (0,0029 и 0,0027 ммоль/кг соответственно) и листьях сорта Мустай Карим (0,0030 ммоль/кг). Наибольшее содержание изучаемого элемента выявлено в листьях и цветках *P. delavayi* (0,0374 и 0,0055 ммоль/кг), стеблях и корнях *P. lactiflora* f. *rosea* (0,0223 и 0,0059 ммоль/кг соответственно).

Согласно литературным данным, наибольшие концентрации кадмия в загрязненных растениях всегда обнаруживаются в корнях и листьях [18, с. 53]. Выявлено, что низкие концентрации кадмия отмечены в корнях *P. delavayi* (0,0001 ммоль/кг), листьях сорта Аппассионата (0,0002 ммоль/кг), цветках Jeanne d'Arc (0,0002 ммоль/кг), стеблях *P. lactiflora* (0,0003 ммоль/кг). Высокими значениями этого элемента характеризовались стебли, листья, цветки и корни *P. lactiflora* f. *rosea* (0,00104; 0,001023; 0,000934 и 0,000454 соответственно).

Некоторые растения, главным образом из районов развития серпентинитов или хромитовых месторождений, могут накапливать хром до 0,3 % сухой массы [17, с. 294]. Наибольшие показатели хрома выявлены в разных частях растений – цветках, листьях и стеблях. Наименьшие значения отмечены в корнях у большинства образцов. Так, минимальное содержание отмечали в корнях и стеблях *P. lactiflora* f. *rosea* (0,001936 и 0,001975 ммоль/кг соответственно); цветках *P. peregrina* (0,002359 ммоль/кг) и листьях *P. lactiflora* (0,002859 ммоль/кг). Максимальная концентрация данного элемента наблюдалась в цветках и корнях сорта Аппассионата (0,0063 и 0,0046 ммоль/кг соответственно), листьях *P. delavayi* (0,0064 ммоль/кг) и стеблях сорта Мустай Карим (0,0051 ммоль/кг).

Наименьшее количество меди обнаружено в стеблях и листьях *P. lactiflora* (0,1477 и 0,1384 ммоль/кг соответственно), цветках *P. delavayi* (0,144 ммоль/кг), корнях *P. peregrina* (0,1562 ммоль/кг). Максимальное накопление меди отмечено в цветках, стеблях и корнях. Наибольшее содержание изучаемого элемента выявлено в корнях и стеблях сорта Мустай Карим (0,2538 и 0,2425 ммоль/кг соответственно), цветках сорта Аппассионата (0,2441 ммоль/кг), листьях Jeanne d'Arc (0,2134 ммоль/кг).

Выявлено, что низкие концентрации никеля отмечались в цветках, листьях и стеблях сорта Аппассионата (0,0082; 0,0107; 0,0167 ммоль/кг соответственно)

и корнях *P. delavayi* (0,0127 ммоль/кг). Высокими значениями этого элемента характеризовались листья и корни Jeanne d’Arc (0,02336 и 0,0217 ммоль/кг соответственно) и цветки и стебли *P. lactiflora f. rosea* (0,0179 и 0,0209 ммоль/кг соответственно).

Показано, что минимальное содержание марганца отмечали в листьях, стеблях, корнях *P. lactiflora* (0,0172; 0,0172; 0,0174 ммоль/кг соответственно). Максимальная концентрация данного элемента отмечалась в цветках Jeanne d’Arc (0,0227 ммоль/кг), листьях и корнях сорта Мустай Карим (0,0213 и 0,0219 ммоль/кг соответственно); стеблях *P. delavayi* (0,0212 ммоль/кг).

Максимальное и минимальное содержание железа характерно для разных частей растений. Наименьшее количество железа обнаружено в

корнях и стеблях *P. peregrina* (ммоль/кг соответственно), цветках *P. delavayi* (0,0088 ммоль/кг) и листьях Jeanne d’Arc (0,0095 ммоль/кг). Наибольшее содержание изучаемого элемента выявлено в цветках *P. peregrina* (0,0139 ммоль/кг), стеблях Jeanne d’Arc (0,0138 ммоль/кг), листьях *P. lactiflora* (0,0131 ммоль/кг) и корнях сорта Аппассионата (0,0125 ммоль/кг).

Таким образом, в результате анализа полученных данных выявлено, что минимальные концентрации мышьяка, кадмия, хрома, марганца и железа отмечены в корнях; свинца и никеля – в цветках; меди – в листьях изучаемых пионов. Максимальное содержание меди обнаружено в корнях; мышьяка, свинца, хрома – в листьях; кадмия, никеля, марганца – в стеблях; железа – в цветках. Поэтому срезка пионов в

Таблица 1

**Ряды элементов в порядке возрастания в разных образцах сырья некоторых представителей рода *Paeonia***

Таксоны	Ряд элементов в порядке возрастания	
	Цветок	Лист
Аппассионата	Cd < Pb < Cr < As < Ni < Fe < Mn < Cu	Cd < Cr < As < Pb < Ni < Fe < Mn < Cu
Мустай Карим	Cd < Cr < Pb < As < Ni < Fe < Mn < Cu	Cd < Pb < Cr < As < Fe < Ni < Mn < Cu
Jeanne d’Arc	Cd < Pb < As < Cr < Ni < Fe < Mn < Cu	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Mn < Ni < Cu
<i>P. delavayi</i>	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < Cr < As < Fe < Ni < Mn < Pb < Cu
<i>P. lactiflora</i>	Cd < Pb < Cr < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu
<i>P. lactiflora f. rosea</i>	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Mn < Ni < Cu	Cd < Cr < Pb < Fe < As < Mn < Ni < Cu
<i>P. peregrina</i>	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu
	Стебель	Корень
Аппассионата	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < Pb < As < Cr < Fe < Ni < Mn < Cu
Мустай Карим	Cd < Pb < Cr < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < As < Pb < Cr < Fe < Ni < Mn < Cu
Jeanne d’Arc	Cd < Pb < Cr < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Mn < Ni < Cu
<i>P. delavayi</i>	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu
<i>P. lactiflora</i>	Cd < Pb < Cr < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Mn < Ni < Cu
<i>P. lactiflora f. rosea</i>	Cd < Cr < Fe < As < Mn < Ni < Pb < Cu	Cd < Cr < As < Pb < Fe < Ni < Mn < Cu
<i>P. peregrina</i>	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu

Table 1

**Rows of elements in ascending order in different samples of raw materials of some representatives of the genus *Paeonia***

Taxon	A series of elements in ascending order	
	Flower	Leaf
<i>Appassionata</i>	Cd < Pb < Cr < As < Ni < Fe < Mn < Cu	Cd < Cr < As < Pb < Ni < Fe < Mn < Cu
<i>Mustay Karim</i>	Cd < Cr < Pb < As < Ni < Fe < Mn < Cu	Cd < Pb < Cr < As < Fe < Ni < Mn < Cu
<i>Jeanne d’Arc</i>	Cd < Pb < As < Cr < Ni < Fe < Mn < Cu	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Mn < Ni < Cu
<i>P. delavayi</i>	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < Cr < As < Fe < Ni < Mn < Pb < Cu
<i>P. lactiflora</i>	Cd < Pb < Cr < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu
<i>P. lactiflora f. rosea</i>	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Mn < Ni < Cu	Cd < Cr < Pb < Fe < As < Mn < Ni < Cu
<i>P. peregrina</i>	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu
	Stem	Root
<i>Appassionata</i>	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < Pb < As < Cr < Fe < Ni < Mn < Cu
<i>Mustay Karim</i>	Cd < Pb < Cr < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < As < Pb < Cr < Fe < Ni < Mn < Cu
<i>Jeanne d’Arc</i>	Cd < Pb < Cr < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Mn < Ni < Cu
<i>P. delavayi</i>	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu
<i>P. lactiflora</i>	Cd < Pb < Cr < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Mn < Ni < Cu
<i>P. lactiflora f. rosea</i>	Cd < Cr < Fe < As < Mn < Ni < Pb < Cu	Cd < Cr < As < Pb < Fe < Ni < Mn < Cu
<i>P. peregrina</i>	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu	Cd < Cr < Pb < As < Fe < Ni < Mn < Cu

осенний период перед уходом на покой позволяет избежать накопления данных микроэлементов в почве. Кроме того, по данным зарубежных исследователей, уборка вегетативной массы растений, накапливающей тяжелые металлы, – это потенциальный метод предотвращения попадания токсичных загрязнителей в пищевую цепочку и сохранения биологического разнообразия [19, с. 4946]. Также полученные данные можно использовать в образовательной деятельности в курсах агрохимических дисциплин.

Показано, что повышенной аккумуляцией тяжелых металлов среди изученных культиваров харак-

теризуется вид *P. lactiflora* f. *rosea*, пониженной – *P. lactiflora*.

Для двухфакторного дисперсионного анализа для удобства расчетов данные были прологарифмированы. Анализ результатов двухфакторного дисперсионного анализа выявил значимые различия по содержанию тяжелых металлов по таксонам и частям растения. Выявлено, что основное влияние на содержание кадмия, хрома, марганца оказывают таксоны с долей влияния 56,45–70,83 %; на долю второго фактора (часть растения) приходится 2,37–14,87 %; вклад взаимодействия «таксон – часть растения» составил 17,11–29,23% (таблица 2).

Таблица 2

## Результаты двухфакторного дисперсионного анализа элементного состава пионов

Элементы	Источники варьирования	SS	Df	ms	F <sub>факт</sub>	Доля, %
Мышьяк (As)	Общее	34,57	83,00	–	–	–
	Таксон (А)	7,74	6,00	1,29	1605,87	22,39
	Часть растения (Б)	11,48	3,00	3,83	4764,83	33,22
	Взаимодействие (АБ)	15,30	18,00	0,85	1057,89	44,26
	Случайное	0,04	54,00	0,0008	–	–
Свинец (Pb)	Общее	30,67	83,00	–	–	–
	Таксон (А)	9,21	6,00	1,53	5353,04	30,01
	Часть растения (Б)	5,74	3,00	1,91	6678,85	18,72
	Взаимодействие (АБ)	15,71	18,00	0,87	3044,60	51,21
	Случайное	0,02	54,00	0,0003	–	–
Кадмий (Cd)	Общее	36,95	83,00	–	–	–
	Таксон (А)	21,32	6,00	3,55	51,83	57,71
	Часть растения (Б)	5,49	3,00	1,83	26,71	14,87
	Взаимодействие (АБ)	6,32	18,00	0,35	5,12	17,11
	Случайное	3,70	54,00	0,0686	–	–
Хром (Cr)	Общее	10,06	83,00	–	–	–
	Таксон (А)	5,68	6,00	0,95	709,62	56,45
	Часть растения (Б)	1,36	3,00	0,45	339,60	13,51
	Взаимодействие (АБ)	2,94	18,00	0,16	122,48	29,23
	Случайное	0,072	54,00	0,00133	–	–
Медь (Cu)	Общее	2,68	83,00	–	–	–
	Таксон (А)	1,18	6,00	0,20	668,02	44,19
	Часть растения (Б)	0,25	3,00	0,08	277,82	9,19
	Взаимодействие (АБ)	1,23	18,00	0,07	231,78	46,00
	Случайное	0,016	54,00	0,00030	–	–
Никель (Ni)	Общее	5,48	83,00	–	–	–
	Таксон (А)	1,66	6,00	0,28	421,16	30,25
	Часть растения (Б)	1,53	3,00	0,51	777,33	27,92
	Взаимодействие (АБ)	2,25	18,00	0,13	191,00	41,16
	Случайное	0,035	54,00	0,00066	–	–
Марганец (Mn)	Общее	0,50	83,00	–	–	–
	Таксон (А)	0,35	6,00	0,06	836,37	70,83
	Часть растения (Б)	0,01	3,00	0,00	55,97	2,37
	Взаимодействие (АБ)	0,13	18,00	0,01	102,48	26,04
	Случайное	0,004	54,00	0,00007	–	–
Железо (Fe)	Общее	2,95	83,00	–	–	–
	Таксон (А)	0,43	6,00	0,07	21,20	14,43
	Часть растения (Б)	0,30	3,00	0,10	30,25	10,30
	Взаимодействие (АБ)	2,03	18,00	0,11	33,73	68,87
	Случайное	0,181	54,00	0,00335	–	–

Table 2  
Results of two-way analysis of variance of the elemental composition of peonies

The elements	Sources of variation	SS	Df	ms	F <sub>fact</sub>	Share, %
Arsenic (As)	General	34.57	83.00	—	—	—
	Taxon (A)	7.74	6.00	1.29	1605.87	22.39
	Part of the plant (B)	11.48	3.00	3.83	4764.83	33.22
	Interaction (AB)	15.30	18.00	0.85	1057.89	44.26
	Random	0.04	54.00	0.0008	—	—
Plumbum (Pb)	General	30.67	83.00	—	—	—
	Taxon (A)	9.21	6.00	1.53	5353.04	30.01
	Part of the plant (B)	5.74	3.00	1.91	6678.85	18.72
	Interaction (AB)	15.71	18.00	0.87	3044.60	51.21
	Random	0.02	54.00	0.0003	—	—
Cadmium (Cd)	General	36.95	83.00	—	—	—
	Taxon (A)	21.32	6.00	3.55	51.83	57.71
	Part of the plant (B)	5.49	3.00	1.83	26.71	14.87
	Interaction (AB)	6.32	18.00	0.35	5.12	17.11
	Random	3.70	54.00	0.0686	—	—
Chromium (Cr)	General	10.06	83.00	—	—	—
	Taxon (A)	5.68	6.00	0.95	709.62	56.45
	Part of the plant (B)	1.36	3.00	0.45	339.60	13.51
	Interaction (AB)	2.94	18.00	0.16	122.48	29.23
	Random	0.072	54.00	0.00133	—	—
Copper (Cu)	General	2.68	83.00	—	—	—
	Taxon (A)	1.18	6.00	0.20	668.02	44.19
	Part of the plant (B)	0.25	3.00	0.08	277.82	9.19
	Interaction (AB)	1.23	18.00	0.07	231.78	46.00
	Random	0.016	54.00	0.00030	—	—
Nickel (Ni)	General	5.48	83.00	—	—	—
	Taxon (A)	1.66	6.00	0.28	421.16	30.25
	Part of the plant (B)	1.53	3.00	0.51	777.33	27.92
	Interaction (AB)	2.25	18.00	0.13	191.00	41.16
	Random	0.035	54.00	0.00066	—	—
Manganese (Mn)	General	0.50	83.00	—	—	—
	Taxon (A)	0.35	6.00	0.06	836.37	70.83
	Part of the plant (B)	0.01	3.00	0.00	55.97	2.37
	Interaction (AB)	0.13	18.00	0.01	102.48	26.04
	Random	0.004	54.00	0.00007	—	—
Iron (Fe)	General	2.95	83.00	—	—	—
	Taxon (A)	0.43	6.00	0.07	21.20	14.43
	Part of the plant (B)	0.30	3.00	0.10	30.25	10.30
	Interaction (AB)	2.03	18.00	0.11	33.73	68.87
	Random	0.181	54.00	0.00335	—	—

На содержание мышьяка, свинца, меди, никеля и железа основной вклад внесло взаимодействие «таксон – часть растения» (41,16–68,87 %); на долю первого фактора приходится 14,43–44,19 %, на долю второго – 9,19–33,22% (таблица 2).

В результате проведенного корреляционного анализа выявлены соотношения содержания изучаемых элементов друг с другом в разных частях растения (рис. 2). Следует отметить, что действительные коэффициенты корреляции на уровне 95 %, согласно общепринятой методике [20, с. 37], были сгруппированы следующим образом:

1) со значением от 0,31 до 0,5 – группа коэффициентов корреляции, обозначающих умеренную степень тесноты связи между признаками;

2) от 0,5 до 0,7 – группа коэффициентов корреляции средней степени тесноты связи между признаками;

3) от 0,71 до 1 – группа коэффициентов корреляции, обозначающих высокую степень тесноты связи между признаками.

Так, показано, что количество свинца и никеля в стеблях, кадмия в цветках находится в прямой зависимости от содержания мышьяка с корреляцией в диапазоне 0,65–0,80. Также выявлена обратная зависимость содержания свинца и марганца в цветках, хрома в листьях, железа в стеблях, марганца в корнях от количества мышьяка с корреляцией в диапазоне 0,50–0,79.

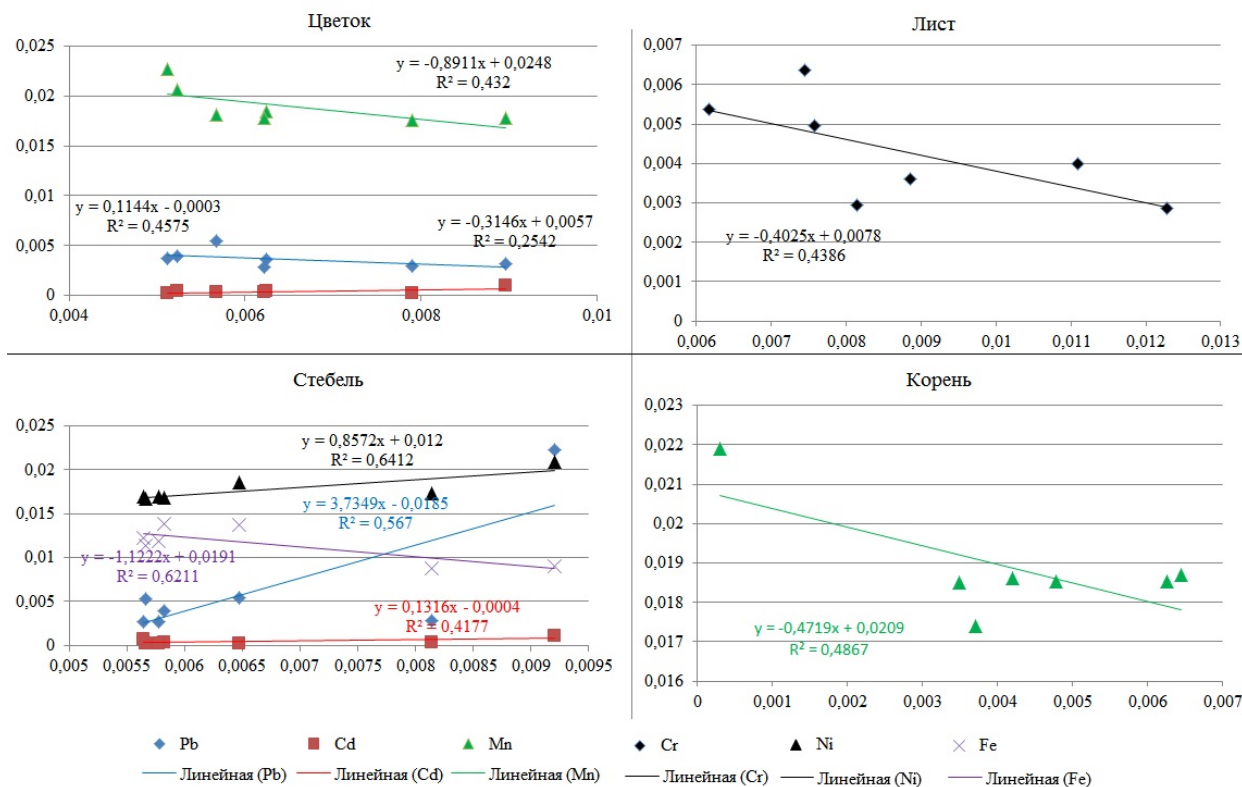


Рис. 2. Соотношение элементов в анализируемых частях растений

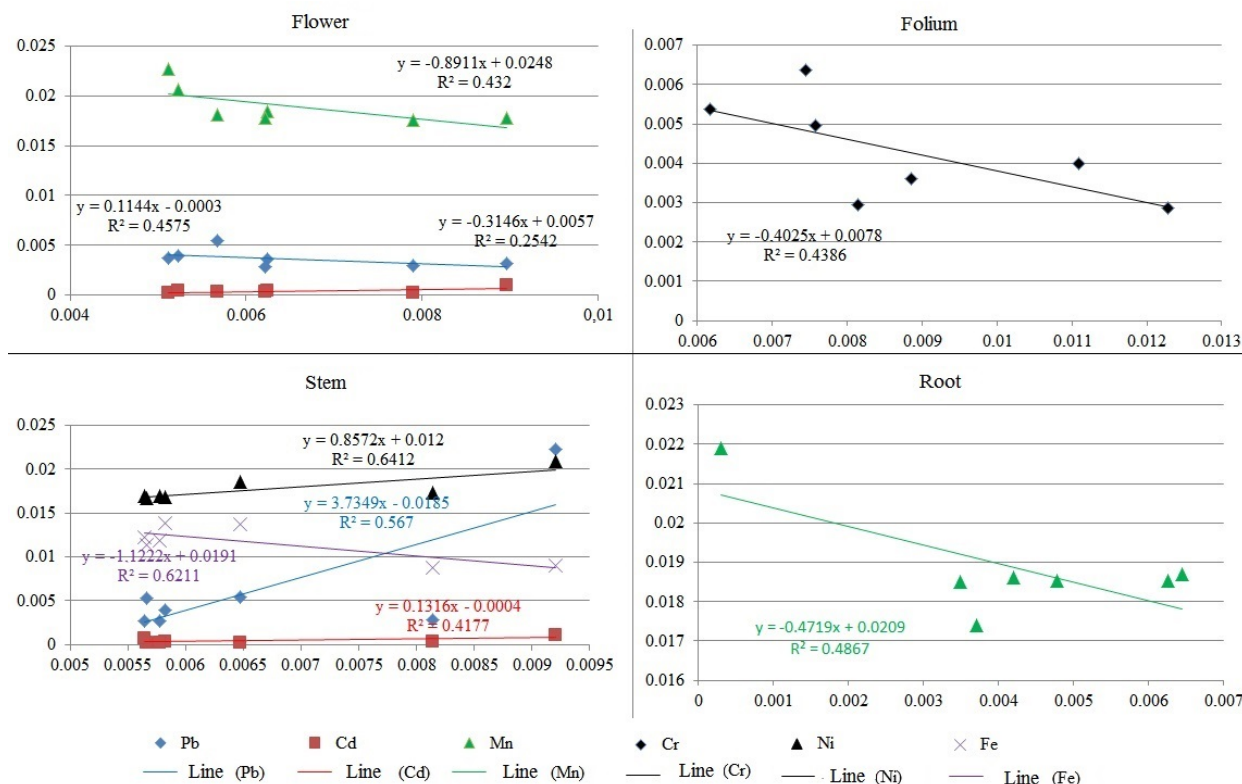


Fig. 2. The ratio of elements in the analyzed parts of plants

Содержание кадмия и никеля в стеблях, хрома в листьях находится в прямой зависимости от количества свинца с корреляцией в диапазоне 0,65–0,92. В то же время количество хрома в корнях, меди и железа в цветках находится в обратной зависимости от содержания свинца с диапазоном корреляции 0,47–0,64.

Содержание хрома, меди и никеля в стеблях, никеля в цветках находится в прямой зависимости от количества кадмия с корреляцией в диапазоне 0,36–0,74. У кадмия и хрома в цветках отмечена обратная зависимость с корреляцией 0,59.

Содержание меди и железа в корнях, меди в цветках напрямую коррелирует с количеством хрома, диапазон корреляций 0,62–0,80. Также выявлена обратная корреляция никеля и хрома в цветках (0,63).

Количество марганца, железа в корнях, никеля в листьях напрямую коррелирует с содержанием меди с диапазоном корреляций 0,55–0,73. В то же время отмечена обратная корреляция количества меди с никелем в цветках и железом в листьях с корреляциями 0,66 и 0,80 соответственно.

Выявлена прямая зависимость содержания никеля в цветках с содержанием железа (0,85) и обратная этих же элементов в листьях (0,58).

Также отмечена прямая зависимость содержания марганца в стеблях от количества железа (0,64).

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Анализ содержания восьми элементов в разных образцах сырья некоторых представителей рода *Paeonia* позволил выявить, что минимальные концентрации мышьяка, кадмия, хрома, марганца и железа наблюдаются в корнях; свинца и никеля – в цветках; меди – в листьях изучаемых пионов. Максимальное количество мышьяка, свинца и хрома обнаружено в листьях; кадмия, никеля, марганца – в стеблях; же-

леза – в цветках. Показано, что фолиарное поглощение данных элементов преобладает над корневым. Отмечена видо- и сортоспецифичность в содержании элементов в надземных и подземных частях растений.

Результаты корреляционного анализа показали, что абсолютные значения концентраций изучаемых элементов у рассматриваемых таксонов пиона коррелируют между собой в слабой и средней степени. Корреляционное изучение пар элементов позволяет оценить синергизм накопления и его отсутствие, что соответствует мнению других авторов.

Таким образом, на примере разных таксонов пиона показано, что в условиях реального техногенного загрязнения существующие различия в накоплении тяжелых металлов свидетельствуют о возможности уменьшения экологического риска посредством целенаправленного подбора культиваров.

#### Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Биоразнообразие природных систем и биологические ресурсы России» и в рамках государственного задания ЮУБ-СИ УФИЦ РАН по теме АААА-А18-118011990151-7.

#### Библиографический список

1. Седельникова Л. Л., Чанкина О. В. Содержание тяжелых металлов в вегетативных органах красоднева гибридного (*Hemerocallis hybrida*) в урбанизированной среде // Вестник КрасГАУ. 2016. № 2 (113). С. 34–43.
2. Михальчук Н. В. Тяжелые металлы и микроэлементы в фоновых почвах и агроландшафтах юго-запада Беларуси // Агроекологічний журнал. 2017. № 3. С. 27–31.
3. Ветрова О. А., Кузнецов М. Н., Леоничева Е. В., Мотылева С. М., Мертвищева М. Е. Накопление тяжелых металлов в органах земляники садовой в условиях техногенного загрязнения // Сельскохозяйственная биология. 2014. № 5. С. 113–119. DOI: 10.15389/agrobiology.2014.5.113rus.
4. Ильинский А. В. Анализ коэффициентов биологического поглощения тяжелых металлов для кормовой свеклы // Евразийский союз ученых. 2020. № 2-6 (71). С. 9–12.
5. Мажайский Ю. А., Гальченко С. В., Гусева Т. М., Чердакова А. С. Накопление тяжелых металлов декоративными цветочными культурами // Успехи современной науки и образования. 2016. № 9. Т. 3. С. 203–205.
6. Елагина Д. С., Архипова Н. С., Сибгатуллина М. Ш. Изучение особенностей накопления тяжелых металлов растениями *Amaranthus retroflexus* L. // Молодые ученые и фармация XXI века: сборник научных трудов Четвертой научно-практической конференции с международным участием. Москва, 2016. С. 189–195.
7. Миронова Л. Н., Реут А. А. Пионы. Коллекции ботанического сада-института Уфимского научного центра РАН. Уфа: Башк. энцикл., 2017. 152 с.
8. Реут А. А., Миронова Л. Н. Редкие виды рода *Paeonia* L. при культивировании в Башкирском Предуралье // Аграрная Россия. 2018. № 2. С. 30–34.
9. Растения Южно-Уральского ботанического сада-института УФИЦ РАН / Абрамова Л. М., Анищенко И. Е., Вафин Р. В., Голованов Я. М., Жигунов О. Ю., Зарипова А. А., Кашаева Г. Г., Лебедева М. В., Полякова Н. В., Реут А. А., Шигапов З. Х.; отв. Ред. Л. М. Абрамова. Уфа: Мир печати, 2019. 304 с.
10. Фотев Ю. В., Шевчук О. М., Сысо А. И. Изучение вариабельности элементного состава семян сортообразцов *Vigna unguiculata* (L.) Walp. на юге Западной Сибири и в Крыму // Химия растительного сырья. 2021. № 2. С. 217–226. DOI: 10.14258/JCPRM.2021027543.
11. Реут А. А., Биглова А. Р., Аллаярова И. Н. Сравнительный анализ химического состава растительного сырья некоторых представителей родов *Narcissus* L. и *Camassia* Lindl. // Аграрный вестник Урала. 2021. № 2 (205). С. 79–90. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-79-90.
12. Симонова О. А., Симонов М. В., Товстик Е. В. Сортоспецифичность биоаккумуляции железа в растениях ячменя // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 3 (23). С. 142–150. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-142-151.
13. Гончар-Зайкин П. П., Чертов В. Г. Надстройка к Excel для статистической оценки и анализа результатов полевых и лабораторных опытов [Электронный ресурс]. URL: <http://vniioh.ru/nadstrojka-k-excel-dlya-statisticheskoy-ocenki-i-analiza-rezultatov-polevux-i-laboratornyx-opytov> (дата обращения: 26.09.2021).



14. Чекин Г. В., Никифоров В. М. Развитие корневой системы яровой пшеницы на ранних стадиях онтогенеза при предпосевной обработке семян хелатными препаратами // Актуальные проблемы агротехнологий XXI века и концепции их устойчивого развития: материалы национальной заочной научно-практической конференции. Воронеж, 2016. С. 34–38.

15. Нестеров М. И., Кривожижина Л. В., Ермолаева Е. Н., Кантюков С. А. Влияние степени и срока кровопотери на уровень триглицеридов, фосфолипидов, общего холестерина, холестерина в липопротеинах [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=25632> (дата обращения: 26.09.2021).

16. Будко Е. В., Ямпольский Л. М., Жуков И. М., Черникова Д. А. Концентрационные корреляции элементной организации гемостатических растений // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 7. С. 95–100.

17. Мешкинова С. С., Ельчинова О. А., Шаховцева Е. В. Микроэлементы в растениях Северного Алтая // Ползуновский вестник. 2006. № 2. С. 291–295.

18. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. Москва: Мир, 1989. 439 с.

19. Parveen S., Bhat I. U. H., Khanam Z., (...), Yusoff H. M., Akhter M. S. Phytoremediation: In situ alternative for pollutant removal from contaminated natural media: A brief review // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2022. Vol. 12. Iss. 4. Pp. 4945–4960. DOI: 10.33263/BRIAC124.49454960.

20. Копань Ю. Г. Корреляционный анализ как метод оценки количественных признаков нового сортимента хризантемы садовой в условиях Южного берега Крыма // Бюллетень Никитского ботанического сада. 2008. Вып. 97. С. 36–39.

#### Об авторах:

Антонина Анатольевна Реут<sup>1</sup>, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории интродукции и селекции цветочных растений, ORCID 0000-0002-4809-6449, AuthorID 625318; +7 917 465-18-89, [cvetok.79@mail.ru](mailto:cvetok.79@mail.ru)

Светлана Галимулловна Денисова<sup>1</sup>, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории интродукции и селекции цветочных растений, ORCID 0000-0002-9005-9377, AuthorID 636056; +7 905 356-02-88, [svetik-7808@mail.ru](mailto:svetik-7808@mail.ru)

<sup>1</sup> Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

## Comparative analysis of the content of heavy metals in raw materials of some representatives of the genus *Paeonia* L.

A. A. Reut<sup>1</sup>✉, S. G. Denisova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> South Ural Botanical Garden-Institute – a separate structural unit of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

✉E-mail: [cvetok.79@mail.ru](mailto:cvetok.79@mail.ru)

**Abstract.** Currently, heavy metals are considered as priority soil pollutants. It is known that the vegetative mass of agricultural crops is capable of accumulating them in large quantities. Ornamental flower crops, which firmly occupy their ecological niche, are practically not considered from this point of view. **The aim** of this work is to study the features of the accumulation of heavy metals in the aboveground and underground organs of some representatives of the genus *Paeonia* L. in the urbanized environment of the city of Ufa. The objects of research were seven taxa of *Paeonia* (*P. peregrina* Mill., *P. lactiflora* Pall., *P. lactiflora* f. *rosea*, *P. delavayi* Franch., *P. × hybrida* Appassionata, Mustai Karim, Jeanne d'Arc). **Methodology.** The study of the elemental composition of the aboveground and underground parts was carried out according to the method No. M-02-1009-05 atomic spectroscopy. Mathematical data processing was carried out using generally accepted methods of variation statistics using the AgCStat software package in the form of an Excel add-in. **Scientific novelty.** For the first time, different taxa and parts of *Paeonia* plants were taken for research. **Results.** It was revealed that in the studied samples the copper content is 4,15–2520,00 times higher than that of other elements. It is noted that the minimum concentrations of arsenic, cadmium, chromium, manganese and iron are noted in the roots; plumbum and nickel – in flowers; copper – in the leaves of the studied paeonies. The maximum content of arsenic, plumbum, chromium is found in the leaves; cadmium, nickel, manganese – in the stems; iron – in flowers. That is, cutting paeonies in the autumn before retirement avoids the accumulation of these microelements in the soil. The results of the correlation analysis showed that the absolute values of the concentrations of the studied elements in the considered taxa of paeonies correlate with each other to a weak and medium degree. Correlation study of pairs of elements makes it possible to assess the synergism of accumulation and its absence, which is consistent with the opinion of other authors.

**Keywords:** *Paeonia*, heavy metals, aboveground organs, underground mass, Republic of Bashkortostan.

**For citation:** Reut A. A., Denisova S. G. Sravnitelnyy analiz sodержaniya tyazhelykh metallov v syrye nekotorykh predstaviteley roda *Paeonia* L. [Comparative analysis of the content of heavy metals in raw materials of some representatives of the genus *Paeonia* L.] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 11 (214). Pp. 45–55. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-214-11-45-55. (In Russian.)

**Date of paper submission:** 28.09.2021, **date of review:** 04.10.2021, **date of acceptance:** 11.10.2021.

### References

1. Sedel'nikova L. L., Chankina O. V. Soderzhanie tyazhelykh metallov v vegetativnykh organakh krasodneva gibridnogo (*Hemerocallis hybrida*) v urbanizirovannoy srede [The content of heavy metals in the vegetative organs of the hybrid Krasodnev (*Hemerocallis hybrida*) in an urbanized environment] // The Bulletin of KrasGAU. 2016. No. 2 (113). Pp. 34–43. (In Russian.)
2. Mikhal'chuk N. V. Tyazhelye metally i mikroelementy v fonovykh pochvakh i agrolandshaftakh yugo-zapada Belarusi [Heavy metals and microelements in background soils and agricultural landscapes in southwestern Belarus] // Agroekological journal. 2017. No. 3. Pp. 27–31. (In Russian.)
3. Vetrova O. A., Kuznetsov M. N., Leonicheva E. V., Motyleva S. M., Mertvishcheva M. E. Nakoplenie tyazhelykh metallov v organakh zemlyaniki sadovoy v usloviyakh tekhnogennoy zagryazneniya [Accumulation of heavy metals in organs of garden strawberry in conditions of technogenic pollution] // Agricultural Biology. 2014. No. 5. Pp. 113–119. DOI: 10.15389/agrobiology.2014.5.113rus (In Russian.)
4. Il'inskiy A. V. Analiz koeffitsientov biologicheskogo pogloshcheniya tyazhelykh metallov dlya kormovoy svekly [Analysis of biological absorption coefficients of heavy metals for fodder beet] // Eurasian Union of Scientists. 2020. No. 2-6 (71). Pp. 9–12. (In Russian.)
5. Mazhayskiy Yu. A., Gal'chenko S. V., Guseva T. M., Cherdakova A. S. Nakoplenie tyazhelykh metallov dekorativnymi tsvetochnymi kul'turami [Accumulation of heavy metals by decorative flower crops] // Uspekhi sovremennoy nauki i obrazovaniya. 2016. No. 9. Vol. 3. Pp. 203–205. (In Russian.)
6. Elagina D. S., Arkhipova N. S., Sibgatullina M. Sh. Izuchenie osobennostey nakopleniya tyazhelykh metallov rasteniyami *Amaranthus retroflexus* L. [Study of the features of the accumulation of heavy metals by plants of *Amaranthus retroflexus* L.] // Molodye uchenye i farmatsiya XXI veka: sbornik nauchnykh trudov Chetvertoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Moscow, 2016. Pp. 189–195. (In Russian.)
7. Mironova L. N., Reut A. A. Piony. Kollektzii botanicheskogo sada-instituta Ufmskogo nauchnogo tsentra RAN. [Peonies. Collections of the Botanical Garden-Institute of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. Ufa: Bashk. entsikl., 2017. 152 p. (In Russian.)
8. Reut A. A., Mironova L. N. Redkie vidy roda *Paeonia* L. pri kul'tivirovaniy v Bashkirskom Predural'e [Rare species of the genus *Paeonia* L. cultivated in the Bashkir Urals] // Agrarian Russia. 2018. No. 2. Pp. 30–34. (In Russian.)
9. Rasteniya Yuzhno-Ural'skogo botanicheskogo sada-instituta UFITs RAN [Plants of the South Ural Botanical Garden-Institute of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences] // Abramova L. M., Anishchenko I. E., Vafin R. V., Golovanov Ya. M., Zhigunov O. Yu., Zaripova A. A., Kashaeva G. G., Lebedeva M. V., Polyakova N. V., Reut A. A., Shigapov Z. Kh.; otv. red. L. M. Abramova. Ufa: Mir pechati, 2019. 304 p. (In Russian.)
10. Fotev Yu. V., Shevchuk O. M., Syso A. I. Izuchenie variabel'nosti elementnogo sostava semyan sortoobraztsov *Vigna unguiculata* (L.) Walp. na yuge Zapadnoy Sibiri i v Krymu [Study of the variability of the elemental composition of seeds of the cultivars *Vigna unguiculata* (L.) Walp. in the south of Western Siberia and Crimea] // Chemistry of plant raw material. 2021. No. 2. Pp. 217–226. DOI: 10.14258/JCPRM.2021027543. (In Russian.)
11. Reut A. A., Biglova A. R., Allayarova I. N. Sravnitel'nyy analiz khimicheskogo sostava rastitel'nogo syr'ya nekotorykh predstaviteley rodov *Narcissus* L. i *Camassia* Lindl. [Comparative analysis of the chemical composition of plant materials of some representatives of the genera *Narcissus* L. and *Camassia* Lindl.] // Agrarian Bulletin of Urals. 2021. No. 2 (205). Pp. 79–90. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-79-90. (In Russian.)
12. Simonova O. A., Simonov M. V., Tovstik E. V. Sortovye osobennosti bioakkumulyatsii zheleza v rasteniyakh yachmenya [Varietal features of bioaccumulation of iron in barley plants] // Taurida herald of the agrarian sciences. 2020. No. 3 (23). Pp. 142–150. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-142-151. (In Russian.)
13. Gonchar-Zaykin P. P., Chertov V. G. Nadstroyka k Excel dlya statisticheskoy otsenki i analiza rezul'tatov polevykh i laboratornykh opytov [Excel add-in for statistical evaluation and analysis of the results of field and laboratory experiments] [e-resource]. URL: <http://vniioh.ru/nadstroyka-k-excel-dlya-statisticheskoy-ocenki-i-analiza-rezultatov-polevykh-i-laboratornykh-opytov/> (date of reference: 26.09.2021). (In Russian.)
14. Chekin G. V., Nikiforov V. M. Razvitie kornevoy sistemy yarovoy pshenitsy na rannikh stadiyakh ontogeneza pri predposevnoy obrabotke semyan khelatnymi preparatami [Development of the root system of spring wheat at the early stages of ontogenesis during pre-sowing treatment of seeds with chelate preparations] // Aktual'nye problemy

agrotekhnologiy XXI veka i kontseptsii ikh ustoychivogo razvitiya: materialy natsional'noy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Voronezh, 2016. Pp. 34–38. (In Russian.)

15. Nesterov M. I., Krivokhizhina L. V., Ermolaeva E. N., Kanyukov S. A. Vliyanie stepeni i sroka krvopoteri na uroven' triglitseridov, fosfolipidov, obshchego kholesterina, kholesterina v lipoproteinakh [Influence of the degree and duration of blood loss on the level of triglycerides, phospholipids, total cholesterol, cholesterol in lipoproteins] [e-resource]. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=25632> (date of reference: 26.09.2021). (In Russian.)

16. Budko E. V., Yampol'skiy L. M., Zhukov I. M., Chernikova D. A. Kontsentratsionnye korrelyatsii elementnoy organizatsii gemostaticeskikh rasteniy [Concentration correlations of the elemental organization of hemostatic plants] // *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2018. No. 7. Pp. 95–100. (In Russian.)

17. Meshkinova S. S., El'chinnova O. A., Shakhovtseva E. V. Mikroelementy v rasteniyakh Severnogo Altaya [Trace elements in plants of Northern Altai] // *Polzunovskiy vestnik*. 2006. No. 2. Pp. 291–295. (In Russian.)

18. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh [Trace elements in soils and plants]. Moscow: Mir, 1989. 439 p. (In Russian.)

19. Parveen S., Bhat I. U. H., Khanam Z., (...), Yusoff H. M., Akhter M. S. Phytoremediation: In situ alternative for pollutant removal from contaminated natural media: A brief review // *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2022. Vol. 12. Iss. 4. Pp. 4945–4960. DOI: 10.33263/BRIAC124.49454960.

20. Kopan' Yu. G. Korrelyatsionnyy analiz kak metod otsenki kolichestvennykh priznakov novogo sortimenta khrizantemy sadovoy v usloviyakh Yuzhnogo berega Kryma [Correlation analysis as a method for assessing the quantitative characteristics of a new assortment of garden chrysanthemum in the conditions of the southern coast of Crimea] // *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens*. 2008. No. 97. Pp. 36–39. (In Russian.)

**Authors' information:**

Antonina A. Reut<sup>1</sup>, candidate of biological sciences, leading researcher laboratories for the introduction and selection of floral plants, ORCID 0000-0002-4809-6449, AuthorID 625318; +7 917 465-18-89, [cvetok.79@mail.ru](mailto:cvetok.79@mail.ru)

Svetlana G. Denisova<sup>1</sup>, candidate of biological sciences, senior researcher laboratories for the introduction and selection of floral plants, ORCID 0000-0002-9005-9377, AuthorID 636056; +7 905 356-02-88, [svetik-7808@mail.ru](mailto:svetik-7808@mail.ru)

<sup>1</sup> South Ural Botanical Garden-Institute – a separate structural unit of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia