УДК 581.192:582.579.2:635.9
Код ВАК 4.1.1
DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-93-104

Особенности накопления тяжелых металлов в некоторых представителях родов *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L.

А. А. Реут[1]✉, С. Г. Денисова[1], Л. Ф. Бекшенева[1], И. Н. Аллаярова[1]
[1] Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия
✉*E-mail: cvetok.79@mail.ru*

Аннотация. В современных условиях тяжелые металлы (ТМ) рассматриваются как основные загрязнители почв. С одной стороны, они необходимы для нормального протекания физиологических процессов, а с другой – при повышенных концентрациях являются токсичными. В связи с этим актуально изучение содержание ТМ в растительных объектах. **Целью** наших исследований было изучение аккумуляции и распределения элементов (As, Cd, Pb, Ni, Mn, Cu, Fe, Cr) в надземной и подземной частях декоративных травянистых многолетников рода *Iris* L., *Paeonia* L., *Narcissus* L. **Объектами** исследований являлись надземные и подземные органы четырех видов рода *Iris* L. восьми сортов рода *Narcissus* и семи таксонов рода *Paeonia*. **Методы.** 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 представители трех разных родовых комплексов. **Результаты.** Исследования показали, что в надземной части большинства изученных таксонов накапливается As в концентрациях, превышающих ПДК. Избыточное количество Cr, Cu, Ni, Pb отмечали в надземной части некоторых представителей ирисов и пионов. Содержание Cd, Fe и Mn у всех изучаемых таксонов находится в допустимых пределах. Выявлено, что показатели содержания большинства элементов характеризуются большой изменчивостью, что подтверждается результатами других исследователей. Отмечено, что у ирисов в больших количествах, чем в других таксонах, в надземной части аккумулируются As, Cr, Mn, Ni, а в подземной – Cd, Cr, Fe, Mn, Ni, следовательно, их можно рекомендовать для использования в озеленении урбанизированных территорий.
Ключевые слова: ирис, нарцисс, пион, тяжелые металлы, аккумуляция.

Для цитирования: Реут А. А., Денисова С. Г., Бекшенева Л. Ф., Аллаярова И. Н. Особенности накопления тяжелых металлов в некоторых представителях родов *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L. // Аграрный вестник Урала. 2023. № 07 (236). С. 93–104. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-93-104.

Дата поступления статьи: 20.02.2023, ***дата рецензирования:*** 14.03.2023, ***дата принятия:*** 03.04.2023.

© Reut A. A., Denisova S. G., Beksheneva L. F., Allayarova I. N., 2023

Постановка проблемы (Introduction)

Значительной проблемой больших городов является загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ). Поступление ТМ в почвенный покров определяет их миграцию в грунтовые воды и доступность для растений [1, с. 47]. ТМ относятся к числу наиболее распространенных и опасных для биоты загрязнителей экологической среды [2, с. 183]. С одной стороны, они необходимы для нормального протекания физиологических процессов, а с другой – при повышенных концентрациях ТМ токсичны [3, с. 43; 4, с. 270; 5, с. 198]. Кроме того, содержание химических элементов в растительных объектах является весьма вариабельным параметром. Оно подвержено воздействию большого количества одновременно действующих факторов: внутренние, кристаллохимические, определяемые свойствами ионов, входящих в состав растений; внутренние, биохимические факторы, определяемые биологическими особенностями конкретного вида; внешние, ландшафтно-геохимические факторы, определяемые условиями среды обитания; антропогенные [6, с. 281]. Исходя из этого актуально изучение закономерностей содержания, накопления и распределения максимально широкого спектра химических элементов в растениях и создание базы данных по их элементному

химическому составу. Декоративные цветочные культуры, которые прочно занимают свою экологическую нишу, практически не рассматриваются с данной точки зрения [7, с. 156; 8, с. 85]. **Целью** наших исследований было изучение аккумуляции и распределения элементов (As, Cd, Pb, Ni, Mn, Cu, Fe, Cr) в надземной и подземной частях декоративных травянистых многолетников рода *Iris* L., *Paeonia* L., *Narcissus* L.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводили в вегетационный период 2020–2022 гг. на опытных участках лаборатории интродукции и селекции цветочных растений Южно-Уральского ботанического сада-института – обособленного структурного подразделения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (далее ЮУБСИ УФИЦ РАН), расположенного в юго-восточной части г. Уфы в междуречье рек Уфы и Сутолоки.

В качестве объектов исследования были использованы надземные и подземные органы некоторых представителей родов *Iris* L. (четыре вида); *Narcissus* L. (восемь сортов) и *Paeonia* L. (четыре вида и три сорта, интродуцированные и выращенные на базе ЮУБСИ УФИЦ РАН (таблица 1).

Изучение элементного состава растительных образцов проводили на базе аналитической лаборатории научно-исследовательского института сельского хозяйства в соответствии с методикой № М-02-1009-05 атомной спектроскопии [9, с. 81; 10, с. 144]. Для исследования были взяты надземные и подземные органы изучаемых объектов в соответствующие фазы развития (надземная – фаза цветения; подземная – конец вегетации). Корни очищали от примесей, промывали в проточной, а затем в дистиллированной воде. Для количественного анализа сырье высушивали до воздушно-сухого состояния, затем измельчали до размера частиц, проходящих сквозь сито с диаметром отверстий 1 мм [11, с. 219].

Математическую обработку данных осуществляли с помощью общепринятых методов вариационной статистики с использованием пакета программ AgCStat в виде надстройки Excel [12].

Результаты (Results)

Биологическое значение мышьяка в клетках растительных организмов достаточно велико, так как он способен замещать фосфор при оксиредукции, брожении, гликолизе, а также в процессе распада углеводов. Избыток мышьяка в растениях проявляется в увядании листьев и появлении фиолетовой окраски [13, с. 247].

Кадмий сравнительно легко поступает в растение из почвы в корневую систему, а также из атмосферы через листья. Основная причина токсичности кадмия – нарушение активности ферментов, транспирации, ингибирование фотосинтеза и биологического восстановления диоксида азота до оксида азота. Симптомами кадмиевого токсикоза у растений является задержка роста, повреждение корневой системы, хлороз листьев [13, с. 250].

Известно, что растительные организмы положительно реагируют на внесение хрома при низком содержании в почве доступной формы, но вопрос о незаменимости элемента для растений продолжает изучаться. Также не отмечены факты и не описаны внешние симптомы проявления его дефицита [13, с. 245].

Таблица 1

Краткие сведения об объектах исследования

Наименование рода	Виды	Сорта	Примечание
Iris L.	*I. orientalis* Mill. (касатик восточный)	–	Интродуцент
	I. spuria subsp. *carthaliniae* (Fomin) B. Mathew (касатик ложный карталинский)	–	Интродуцент
	I. pseudacorus L. (касатик ложноаирный)	–	Абореген
	I. sibirica L. (касатик сибирский)	–	Абореген
Narcissus L.	–	‘Actaea’, ‘Arctic Gold’, ‘Cassata’, ‘Quail’, ‘Sir Winston Churchill’, ‘White Lady’, ‘Calgary’, ‘Pink Parasol’	Интродуценты
Paeonia L.	*P. peregrina* Mill. (пион иноземный)	–	Интродуцент
	P. lactiflora f. *rosea* (пион молочноцветковый форма розовая)	–	Интродуцент
	P. lactiflora Pall. (пион молочноцветковый)	‘Аппассионата’, ‘Мустай Карим’, ‘Jeanne d’Arc’	Интродуценты
	P. delavayi Franch (пион Делавея)	–	Интродуцент

© Реут А. А., Денисова С. Г., Бекшенева Л. Ф., Аллаярова И. Н., 2023

Table 1

Brief information about the objects of study

Genus name	*Species*	*Varieties*	*Note*
Iris L.	*I. orientalis Mill.*	–	*Introducer*
	I. spuria subsp. carthaliniae (Fomin) B. Mathew	–	*Introducer*
	I. pseudacorus L.	–	*Native*
	I. sibirica L.	–	*Native*
Narcissus L.	–	*'Actaea', 'Arctic Gold', 'Cassata', 'Quail', 'Sir Winston Churchill', 'White Lady', 'Calgary', 'Pink Parasol'*	*Introducers*
Paeonia L.	*P. peregrina Mill.*	–	*Introducer*
	P. lactiflora f. rosea	–	*Introducer*
	P. lactiflora Pall.	*'Appassionata', 'Mustay Karim', 'Jeanne d'Arc'*	*Introducers*
	P. delavayi Franch	–	*Introducer*

Таблица 2

Предельно допустимые концентрации элементов в растительных объектах и почве

Элемент	ПДК или МДУ* в растительных объектах	ОДК**валовое или ПДК в почве
As (мышьяк)	0,50 мг/кг	2–10 мг/кг
Cd (кадмий)	1,0 мг/кг	2–5
Cr (хром)	0,5–1,0 мг/кг*	не разработано
Cu (медь)	20–30 мг/кг*	33–132
Fe (железо)	5–15 мг кг	–
Mn (марганец)	25 мг/кг	1500–3000**
Ni (никель)	1–3 мг/кг*	20–80**
Pb (свинец)	6,0 мг/кг	32–130**

Примечание. ПДК – предельно допустимая концентрация; МДУ – максимально допустимый уровень; ОДК – ориентировочно допустимое валовое количество [14; 15, с. 95; 16, с. 58; 17; 18].

Table 2

Maximum allowable concentrations of elements in plant objects and soil

Element	*MAC or MAL* in plant objects*	*AAG** amount gross or MAC in soil*
As	*0.50 mg/kg*	*2–10 mg/kg*
Cd	*1.0 mg/kg*	*2–5*
Cr	*0.5–1.0 mg/kg**	*not developed*
Cu	*20–30 mg/kg**	*33–132*
Fe	*5–15 mg/kg*	–
Mn	*25 mg/kg*	*1500–3000***
Ni	*1–3 mg/kg**	*20–80***
Pb	*6.0 mg/kg*	*32–130***

Note. MAC – maximum allowable concentration; MAL – maximum allowable level; AAG – approximate allowable gross amount [14; 15, p. 95; 16, p. 58; 17; 18].

Железо сложно отнести к микроэлементам, так как его содержание в тканях растений достаточно высокое и потребность в нем самих растений тоже большая. Оно принимает участие в процессах дыхания и фотосинтеза. Недостаток железа проявляется в пожелтении листьев и снижении интенсивности окислительно-восстановительных процессов.

Медь, подобно железу, связана в клетках с ферментами и участвует в окислительно-восстановительных реакциях. Также она активизирует витамины группы В и задерживает процесс физиологического старения. При ее дефиците наблюдаются некротические пятна на молодых листьях, заметна задержка роста и цветения, завядание и ранний листопад.

В растениях марганец накапливается в листьях и участвует в фотолизе воды. Кроме того, он входит в состав каталитического центра многих ферментов и способствует увеличению аскорбиновой кислоты в плодах и овощах. При резком недостатке марганца растения заболевают серой пятнистостью: на листьях появляются серо-зеленые и буро-зеленые пятна, которые затем сливаются в полосы, листья загибаются.

Необходимость никеля для живых организмов доказана сравнительно недавно. В высших растениях он входит в состав фермента уреазы, также может оказывать неспецифическое влияние на функционирование других ферментов.

Таблица 3

Содержание элементов в надземной и подземной частях некоторых представителей родов *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L.

Вид сырья	Род	Таксон	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb
Надземные органы	*Iris* L.	*I. orientalis*	1,395 ± 0,019	0,094 ± 0,008	1,688 ± 0,020	17,958 ± 0,577	1,705 ± 0,008	7,572 ± 0,009	3,744 ± 0,024	2,128 ± 0,043
		I. pseudacorus	1,276 ± 0,006	0,0725 ± 0,0005	1,064 ± 0,024	18,335 ± 0,249	2,058 ± 0,012	8,201 ± 0,003	3,653 ± 0,022	2,263 ± 0,004
		I. sibirica	2,066 ± 0,001	0,131 ± 0,0005	2,167 ± 0,015	15,423 ± 0,171	1,940 ± 0,014	6,670 ± 0,005	3,008 ± 0,049	2,149 ± 0,006
		I. spuria subsp. *carthaliniae*	1,812 ± 0,016	0,1015 ± 0,0005	1,578 ± 0,003	17,928 ± 0,136	1,820 ± 0,052	7,959 ± 0,022	3,121 ± 0,012	1,825 ± 0,010
		***V*, %**	**22,401**	**24,249**	**27,868**	**7,686**	**8,094**	**8,840**	**10,966**	**8,949**
	Narcissus L.	‘Actaea’	0,243 ± 0,009	0,012 ± 0,001	0,041 ± 0,001	17,236 ± 0,248	0,478 ± 0,001	0,608 ± 0,001	0,371 ± 0,001	0,772 ± 0,005
		‘Arctic Gold’	0,795 ± 0,012	0,013 ± 0,000	0,104 ± 0,001	11,253 ± 0,042	0,533 ± 0,003	0,678 ± 0,003	0,755 ± 0,010	0,738 ± 0,009
		‘Cassata’	0,345 ± 0,003	0,020 ± 0,000	0,183 ± 0,000	11,973 ± 0,009	0,548 ± 0,004	0,627 ± 0,002	0,477 ± 0,008	0,678 ± 0,001
		‘Quail’	0,956 ± 0,004	0,037 ± 0,001	0,254 ± 0,001	10,970 ± 0,182	0,641 ± 0,007	0,732 ± 0,001	0,838 ± 0,004	1,823 ± 0,031
		‘Sir Winston Churchill’	0,543 ± 0,004	0,028 ± 0,000	0,161 ± 0,001	24,027 ± 0,152	0,585 ± 0,004	0,648 ± 0,000	0,556 ± 0,004	0,983 ± 0,001
		‘White Lady’	0,793 ± 0,010	0,018 ± 0,000	0,144 ± 0,001	14,123 ± 0,125	0,563 ± 0,012	0,708 ± 0,007	0,758 ± 0,011	0,919 ± 0,002
		‘Calgary’	0,723 ± 0,021	0,032 ± 0,001	0,064 ± 0,001	22,406 ± 0,152	0,476 ± 0,002	0,648 ± 0,001	0,378 ± 0,004	0,844 ± 0,001
		‘Pink Parasol’	0,901 ± 0,021	0,013 ± 0,000	0,086 ± 0,002	8,213 ± 0,004	0,570 ± 0,012	0,735 ± 0,001	0,767 ± 0,021	0,767 ± 0,021
		***V*, %**	**39,217**	**44,281**	**53,947**	**37,951**	**9,978**	**7,141**	**30,920**	**39,351**
	Paeonia L.	*P. delavayi*	1,478 ± 0,028	0,077 ± 0,001	0,815 ± 0,022	36,212 ± 0,041	1,857 ± 0,005	3,020 ± 0,003	2,091 ± 0,025	3,102 ± 0,018
		P. lactiflora	1,382 ± 0,011	0,172 ± 0,001	0,609 ± 0,005	39,491 ± 0,097	1,910 ± 0,019	3,461 ± 0,004	2,484 ± 0,026	1,998 ± 0,006
		P. lactiflora f. rosea	1,483 ± 0,017	0,099 ± 0,001	0,690 ± 0,007	39,918 ± 0,346	1,907 ± 0,006	3,495 ± 0,004	3,093 ± 0,011	3,352 ± 0,007
		P. peregrina	1,468 ± 0,007	0,093 ± 0,000	0,750 ± 0,001	30,713 ± 0,222	1,889 ± 0,005	3,273 ± 0,005	2,750 ± 0,028	10,020 ± 0,056
		‘Аппассионата’	1,818 ± 0,003	0,089 ± 0,001	0,559 ± 0,009	29,232 ± 0,050	2,117 ± 0,016	2,874 ± 0,002	2,897 ± 0,018	1,938 ± 0,001
		‘Мустай Карим’	2,191 ± 0,012	0,337 ± 0,001	0,469 ± 0,002	33,930 ± 0,266	1,843 ± 0,003	3,025 ± 0,012	3,416 ± 0,013	6,149 ± 0,061
		‘Jeanne d’Arc’	1,623 ± 0,030	0,117 ± 0,002	0,418 ± 0,004	30,045 ± 0,171	1,855 ± 0,003	3,031 ± 0,014	2,831 ± 0,047	2,982 ± 0,002
		***V*, %**	**17,346**	**65,470**	**23,642**	**13,009**	**4,946**	**7,638**	**15,185**	**69,113**
Подземные органы	*Iris* L.	*I. orientalis*	0,849 ± 0,013	0,05 ± 0,000	0,744 ± 0,026	7,502 ± 0,173	0,639 ± 0,003	2,516 ± 0,002	1,545 ± 0,036	0,600 ± 0,002
		I. pseudacorus	0,664 ± 0,018	0,02 ± 0,001	0,102 ± 0,001	5,895 ± 0,039	0,606 ± 0,007	2,576 ± 0,005	1,575 ± 0,020	0,695 ± 0,012
		I. sibirica	0,463 ± 0,011	0,018 ± 0,000	0,588 ± 0,015	6,570 ± 0,065	0,654 ± 0,012	2,675 ± 0,001	1,120 ± 0,003	0,54 ± 0,000
		I. spuria subsp. *carthaliniae*	0,832 ± 0,019	0,024 ± 0,001	0,787 ± 0,000	7,196 ± 0,364	0,573 ± 0,002	2,759 ± 0,010	0,715 ± 0,000	0,668 ± 0,009
		***V*, %**	**25,624**	**53,133**	**56,556**	**10,486**	**5,839**	**4,079**	**32,800**	**11,147**

Продолжение таблицы 3

	Narcissus L.	‘Actaea’	0,601 ± 0,011	0,023 ± 0,000	0,082 ± 0,002	10,793 ± 0,254	0,538 ± 0,006	0,615 ± 0,004	0,483 ± 0,010	0,592 ± 0,000
		‘Arctic Gold’	0,415 ± 0,007	0,032 ± 0,001	0,201 ± 0,009	18,310 ± 0,078	0,583 ± 0,005	0,640 ± 0,003	0,647 ± 0,007	0,867 ± 0,001
		‘Cassata’	1,08 ± 0,022	0,028 ± 0,001	0,140 ± 0,000	10,168 ± 0,036	0,523 ± 0,006	0,697 ± 0,001	0,800 ± 0,010	1,165 ± 0,001
		‘Quail’	0,390 ± 0,009	0,014 ± 0,001	0,105 ± 0,001	19,477 ± 0,038	0,545 ± 0,010	0,640 ± 0,001	0,573 ± 0,001	0,670 ± 0,006
		‘Sir Winston Churchill’	1,386 ± 0,032	0,038 ± 0,000	0,226 ± 0,004	12,411 ± 0,073	0,530 ± 0,014	0,783 ± 0,004	1,065 ± 0,006	0,81 ± 0,001
		‘White Lady’	1,698 ± 0,026	0,026 ± 0,001	0,051 ± 0,001	16,050 ± 0,173	0,386 ± 0,040	0,702 ± 0,001	0,980 ± 0,014	0,931 ± 0,008
		‘Calgary’	0,270 ± 0,001	0,020 ± 0,000	0,198 ± 0,003	13,544 ± 0,132	0,546 ± 0,007	0,713 ± 0,001	0,767 ± 0,004	0,790 ± 0,001
		‘Pink Parasol’	0,905 ± 0,004	0,014 ± 0,001	0,089 ± 0,001	8,108 ± 0,043	0,544 ± 0,009	0,725 ± 0,000	0,758 ± 0,002	1,010 ± 0,004
		***V*, %**	**61,158**	**34,530**	**47,554**	**29,652**	**11,185**	**7,986**	**25,753**	**21,477**
	Paeonia L.	*P. delavayi*	0,261 ± 0,005	0,018 ± 0,000	0,261 ± 0,012	10,776 ± 0,008	0,700 ± 0,006	1,016 ± 0,004	0,841 ± 0,008	0,505 ± 0,000
		P. lactiflora	0,022 ± 0,000	0,012 ± 0,001	0,268 ± 0,003	16,129 ± 0,083	0,653 ± 0,011	1,203 ± 0,001	0,986 ± 0,003	0,675 ± 0,000
		P. lactiflora f. rosea	0,483 ± 0,006	0,019 ± 0,001	0,203 ± 0,003	13,444 ± 0,091	0,579 ± 0,060	1,028 ± 0,002	1,274 ± 0,019	0,842 ± 0,008
		P. peregrina	0,468 ± 0,001	0,010 ± 0,000	0,137 ± 0,002	14,416 ± 0,091	0,654 ± 0,012	1,018 ± 0,003	0,745 ± 0,001	0,893 ± 0,003
		‘Аппассионата’	0,278 ± 0,004	0,028 ± 0,001	0,119 ± 0,002	10,511 ± 0,026	0,504 ± 0,001	0,957 ± 0,007	1,144 ± 0,030	0,751 ± 0,001
		‘Мустай Карим’	0,315 ± 0,006	0,051 ± 0,001	0,101 ± 0,001	10,215 ± 0,090	0,566 ± 0,002	1,023 ± 0,008	0,897 ± 0,013	1,229 ± 0,014
		‘Jeanne d’Arc’	0,358 ± 0,006	0,030 ± 0,000	0,101 ± 0,002	9,932 ± 0,172	0,328 ± 0,001	1,019 ± 0,001	1,006 ± 0,008	0,844 ± 0,001
		***V*, %**	**49,555**	**58,482**	**43,083**	**20,033**	**21,975**	**7,397**	**18,323**	**27,214**

Table 3

The content of elements in the aboveground and underground parts of some representatives of the genera Iris L., Narcissus L., Paeonia L.

Type of raw material	***Genus***	***Taxon***	***As***	***Cd***	***Cr***	***Cu***	***Fe***	***Mn***	***Ni***	***Pb***
Above ground organs	*Iris L.*	*I. orientalis*	*1.395 ± 0.019*	*0.094 ± 0.008*	*1.688 ± 0.020*	*17.958 ± 0.577*	*1.705 ± 0.008*	*7.572 ± 0.009*	*3.744 ± 0.024*	*2.128 ± 0.043*
		I. pseudacorus	*1.276 ± 0.006*	*0.0725 ± 0.0005*	*1.064 ± 0.024*	*18.335 ± 0.249*	*2.058 ± 0.012*	*8.201 ± 0.003*	*3.653 ± 0.022*	*2.263 ± 0.004*
		I. sibirica	*2.066 ± 0.001*	*0.131 ± 0.0005*	*2.167 ± 0.015*	*15.423 ± 0.171*	*1.940 ± 0.014*	*6.670 ± 0.005*	*3.008 ± 0.049*	*2.149 ± 0.006*
		I. spuria subsp. carthaliniae	*1.812 ± 0.016*	*0.1015 ± 0.0005*	*1.578 ± 0.003*	*17.928 ± 0.136*	*1.820 ± 0.052*	*7.959 ± 0.022*	*3.121 ± 0.012*	*1.825 ± 0.010*
		V, %	***22.401***	***24.249***	***27.868***	***7.686***	***8.094***	***8.840***	***10.966***	***8.949***
	Narcissus L.	*‘Actaea’*	*0.243 ± 0.009*	*0.012 ± 0.001*	*0.041 ± 0.001*	*17.236 ± 0.248*	*0.478 ± 0.001*	*0.608 ± 0.001*	*0.371 ± 0.001*	*0.772 ± 0.005*
		‘Arctic Gold’	*0.795 ± 0.012*	*0.013 ± 0.000*	*0.104 ± 0.001*	*11.253 ± 0.042*	*0.533 ± 0.003*	*0.678 ± 0.003*	*0.755 ± 0.010*	*0.738 ± 0.009*
		‘Cassata’	*0.345 ± 0.003*	*0.020 ± 0.000*	*0.183 ± 0.000*	*11.973 ± 0.009*	*0.548 ± 0.004*	*0.627 ± 0.002*	*0.477 ± 0.008*	*0.678 ± 0.001*
		‘Quail’	*0.956 ± 0.004*	*0.037 ± 0.001*	*0.254 ± 0.001*	*10.970 ± 0.182*	*0.641 ± 0.007*	*0.732 ± 0.001*	*0.838 ± 0.004*	*1.823 ± 0.031*

Table continuation 3

		'Sir Winston Churchill'	0.543 ± 0.004	0.028 ± 0.000	0.161 ± 0.001	24.027 ± 0.152	0.585 ± 0.004	0.648 ± 0.000	0.556 ± 0.004	0.983 ± 0.001
		'White Lady'	0.793 ± 0.010	0.018 ± 0.000	0.144 ± 0.001	14.123 ± 0.125	0.563 ± 0.012	0.708 ± 0.007	0.758 ± 0.011	0.919 ± 0.002
		'Calgary'	0.723 ± 0.021	0.032 ± 0.001	0.064 ± 0.001	22.406 ± 0.152	0.476 ± 0.002	0.648 ± 0.001	0.378 ± 0.004	0.844 ± 0.001
		'Pink Parasol'	0.901 ± 0.021	0.013 ± 0.000	0.086 ± 0.002	8.213 ± 0.004	0.570 ± 0.012	0.735 ± 0.001	0.767 ± 0.021	0.767 ± 0.021
		V, %	**39.217**	**44.281**	**53.947**	**37.951**	**9.978**	**7.141**	**30.920**	**39.351**
	Paeonia L.	*P. delavayi*	1.478 ± 0.028	0.077 ± 0.001	0.815 ± 0.022	36.212 ± 0.041	1.857 ± 0.005	3.020 ± 0.003	2.091 ± 0.025	3.102 ± 0.018
		P. lactiflora	1.382 ± 0.011	0.172 ± 0.001	0.609 ± 0.005	39.491 ± 0.097	1.910 ± 0.019	3.461 ± 0.004	2.484 ± 0.026	1.998 ± 0.006
		P. lactiflora f. rosea	1.483 ± 0.017	0.099 ± 0.001	0.690 ± 0.007	39.918 ± 0.346	1.907 ± 0.006	3.495 ± 0.004	3.093 ± 0.011	3.352 ± 0.007
		P. peregrina	1.468 ± 0.007	0.093 ± 0.000	0.750 ± 0.001	30.713 ± 0.222	1.889 ± 0.005	3.273 ± 0.005	2.750 ± 0.028	10.020 ± 0.056
		'Appassionata'	1.818 ± 0.003	0.089 ± 0.001	0.559 ± 0.009	29.232 ± 0.050	2.117 ± 0.016	2.874 ± 0.002	2.897 ± 0.018	1.938 ± 0.001
		'Mustay Karim'	2.191 ± 0.012	0.337 ± 0.001	0.469 ± 0.002	33.930 ± 0.266	1.843 ± 0.003	3.025 ± 0.012	3.416 ± 0.013	6.149 ± 0.061
		'Jeanne d'Arc'	1.623 ± 0.030	0.117 ± 0.002	0.418 ± 0.004	30.045 ± 0.171	1.855 ± 0.003	3.031 ± 0.014	2.831 ± 0.047	2.982 ± 0.002
		V, %	**17.346**	**65.470**	**23.642**	**13.009**	**4.946**	**7.638**	**15.185**	**69.113**
Underground organs	*Iris L.*	*I. orientalis*	0.849 ± 0.013	0.05 ± 0.000	0.744 ± 0.026	7.502 ± 0.173	0.639 ± 0.003	2.516 ± 0.002	1.545 ± 0.036	0.600 ± 0.002
		I. pseudacorus	0.664 ± 0.018	0.02 ± 0.001	0.102 ± 0.001	5.895 ± 0.039	0.606 ± 0.007	2.576 ± 0.005	1.575 ± 0.020	0.695 ± 0.012
		I. sibirica	0.463 ± 0.011	0.018 ± 0.000	0.588 ± 0.015	6.570 ± 0.065	0.654 ± 0.012	2.675 ± 0.001	1.120 ± 0.003	0.54 ± 0.000
		I. spuria subsp. carthaliniae	0.832 ± 0.019	0.024 ± 0.001	0.787 ± 0.000	7.196 ± 0.364	0.573 ± 0.002	2.759 ± 0.010	0.715 ± 0.000	0.668 ± 0.009
		V, %	**25.624**	**53.133**	**56.556**	**10.486**	**5.839**	**4.079**	**32.800**	**11.147**
	Narcissus L.	*'Actaea'*	0.601 ± 0.011	0.023 ± 0.000	0.082 ± 0.002	10.793 ± 0.254	0.538 ± 0.006	0.615 ± 0.004	0.483 ± 0.010	0.592 ± 0.000
		'Arctic Gold'	0.415 ± 0.007	0.032 ± 0.001	0.201 ± 0.009	18.310 ± 0.078	0.583 ± 0.005	0.640 ± 0.003	0.647 ± 0.007	0.867 ± 0.001
		'Cassata'	1.08 ± 0.022	0.028 ± 0.001	0.140 ± 0.000	10.168 ± 0.036	0.523 ± 0.006	0.697 ± 0.001	0.800 ± 0.010	1.165 ± 0.001
		'Quail'	0.390 ± 0.009	0.014 ± 0.001	0.105 ± 0.001	19.477 ± 0.038	0.545 ± 0.010	0.640 ± 0.001	0.573 ± 0.001	0.670 ± 0.006
		'Sir Winston Churchill'	1.386 ± 0.032	0.038 ± 0.000	0.226 ± 0.004	12.411 ± 0.073	0.530 ± 0.014	0.783 ± 0.004	1.065 ± 0.006	0.81 ± 0.001
		'White Lady'	1.698 ± 0.026	0.026 ± 0.001	0.051 ± 0.001	16.050 ± 0.173	0.386 ± 0.040	0.702 ± 0.001	0.980 ± 0.014	0.931 ± 0.008
		'Calgary'	0.270 ± 0.001	0.020 ± 0.000	0.198 ± 0.003	13.544 ± 0.132	0.546 ± 0.007	0.713 ± 0.001	0.767 ± 0.004	0.790 ± 0.001
		'Pink Parasol'	0.905 ± 0.004	0.014 ± 0.001	0.089 ± 0.001	8.108 ± 0.043	0.544 ± 0.009	0.725 ± 0.000	0.758 ± 0.002	1.010 ± 0.004
		V, %	**61.158**	**34.530**	**47.554**	**29.652**	**11.185**	**7.986**	**25.753**	**21.477**
	Paeonia L.	*P. delavayi*	0.261 ± 0.005	0.018 ± 0.000	0.261 ± 0.012	10.776 ± 0.008	0.700 ± 0.006	1.016 ± 0.004	0.841 ± 0.008	0.505 ± 0.000
		P. lactiflora	0.022 ± 0.000	0.012 ± 0.001	0.268 ± 0.003	16.129 ± 0.083	0.653 ± 0.011	1.203 ± 0.001	0.986 ± 0.003	0.675 ± 0.000
		P. lactiflora f. rosea	0.483 ± 0.006	0.019 ± 0.001	0.203 ± 0.003	13.444 ± 0.091	0.579 ± 0.060	1.028 ± 0.002	1.274 ± 0.019	0.842 ± 0.008
		P. peregrina	0.468 ± 0.001	0.010 ± 0.000	0.137 ± 0.002	14.416 ± 0.091	0.654 ± 0.012	1.018 ± 0.003	0.745 ± 0.001	0.893 ± 0.003
		'Appassionata'	0.278 ± 0.004	0.028 ± 0.001	0.119 ± 0.002	10.511 ± 0.026	0.504 ± 0.001	0.957 ± 0.007	1.144 ± 0.030	0.751 ± 0.001
		'Mustay Karim'	0.315 ± 0.006	0.051 ± 0.001	0.101 ± 0.001	10.215 ± 0.090	0.566 ± 0.002	1.023 ± 0.008	0.897 ± 0.013	1.229 ± 0.014
		'Jeanne d'Arc'	0.358 ± 0.006	0.030 ± 0.000	0.101 ± 0.002	9.932 ± 0.172	0.328 ± 0.001	1.019 ± 0.001	1.006 ± 0.008	0.844 ± 0.001
		V, %	**49.555**	**58.482**	**43.083**	**20.033**	**21.975**	**7.397**	**18.323**	**27.214**

Таблица 4

Ряды элементов в порядке убывания их содержания в исследуемом сырье

Родовой комплекс	Вид сырья	Ряды элементов
Iris L.	Надземные органы	Cu > Mn > Ni > Pb > Fe > As > Cr > Cd
	Подземные органы	Cu > Mn > Ni > As > Pb > Fe > Cr > Cd
Narcissus L.	Надземные органы	Cu > Pb > Mn > As > Ni > Fe > Cr > Cd
	Подземные органы	Cu > As > Ni > Pb > Mn > Fe > Cr > Cd
Paeonia L.	Надземные органы	Cu > Pb > Mn > Ni > Fe > As > Cr > Cd
	Подземные органы	Cu > Mn > Ni > Pb > Fe > As > Cr > Cd

Table 4

Rows of elements in descending order of their content in the studied raw materials

Generic complex	*Type of raw material*	*Rows of elements*
Iris L.	*Elevated organs*	*Cu > Mn > Ni > Pb > Fe > As > Cr > Cd*
	Underground organs	*Cu > Mn > Ni > As > Pb > Fe > Cr > Cd*
Narcissus L.	*Elevated organs*	*Cu > Pb > Mn > As > Ni > Fe > Cr > Cd*
	Underground organs	*Cu > As > Ni > Pb > Mn > Fe > Cr > Cd*
Paeonia L.	*Elevated organs*	*Cu > Pb > Mn > Ni > Fe > As > Cr > Cd*
	Underground organs	*Cu > Mn > Ni > Pb > Fe > As > Cr > Cd*

Установлено, что в небольших количествах свинец необходим растительным организмам. Его избыток ингибирует процессы дыхания и фотосинтеза, иногда приводит к увеличению содержания кадмия и снижению поступления цинка, кальция, фосфора, серы. Вследствие этого снижается урожайность растений и ухудшается качество производимой продукции. Внешние симптомы негативного действия свинца – появление темно-зеленых листьев, скручивание старых листьев, чахлая листва [13, с. 250].

При анализе полученных данных выявлено, что суммарное содержание Cd, Fe, Mn в надземной и подземной частях исследуемых растений не превышает предельно допустимых концентраций (таблицы 2, 3). Также отмечено, что кумуляция Pb в сырье большинства анализируемых таксонов не выходит за пределы ПДК, за исключением надземной массы *P. peregrina* и *P. lactiflora* ‘Мустай Карим’: здесь наблюдали превышение ПДК на 4,02 и 0,15 мг/кг. Также концентрации Cr, превышающие максимально допустимый уровень (МДУ) на 0,06–1,17 мг/кг, наблюдали в надземных частях представителей рода *Iris* L. (*I. orientalis*, *I. spuria* subsp. *carthaliniae*, *I. pseudacorus*, *I. sibirica*). Кроме того, превышение МДУ Cu на 0,7–9,9 мг/кг отмечали в надземных частях отдельных представителей рода *Paeonia* L. (*P. delavayi*, *P. lactiflora*, *P. lactiflora* f. *rosea*, *P. Peregrina*, ‘Мустай Карим’). МДУ Ni был превышен в надземных частях ирисов на 0,1–0,74 мг/кг (*I. orientalis*, *I. spuria* subsp. *carthaliniae*, *I. pseudacorus*) и на 0,35 и 0,4 мг/кг в надземных частях *P. lactiflora* f. *rosea.* Кумуляция As в надземных частях представителей родов *Iris*, *Paeonia* превышала ПДК на 0,78–1,69 мг/кг. У представителей рода *Narcissus* также отмечали превышение ПДК в надземных и подземных частях у ‘Pink Parasol’ (на 0,4 мг/кг), ‘White Lady’ (на 0,79 и 1,2 мг/кг соответственно), ‘Sir Winston Churchill’ (на 0,043 и 0,89 мг/кг соответственно); в надземной части ‘Arctic Gold’ (на 0,29 мг/кг), ‘Quail’ (на 0,45 мг/кг), ‘Calgary’ (на 0,22 мг/кг); в подземной части ‘Actaea’ (на 0,1 мг/кг), ‘Cassata’ (на 0,58 мг/кг).

Таким образом, проведенный анализ показал, что в надземной части большинства изученных таксонов кумулируется As в концентрациях, превышающих ПДК. Превышение уровня Cr, Cu, Ni, Pb отмечали в надземной части некоторых представителей ирисов и пионов. Содержание Cd, Fe и Mn у всех изучаемых таксонов находится в допустимых пределах.

Расчет коэффициента вариации показал, что содержание Mn и Fe характеризуются слабой или средней изменчивостью независимо от вида сырья. По содержанию Cu у ирисов отмечали незначительную изменчивость, а у нарциссов и пионов значительную. Содержание других изучаемых элементов также характеризовалось значительной вариабельностью.

Также было определено среднее содержание тяжелых металлов по родам и по ним построены лепестковые диаграммы содержания элементов в надземной и подземной частях (рис. 1). Выявлено, что в надземной массе ирисов содержится большее количество As, Cr, Mn, Ni, чем в других исследуемых объектах; а в пионах выше содержание Cd, Cu, Fe, Pb. Подземная масса ирисов отличалась более высокой кумуляцией Cd, Cr, Fe, Mn, Ni; нарцисса – As, Cu; пиона – Pb. Кроме того, для каждого анализируемого рода построены ряды элементов в порядке убывания их содержания в исследуемом сырье (таблица 4).

Рис. 1. Лепестковые диаграммы содержания тяжелых металлов в надземных и подземных органах родов Iris L., Narcissus L., Paeonia L.

Fig. 1. Radar diagrams of the content of heavy metals in the aboveground and underground organs of the genera Iris L., Narcissus L., Paeonia L.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, проведенные исследования показали, что в надземной части большинства изученных таксонов аккумулируется As в концентрациях, превышающих ПДК. Превышение уровня Cr, Cu, Ni, Pb отмечали в надземной части некоторых представителей ирисов и пионов. Содержание Cd, Fe и Mn у всех изучаемых таксонов находится в допустимых пределах. Также выявлено, что показатели содержания большинства элементов характеризуются большой изменчивостью, что подтверждается результатами других исследователей [6]. Отмечено, что у ирисов в больших количествах, чем в других таксонах, в надземной части аккумулируется As, Cr, Mn, Ni, а в подземной – Cd, Cr, Fe, Mn, Ni, следовательно их можно рекомендовать для использования в озеленении урбанизированных территорий.

Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена в рамках государственного задания ЮУБСИ УФИЦ РАН «Биоразнообразие природных систем и растительные ресурсы России: оценка состояния и мониторинг динамики, проблемы сохранения, воспроизводства, увеличения и рационального использования» № FMRS-2022-0072.

Библиографический список

1. 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: 10.32417/1997-2021-214-11-45-55.
2. Седельникова Л. Л., Цандекова О. Л. Динамика накопления серы и азота в вегетативных органах краснодневa гибридного (*Hemerocallis hybrida*) в условиях техногенной среды // Вестник КрасГАУ. 2018. № 1 (136). С. 182–187.
3. Щукин В. М., Кузьмина Н. Е., Швецова Ю. Н., Лутцева А. И. Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов и мышьяка в различных лекарственных формах растительных препаратов российского фармацевтического рынка // Ведомости научного центра экспертизы средств медицинского применения. 2020. Т. 10. № 1. С. 41–50. DOI: 10.30895/1991-2919-2020-10-1-41-50.
4. Мартынов А. М., Чупарина Е. В., Даргаева Т. Д. Исследование фенольных соединений и элементного состава подземных органов *Euphorbia fischeriana* Steud. // Химия растительного сырья. 2022. № 1. С. 269–276. DOI: 10.14258/jcprm.2022019135.
5. Дунилин А. Д., Чистякова А. С. Изучение флавоноидов цветков каштана конского обыкновенного // 90 лет – от растения до лекарственного препарата: достижения и перспективы: сборник материалов юбилейной международной научной конференции. Москва, 2021. С. 196–200. DOI: 10.52101/9785870191003_2021_196.
6. Сиромля Т. И., Остроухова Е. Г. Содержание и особенности распределения химических элементов в растениях сем. *Asteraceae* юга Западной Сибири // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах: материалы III Международной школы-семинара молодых исследователей. Тюмень, 2018. С. 279–285.
7. Елагина Д. С., Архипова Н. С., Воробьев В. Н. Комплексное исследование металлоустойчивости *Amaranthus retroflexus* L. // Известия Горского государственного аграрного университета. 2019. Т. 56. № 1. С. 154–162.
8. Пухальский Я. В., Лоскутов С. И., Никитичева Г. В. [и др.]. Оценка габитуса и транслокации токсичного хрома Cr (III) в биомассу *Tagetes erecta* при интродукции в среду гуминовых экстрактов сапропеля // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (90). С. 83–88. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-90-4-83-88.
9. 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.
10. Симонова О. А., Симонов М. В., Товстик Е. В. Сортовые особенности 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.
11. 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.
12. 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-statisticheskoj-ocenki-i-analiza-rezultatov-polevyx-i-laboratornyx-opytov (дата обращения: 26.09.2021).
13. Седельникова Л. Л., Чанкина О. В. Элементный состав вегетативных органов сортов ‘Regal Air’ и ‘Speak to Me’ *Hemerocallis hybrida* // Химия растительного сырья. 2020. № 1. С. 245–250. DOI: 10.14258/jcprm.2020014612.

14. Государственная фармакопея Российской Федерации: в 3 томах [Электронный ресурс]. URL: http://femb.ru/feml (дата обращения: 01.11.2020).
15. Ширяева О. Ю., Ширяева М. М. Изменение содержания эссенциальных элементов в растениях разных сортов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (90). С. 93–99. DOI 10.37670/2073-0853-2021-90-4-93-99.
16. Бадмаева С. Э., Мучкина Е. Я., Подлужная А. С., Бадмаева Ю. В. Тяжелые металлы в почвенном покрове и древесных растениях урбанизированной территории. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2021. 166 с.
17. ПДК тяжелых металлов в продовольственном сырье и пищевых продуктах. СанПиН 42-123-4089-86 от 31.03.86 [Электронный ресурс]. URL: https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=259784 (дата обращения: 16.11.2020).
18. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных [Электронный ресурс]. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293725/4293725464.htm (дата обращения: 16.11.2020).

Об авторах:
Антонина Анатольевна Реут[1], кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией интродукции и селекции цветочных растений, ORCID 0000-0002-4809-6449, AuthorID 625318; *+7 917 465-18-89*, *cvetok.79@mail.ru*
Светлана Галимулловна Денисова[1], 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*
Лилия Файзиевна Бекшенева[1], младший научный сотрудник лаборатории интродукции и селекции цветочных растений, ORCID 0000-0002-2506-4559, AuthorID 1039806; *+7 917 413-21-68*, *linden07@yandex.ru*
Ирина Нагимовна Аллаярова[1], кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории интродукции и селекции цветочных растений, ORCID 0000-0002-4575-7301, AuthorID 908455; *+7 937 317-86-78*, *AllayarowaIrina@yandex.ru*
[1] Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

Features of accumulation of heavy metals in some representatives of the genera *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L.

A. A. Reut[1]✉, S. G. Denisova[1], L. F. Beksheneva[1], I. N. Allayarova[1]
[1] South-Ural Botanical Garden-Institute of Ufa Federal Research Centre of Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia
✉*E-mail: cvetok.79@mail.ru*

Abstract. In modern conditions, heavy metals (HM) are considered as the main soil pollutants. On the one hand, they are necessary for the normal course of physiological processes, and on the other hand, at elevated HM concentrations, they are toxic. In this regard, it is important to study the content of heavy metals in plant objects. **The aim** of our research was to study the accumulation and distribution of elements (As, Cd, Pb, Ni, Mn, Cu, Fe, Cr) in the aboveground and underground parts of ornamental herbaceous perennials of the genus *Iris* L., *Paeonia* L., *Narcissus* L. **The objects** of research were aboveground and underground organs of four species of the genus *Iris* L., eight varieties of the genus *Narcissus*, and seven taxa of the genus *Paeonia*. **Methods.** The study of the elemental composition of the aboveground and underground parts was carried out according to the method No. M-02-1009-05 of atomic spectroscopy. Mathematical data processing was carried out using the generally accepted methods of variation statistics using the AgCStat software package as an Excel add-in**. Scientific novelty.** For the first time, representatives of three different generic complexes were taken for the study. **Results.** Studies have shown that in the aerial part of most of the taxa studied, As accumulates in concentrations exceeding the maximum allowable concentrations. An excessive amount of Cr, Cu, Ni, Pb was noted in the aboveground part of some representatives of irises and peonies. The content of Cd, Fe, and Mn in all studied taxa is within acceptable limits. It was revealed

that the indicators of the content of most elements are characterized by great variability, which is confirmed by the results of other researchers. It was noted that in irises in larger quantities than in other taxa, As, Cr, Mn, Ni accumulate in the aboveground part, and Cd, Cr, Fe, Mn, Ni in the underground part, therefore, they can be recommended for use in landscaping urban areas.
Keywords: *Iris*, *Narcissus*, *Paeonia*, heavy metals, accumulation.

For citation: Reut A. A., Denisova S. G., Beksheneva L. F., Allayarova I. N. Osobennosti nakopleniya tyazhelykh metallov v nekotorykh predstavitelyakh rodov *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L. [Features of accumulation of heavy metals in some representatives of the genera *Iris* L., *Narcissus* L., *Paeonia* L.] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 07 (236). Pp. 93–104. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-93-104. (In Russian.)

Date of paper submission: 20.02.2023, ***date of review:*** 14.03.2023, ***date of acceptance:*** 03.04.2023.

References

1. Reut A. A., Denisova S. G. Sravnitel'nyy analiz soderzhaniya tyazhelykh metallov v syr'ye 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: 10.32417/1997-2021-214-11-45-55. (In Russian.)
2. Sedel'nikova L. L., Tsandekova O. L. Dinamika nakopleniya sery i azota v vegetativnykh organakh krasnodneva gibridnogo (*Hemerocallis hybrida*) v usloviyakh tekhnogennoy sredy [Dynamics of sulfur and nitrogen accumulation in the vegetative organs of the *Hemerocallis hybrida* in the technogenic environment] // The Bulletin of KrasGAU. 2018. No. 1 (136). Pp. 182–187. (In Russian.)
3. Shchukin V. M., Kuz'mina N. E., Shvetsova Yu. N., Luttseva A. I. Sravnitel'nyy analiz soderzhaniya tyazhelykh metallov i mysh'yaka v razlichnykh lekarstvennykh formakh rastitel'nykh preparatov rossiyskogo farmatsevticheskogo rynka [Comparative analysis of the content of heavy metals and arsenic in various dosage forms of herbal preparations on the Russian pharmaceutical market] // Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products. Regulatory Research and Medicine Evaluation. 2020. Vol. 10. No. 1. Pp. 41–50. DOI: 10.30895/1991-2919-2020-10-1-41-50. (In Russian.)
4. Martynov A. M., Chuparina E. V., Dargayeva T. D. Issledovaniye fenol'nykh soyedineniy i elementnogo sostava podzemnykh organov *Euphorbia fischeriana* Steud. [Study of phenolic compounds and elemental composition of underground organs of *Euphorbia fischeriana* Steud.] // Chemistry of plant raw material. 2022. No. 1. Pp. 269–276. DOI: 10.14258/jcprm.2022019135. (In Russian.)
5. Dunilin A. D., Chistyakova A. S. Izucheniye flavonoidov tsvetkov kashtana konskogo obyknovennogo [The study of flavonoids of horse chestnut flowers] // 90 let – ot rasteniya do lekarstvennogo preparata: dostizheniya i perspektivy: sbornik materialov yubileynoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Moscow, 2021. Pp. 196–200. DOI: 10.52101/9785870191003_2021_196. (In Russian.)
6. Siromlya T. I., Ostroukhova E. G. Soderzhaniye i osobennosti raspredeleniya khimicheskikh elementov v rasteniyakh sem. *Asteraceae* yuga Zapadnoy Sibiri [The content and features of the distribution of chemical elements in plants of this family *Asteraceae* of the south of Western Siberia] // Biogeokhimiya khimicheskikh elementov i soyedineniy v prirodnykh sredakh: materialy III Mezhdunarodnoy shkoly-seminara molodykh issledovateley. Tyumen, 2018. Pp. 279–285. (In Russian.)
7. Elagina D. S., Arkhipova N. S., Vorob'yev V. N. Kompleksnoye issledovaniye metalloustoychivosti *Amaranthus retroflexus* L. [A comprehensive study of the metal resistance of *Amaranthus retroflexus* L.] // Journal of proceedings of the Gorsky SAU. 2019. Vol. 56. No. 1. Pp. 154−162. (In Russian.)
8. Pukhal'skiy Ya. V., Loskutov S. I., Nikiticheva G. V. et al. Otsenka gabitusa i translokatsii toksichnogo khroma Cr (III) v biomassu *Tagetes erecta* pri introduktsii v sredu guminovykh ekstraktov sapropelya [Estimation of the habitus and translocation of toxic chromium Cr (III) into the biomass of *Tagetes erecta* during the introduction of sapropel humic extracts into the medium] // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021. No. 4 (90). Pp. 83−88. DOI 10.37670/2073-0853-2021-90-4-83-88. (In Russian.)
9. 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 the Urals. 2021. No. 2 (205). Pp. 79–90. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-79-90. (In Russian.)
10. Simonova O. A., Simonov M. V., Tovstik E. V. Sortovyye osobennosti bioakkumulyatsii zheleza v rasteniyakh yachmenya [Varietal features of iron bioaccumulation in barley plants] // Tauride Bulletin of Agrarian Science. 2020. No. 3 (23). Pp. 142–150. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-142-151. (In Russian.)

11. Fotev Yu. V., Shevchuk O. M., Syso A. I. Izucheniye variabel'nosti elementnogo sostava semyan sortoobraztsov *Vigna unguiculata* (L.) Walp. na yuge Zapadnoy Sibiri i v Krymu [The study of the variability of the elemental composition of seeds of variety samples *Vigna unguiculata* (L.) Walp. in the south of Western Siberia and in the Crimea] // Chemistry of plant raw material. 2021. No. 2. Pp. 217–226. DOI: 10.14258/JCPRM.2021027543. (In Russian.)

12. 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 field and laboratory results] [e-resource]. URL: http://vniioh.ru/nadstrojka-k-excel-dlya-statisticheskoj-ocenki-i-analiza-rezultatov-polevyx-i-laboratornyx-opytov (date of reference: 26.09.2021). (In Russian.)

13. Sedel'nikova L. L., Chankina O. V. Elementnyy sostav vegetativnykh organov sortov 'Regal Air' i 'Speak to Me' *Hemerocallis hybrida* [Elemental composition of vegetative organs of varieties 'Regal Air' and 'Speak to Me' *Hemerocallis hybrida*] // Chemistry of plant raw material. 2020. No. 1. Pp. 245−250. DOI: 10.14258/jcprm.2020014612. (In Russian.)

14. Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii: v 3 tomakh [State Pharmacopoeia of the Russian Federation: in 3 volumes] [e-resource]. URL: http://femb.ru/feml (date of reference: 01.11.2020). (In Russian.)

15. Shiryayeva O. Yu., Shiryayeva M. M. Izmeneniye soderzhaniya essentsial'nykh elementov v rasteniyakh raznykh sortov [Changes in the content of essential elements in plants of different varieties] // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021. No. 4 (90). Pp. 93–99. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-90-4-93-99. (In Russian.)

16. Badmayeva S. E., Muchkina E. Ya., Podluzhnaya A. S., Badmayeva Yu. V. Tyazhelyye metally v pochvennom pokrove i drevesnykh rasteniyakh urbanizirovannoy territorii [Heavy metals in the soil cover and woody plants of an urbanized area]. Krasnoyarsk: Krasnoyarskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2021. 166 p. (In Russian.)

17. PDK tyazhelykh metallov v prodovol'stvennom syr'ye i pishchevykh produktakh. SanPiN 42-123-4089-86 ot 31.03.86 [MPC of heavy metals in food raw materials and food products. San Pin 42-123-4089-86 dated 03/31/86] [e-resource]. URL: https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1 (date of reference: 16.11.2020). (In Russian.)

18. Vremennyy maksimal'no dopustimyy uroven' (MDU) nekotorykh khimicheskikh elementov i gossipola v kormakh dlya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh [Temporary Maximum Permissible Level (MRL) for Certain Chemical Elements and Gossypol in Feed for Farm Animals] [e-resource]. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293725/4293725464.htm (date of reference: 16.11.2020). (In Russian.)

Authors' information:

Antonina A. Reut[1], candidate of biological sciences, leading researcher, head of the laboratory of introduction and selection of flower plants, ORCID 0000-0002-4809-6449, AuthorID 625318; *+7 917 465-18-89*, *cvetok.79@mail.ru*

Svetlana G. Denisova, candidate of biological sciences, senior researcher at the laboratory of introduction and selection of flower plants, ORCID 0000-0002-9005-9377, AuthorID 636056; *+7 905 356-02-88*, *svetik-7808@mail.ru*

Liliya F. Beksheneva, junior researcher at the laboratory of introduction and selection of flower plants, ORCID 0000-0002-2506-4559, AuthorID 1039806; *+7 917 413-21-68*, *linden07@yandex.ru*

Irina N. Allayarova[1], candidate of biological sciences, junior researcher at the laboratory of introduction and selection of flower plants, ORCID 0000-0002-4575-7301, AuthorID 908455; *+7 937 317-86-78*, *AllayarowaIrina@yandex.ru*

[1] South-Ural Botanical Garden-Institute of Ufa Federal Research Centre of Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia