

УДК 543.427.41:581.192

DOI 10.25205/2541-9447-2019-14-4-103-117

Сравнительный анализ элементного состава представителей рода *Dasiphora* из Приморского края и Республики Бурятия

Е. В. Андышева¹, О. В. Чанкина², Е. П. Храмова³, П. В. Крестов⁴
Я. В. Ракшун⁵, Д. С. Сороколетов⁵

¹ Амурский филиал Ботанического сада-института ДВО РАН
Благовещенск, Россия

² Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского СО РАН
Новосибирск, Россия

³ Центральный сибирский ботанический сад СО РАН
Новосибирск, Россия

⁴ Ботанический сад-институт ДВО РАН
Владивосток, Россия

⁵ Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Новосибирск, Россия

Аннотация

Представлены результаты определения элементного состава в надземных органах растений четырех видов рода *Dasiphora* – *D. fruticosa*, *D. parvifolia*, *D. gorovoi*, *D. mandshurica* из Приморского края и Республики Бурятия. Проведен сравнительный анализ с ранее изученными представителями этого рода – *D. davurica* и *D. davurica* var. *flava*. Методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения в надземных органах и почвах из точек отбора установлено содержание 21 элемента. Впервые установлен состав и содержание элементов нового вида *D. gorovoi* из локального местообитания. Наибольшее накопление макроэлементов (К и Са) отмечено в надземных органах *D. davurica* и *D. davurica* var. *flava*, микроэлементов – в надземных органах *D. gorovoi*, *D. mandshurica*, *D. fruticosa*. Показано, что каждому виду свойственны определенные концентрации элементов.

Ключевые слова

элементный состав, синхротронное излучение, *Dasiphora*, Rosaceae, российский Дальний Восток, Восточная Сибирь

Источник финансирования

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Ботанического сада-института ДВО РАН «Оценка современного биологического разнообразия и ресурсного потенциала флоры Восточной Азии» АААА-А17-117021310193-7» и государственного задания Центрального сибирского ботанического сада СО РАН «Оценка морфогенетического потенциала популяций растений Северной Азии экспериментальными методами». При использовании оборудования ЦКП СЦСТИ на базе ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН, поддержанного Минобрнауки России (уникальный идентификатор проекта RFMEFI62117X0012).

Для цитирования

Андышева Е. В., Чанкина О. В., Храмова Е. П., Крестов П. В., Ракшун Я. В., Сороколетов Д. С. Сравнительный анализ элементного состава представителей рода *Dasiphora* из Приморского края и Республики Бурятия // Сибирский физический журнал. 2019. Т. 14, № 4. С. 103–117. DOI 10.25205/2541-9447-2019-14-4-103-117

Comparative Study of Element Composition of Species of the Genus *Dasiphora* (Rosaceae) in the Primorsky Region and Republic of Buryatia

E. V. Andysheva¹, O. V. Chankina², E. P. Khramova³, P. V. Krestov⁴
Ya. V. Rakshun⁵, D. S. Sorokoletov⁵

¹ Amur branch of Botanical Garden – Institute FEB RAS
Blagoveschensk, Russian Federation

² Institute of Chemical Kinetics & Combustion SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation

³ Central Siberian Botanical Garden SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation

⁴ Botanical Garden-Institute FEB RAS
Vladivostok, Russian Federation

⁵ Budker Institute of Nuclear Physics SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation

Abstract

Element composition was determined in the aboveground organs (leaves and stems) of plants of four species of the genus *Dasiphora*: *D. fruticosa*, *D. parvifolia*, *D. mandshurica*, *D. gorovoi* grown in the Primorsky Territory and Republic of Buryatia. The results were compared with two taxa (*D. davurica* and the variety *D. davurica* var. *flava*) which had been studied earlier. Content of 21 elements in the aboveground organs and samples of soil from sites of the plant collection was analysed by the method of X-ray fluorescence analysis using synchrotron radiation (SRXRF). For the first time, composition and content of the elements were determined for a new taxon *D. gorovoi*. The highest total content of the macroelements (K, Ca) was found in the aboveground organs of the two taxa: *D. davurica* and *D. davurica* var. *flava*; the highest content of the microelements was determined in the aboveground organs of *D. gorovoi*, *D. mandshurica*, and *D. fruticosa*. We found that each species had a characteristic concentration of elements.

Keywords

element composition, X-ray analysis using synchrotron radiation, *Dasiphora*, Rosaceae, Russian Far East, Eastern Siberia

Funding

The part of the work was done using the infrastructure of the Shared research facility “Siberian Synchrotron and Terahertz Radiation Center (SSTRC)” based on complex “VEPP-3” of BINP SB RAS, with the support of the Ministry of Education and Science of Russia (unique identifier of the project RFMEFI62117X0012), as well as part of the state assignment of the Botanical Garden-Institute FEB RAS “Assessment of modern biological diversity and resource potential of the flora of East Asia” № AAAA-A17-117021310193-7, and as part of the state assignment of the CSBG SB RAS “Estimation of the morphogenetic potential of plant populations of North Asia using experimental methods”

For citation

Andysheva E. V., Chankina O. V., Khramova E. P., Krestov P. V., Rakshun Ya. V., Sorokoletov D. S. Comparative Study of Element Composition of Species of the Genus *Dasiphora* (Rosaceae) in the Primorsky Region and Republic of Buryatia. *Siberian Journal of Physics*, 2019, vol. 14, no. 4, p. 103–117. (in Russ.) DOI 10.25205/2541-9447-2019-14-4-103-117

Род *Dasiphora* Raf. (= *Pentaphylloides* Hill.) из семейства Rosaceae в азиатской части России представлен пятью видами: *D. fruticosa* (L.) Rydb., *D. parvifolia* (Fisch. ex Lehm.) Juz., *D. mandshurica* (Maxim.) Juz., *D. gorovoi* Pshennikova, *D. davurica* (Nestler) Kom. и разновидностью – *D. davurica* var. *flava* (Vorosch.) Gorovoj, Pshenn. et S. Volkova, которая была описана в 2014 г. Л. М. Пшенниковой, и, по мнению автора, заслуживает видового ранга. Таксон *D. gorovoi* также является сравнительно новым видом, который возник в результате естественной гибридизации между *D. mandshurica* и *D. davurica* [1–3].

В литературе наиболее широко представлены исследования состава и содержания химических элементов одного вида – *D. fruticosa*, произрастающего в естественных местообитаниях и условиях интродукции [4–10]. Имеются сведения о составе и содержании химических

элементов для четырех видов рода *Dasiphora* из Западной Сибири, два из которых взяты из природных ценологических популяций – *D. fruticosa*, *D. parvifolia*, а два других вида выращены в условиях интродукции в ЦСБС СО РАН – *D. davurica*, *D. mandshurica* [6], а также исследования по элементному составу пяти таксонов рода *Dasiphora*: *D. fruticosa* – из Амурской и Магаданской областей и Забайкалья, *D. mandshurica*, *D. davurica*, *D. x davurica* sp. – из Приморского края, *D. gorovoi* – из интродукционной популяции БСИ ДВО РАН [11].

В связи с фрагментарным изучением состава и содержания элементов у представителей рода *Dasiphora*, произрастающих в азиатской части России, исследование растений из новых местообитаний позволит уточнить и выявить новые закономерности накопления элементов разными видами растений и расширить базу данных по химическому составу растений.

Цель работы заключалась в определении состава и содержания элементов в надземных органах четырех представителей видов рода *Dasiphora* из природных популяций Приморского края и Республики Бурятия для выявления их связи с таксономическим положением видов рода *Dasiphora* и расширения базы данных.

Материалы и методы

Материалом исследования служили образцы четырех видов – *D. fruticosa*, *D. mandshurica*, *D. gorovoi* и *D. parvifolia*, собранные в 2014 г. в природных популяциях Приморского края и Республики Бурятия. Образцы *D. fruticosa* собраны в природной популяции с горы Ольховая, *D. mandshurica* – в популяции Дальнегорского района вблизи поселка Рудная Пристань, *D. gorovoi* – из локального местообитания в Ольгинском районе Приморского края, *D. parvifolia* – из природного местообитания близ поселка Калинишна в Республике Бурятия. Дополнительно для анализа взяты образцы двух таксонов – *D. davurica* и *D. davurica* var. *flava* (= *Pentaphylloides x davurica* sp.), из природных популяций, произрастающих на горе Брат Партизанского района и в мраморном карьере в Ольгинском районе Приморского края, которые были изучены нами ранее [11] (рис. 1). Для анализа брали репрезентативные пробы листьев и стеблей с 20–30 особей и почвы из каждого местообитания.

Для определения элементного состава в растительном материале используются разные методы: наиболее часто – атомно-абсорбционный анализ (ААА), масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП) и атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП), реже – нейтронно-активационный анализ (НАА), рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) и конфокальная рентгеновская микроскопия (КРН). При этом методу РФА свойственен ряд преимуществ: неdestructивность, панорамность, возможность использования малых навесок, относительно несложная пробоподготовка [12; 13]. При исследовании достаточно редких и новых видов растений, по которым у исследователя имеется ограниченное количество материала, особенно важна неdestructивность, возможность использования малых навесок и повторного определения образца, в том числе для анализа другими методами. Кроме того, растительный материал является наиболее сложным объектом в плане селективности, содержание элементов варьирует в широком диапазоне (различие достигает нескольких порядков), а все эти методы подразумевают химическое или термическое воздействие на пробу, что не исключает потерю элементов при вскрытии или загрязнение материала реактивами. Метод РФА предполагает только механическое воздействие на образец (растирание и прессование), полученные при этом данные имеют минимальные погрешности [14]. Таким образом, для решения наших задач по определению элементов в образцах достаточно редких растений из локальных местообитаний наиболее приемлем метод рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА СИ). Измерения образцов проводились на оборудовании ЦКП СЦСТИ на базе ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН (Новосибирск) при энергии возбуждающего излучения 23 кэВ. Концентрацию элементов определяли методом «внешнего стандарта». В качестве образцов сравнения исполь-

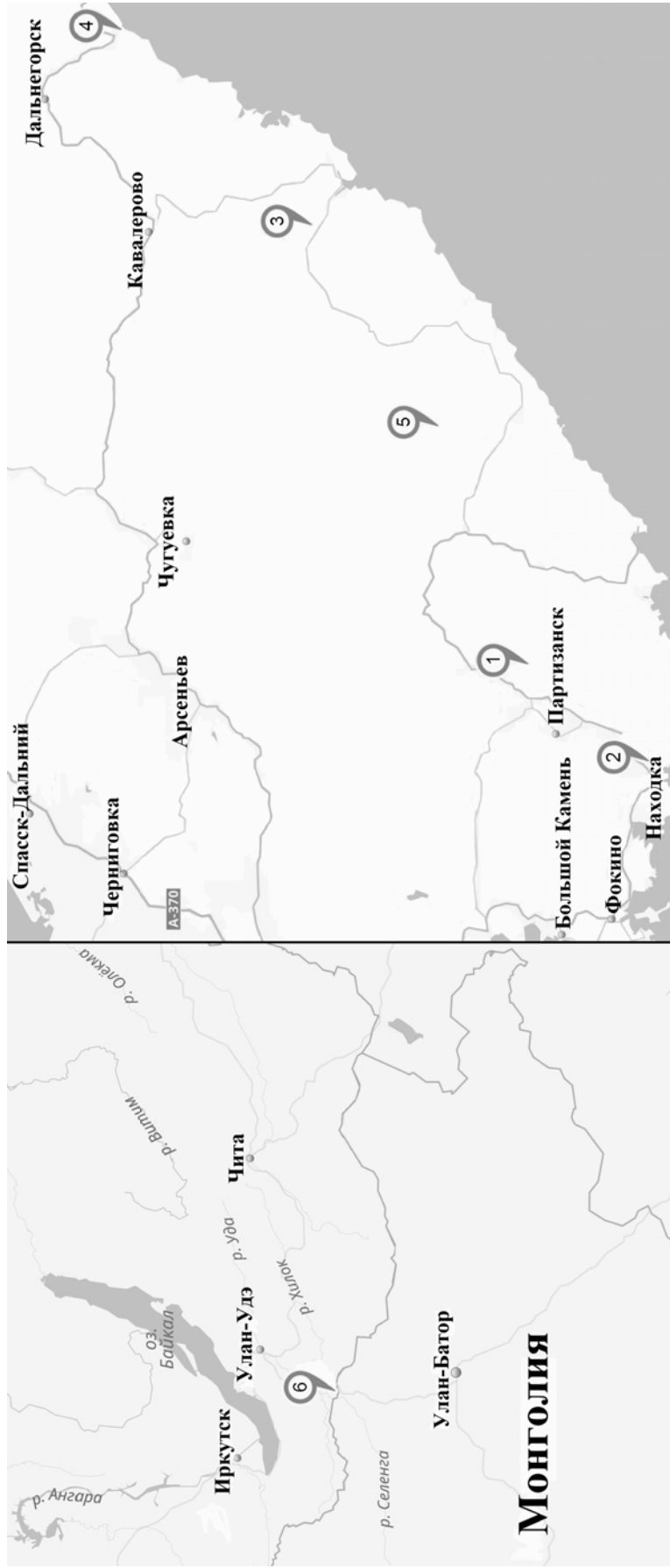


Рис. 1. Схема сбора образцов растений рода *Dasiphora* в природных популяциях из разных местообитаний: 1 – *D. fruticosa*; 2 – *D. davurica*; 3 – *D. davurica* var. *flava*; 4 – *D. mandshurica*; 5 – *D. goroovii*; 6 – *D. parvifolia*

Fig. 1. The scheme of specimen collections of the genus *Dasiphora* in the nature populations of different habitats: 1 – *D. fruticosa*; 2 – *D. davurica*; 3 – *D. davurica* var. *flava*; 4 – *D. mandshurica*; 5 – *D. goroovii*; 6 – *D. parvifolia*

зовали российские стандарты травно-злаковой смеси ГСО СОРМ1 и байкальского ила БИЛ-1 [15]. Точность результатов анализа, полученная путем 10 параллельных измерений 5 одинаковых образцов, для большинства элементов составляла от 3 до 24 %, для Ni, Nb, Zr и Sr – 42–66 %. Возможности метода РФА СИ, конструкция станции и измерительного комплекса описаны в работах [16; 17]¹.

Результаты и обсуждение

В результате исследования в надземных органах растений четырех видов рода *Dasiphora* и почвах из точек отбора их образцов установлено содержание не менее 21 элемента (табл. 1, 2).

Для оценки изменчивости накопления элементов в почвах из точек отбора рассчитан геохимический диапазон (ГД) элементов, предложенный Н. С. Касимовым и Д. В. Власовым (2015), равный отношению максимального и минимального значения содержания элемента. В соответствии с методическими указаниями авторов [18] изменчивость содержания элементов в почвах разделяется на три группы – элементы с минимальным уровнем ГД ($\leq 2,5$), со средним уровнем (2,5–5,0) и с высоким уровнем ГД ($> 5,0$).

Сравнительный анализ образцов почвы из разных мест обитания показал, что содержание большинства элементов – Ca, V, Ni, Mn, Fe, Br, Zr, Co, Rb, Mo, Nb, Y, Sr и Zn – изменяется в широком диапазоне (ГД $> 5,0$). Средний диапазон изменчивости (2,5–5,0) характерен для элементов Ti, V, As, Cu, и только для K отмечена наименьшая изменчивость (ГД $\leq 2,5$), что свидетельствует о сходстве содержания данного элемента в почвах из всех точек отбора (рис. 2). Установлено, что образцы почв из местообитаний *D. davurica* и *D. davurica* var. *flava* выделяются по высокому содержанию Ca (534 086–783 047 ppm). Почвы из местообитаний *D. fruticosa* отличаются повышенным содержанием Ti, Fe, Cr, Ni, Co, *D. gorovoi* – Mn, Pb, Zn, Rb, Br, Nb, *D. parvifolia* – Zr, *D. mandshurica* – Mo (см. табл. 1).

Анализ данных показал, что наибольшее суммарное содержание макроэлементов (K, Ca) свойственно листьям и стеблям *D. davurica* и ее разновидности *D. davurica* var. *flava* (23 167–31 349 ppm) в основном за счет повышенного содержания Ca (15 095–23 878 ppm), что согласуется с его сравнительно высоким содержанием в почвах из точек отбора образцов (534 086–783 047 ppm) [11]. При этом накопление K остается практически на одном уровне (см. табл. 1, рис. 3). Наименьшее суммарное содержание макроэлементов установлено в листьях *D. mandshurica* из окрестностей поселка Рудная Пристань (13 576 ppm), что также согласуется с минимальным содержанием K и Ca в почвах (19 126 ppm) отбора образцов данного вида, а также в стеблях *D. fruticosa* с горы Ольховая Приморского края (15 195 ppm). В листьях и стеблях растений *D. gorovoi* (23 701–16 999 ppm), *D. parvifolia* (18 267–20 268 ppm) и листьях *D. fruticosa* (21 159 ppm) сумма макроэлементов варьирует на среднем уровне. Следует отметить, что в листьях и стеблях *D. gorovoi* на фоне значительного содержания Ca (14 884 и 14 323 ppm соответственно), концентрация данного элемента в почвах (4 398 ppm) является минимальной по сравнению с точками отбора из остальных местообитаний растений (см. табл. 1, рис. 3).

Наибольшее суммарное содержание микроэлементов установлено в стеблях по сравнению с листьями (рис. 4). Выявлены различия в суммарном накоплении микроэлементов в растениях разных видов. Максимум отмечен в стеблях растений *D. mandshurica* (2 435 ppm), *D. gorovoi* (2 009 ppm) и *D. fruticosa* (1 937 ppm), что в 2,3–3 раза выше по сравнению с их содержанием в стеблях *D. parvifolia* (830 ppm) и на порядок выше, чем в стеблях *D. davurica* var. *flava* (233 ppm) (см. рис. 4). Максимум суммы микроэлементов в листьях установлен для образцов *D. gorovoi* из локального местообитания (1 222 ppm), что в 1,8–2,5 раза выше, чем в листьях образцов *D. fruticosa* (465 ppm), *D. mandshurica* (507 ppm) и *D. parvifolia* (645 ppm), и в 3–6 раз больше, чем в листьях *D. davurica* (398 ppm) и *D. davurica* var. *flava* (215 ppm).

¹ См. также: <http://ssrc.inp.nsk.su/CKP/stations/passport/3/>.

Таблица 1

Содержание химических элементов в почвах из разных точек отбора образцов (С, ppm)

Table 1

Content of the chemical elements in the soil from different the sampling sites (С, ppm)

Элемент	<i>D. fruticosa</i>	<i>D. parvifolia</i>	<i>D. mandshurica</i>	<i>D. gorovoi</i>	<i>D. davurica</i> *	<i>D. davurica</i> var. <i>flava</i>
K	8522 ± 767 ¹	16687 ± 1502	13031 ± 1173	18585 ± 1673	13746 ± 1237	11110 ± 1000
Ca	24983 ± 2748	22946 ± 2524	6095 ± 670	4398 ± 484	534086 ± 58749	783047 ± 86135
Ti	2683 ± 429	2387 ± 382	2457 ± 393	1830 ± 293	877 ± 140	502 ± 80
Fe	81584 ± 4079	16760 ± 838	25033 ± 1252	17334 ± 867	7665 ± 383	4334 ± 217
V	69 ± 12	59 ± 11	69 ± 12	70 ± 13	21 ± 4	13 ± 2
Cr	559 ± 369	20 ± 13	42 ± 28	36 ± 24	7 ± 5	6 ± 4
Mn	1758 ± 141	326 ± 26	392 ± 31	3006 ± 241	243 ± 19	109 ± 9
Co	37 ± 12	8 ± 3	11 ± 3	8 ± 3	4,2 ± 1,3	2,8 ± 0,8
Ni	600 ± 360	13 ± 8	17 ± 10	7 ± 4	14 ± 8	12 ± 7
Cu	16 ± 1	16 ± 1	21 ± 2	15 ± 1	13 ± 1	6,0 ± 0,5
Zn	106 ± 8	46 ± 4	130 ± 10	191 ± 15	70 ± 6	22 ± 2
As	6,6 ± 1,4	1,8 ± 0,4	4,3 ± 0,9	4 ± 1	6,9 ± 1,4	н. о.
Se	–	–	–	–	0,03 ± 0,01	н. о.
Br	21 ± 2	1,1 ± 0,1	13 ± 1	50 ± 5	5,0 ± 0,5	1,4 ± 0,1
Rb	62 ± 4	84 ± 5	75 ± 5	118 ± 7	19 ± 1	9,1 ± 0,5
Sr	62 ± 5	483 ± 39	84 ± 7	105 ± 8	179 ± 14	560 ± 45
Y	11 ± 1	21 ± 2	110 ± 8	109 ± 8	11,3 ± 0,8	12,7 ± 0,9
Zr	96 ± 9	479 ± 43	127 ± 11	252 ± 23	46 ± 4	28 ± 3
Nb	9 ± 4	11 ± 5	16 ± 7	18 ± 8	3,4 ± 1,5	1,8 ± 0,8
Mo	н. о.	1,2 ± 0,1	18 ± 0,2	0,54 ± 0,06	0,16 ± 0,02	н. о.
Pb	41 ± 13	39 ± 12	111 ± 34	221 ± 69	17 ± 5	17,6 ± 5,4

Примечание: * – по Храмовой и др., 2015 г.; ¹ – среднее значение ± стандартное отклонение; прочерк означает, что элемент не определяли; н. о. – концентрация элемента ниже предела обнаружения (0,01 ppm).

Таблица 2

Содержание элементов в надземных органах видов рода *Dasiphora* из природных местообитаний (С, ppm)

Table 2

Content of the elements in the aboveground organs of species of the genus *Dasiphora* from natural habitats (С, ppm)

Элемент	Орган растения	<i>D. fruticosa</i>	<i>D. parvifolia</i>	<i>D. mandshurica</i>	<i>D. gorovoi</i>	<i>D. davurica</i> *	<i>D. davurica</i> var. <i>flava</i> *
К	листья	9903 ± 891	7815 ± 703	6393 ± 575	8817 ± 794	7471 ± 672	9537 ± 858
	стебли	3936 ± 354	9344 ± 841	5380 ± 484	2676 ± 241	8072 ± 727	9462 ± 852
Са	листья	11257 ± 1238	10453 ± 1150	7183 ± 790	14884 ± 1637	23878 ± 2627	17949 ± 1974
	стебли	11259 ± 1239	10924 ± 1202	12727 ± 1400	14323 ± 1575	15095 ± 1660	16039 ± 1764
Ti	листья	18 ± 3	41 ± 7	8 ± 1	15 ± 2	19 ± 3	–
	стебли	129 ± 21	76 ± 12	125 ± 20	123 ± 20	73 ± 12	2,6 ± 0,4
Fe	листья	162 ± 8	294 ± 15	100 ± 5	165 ± 8	256 ± 13	48 ± 2
	стебли	1325 ± 66	391 ± 20	1409 ± 70	676 ± 34	643 ± 32	65 ± 3
V	листья	0,5 ± 0,1	0,41 ± 0,07	0,36 ± 0,07	0,50 ± 0,09	0,6 ± 0,1	0,22 ± 0,04
	стебли	2,1 ± 0,4	0,96 ± 0,17	1,6 ± 0,3	2,0 ± 0,4	1,3 ± 0,2	0,32 ± 0,06
Cr	листья	22 ± 14	–	2,2 ± 1,4	20 ± 13	–	0,6 ± 0,4
	стебли	30 ± 20	99 ± 66	16 ± 11	241 ± 159	2,9 ± 1,9	0,7 ± 0,5
Mn	листья	142 ± 11	100 ± 8	255 ± 20	623 ± 50	52 ± 4	67 ± 5
	стебли	196 ± 16	74 ± 6	411 ± 33	385 ± 31	62 ± 5	65 ± 5
Co	листья	0,12 ± 0,04	0,08 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,08 ± 0,03	0,09 ± 0,03	0,05 ± 0,01
	стебли	0,6 ± 0,2	0,11 ± 0,03	0,5 ± 0,2	0,15 ± 0,05	0,14 ± 0,04	0,06 ± 0,02
Ni	листья	25 ± 15	1,3 ± 0,8	0,18 ± 0,11	1,7 ± 1,0	0,8 ± 0,5	0,7 ± 0,4
	стебли	46 ± 28	2,02 ± 1,21	4,7 ± 2,8	3,3 ± 2,0	1,3 ± 0,8	0,7 ± 0,4
Cu	листья	5,3 ± 0,5	3,8 ± 0,3	4,4 ± 0,4	4,5 ± 0,4	3,6 ± 0,3	6,4 ± 0,6
	стебли	7,5 ± 0,7	4,6 ± 0,4	11 ± 1	6,2 ± 0,6	6,3 ± 0,6	8,2 ± 0,7
Zn	листья	43 ± 3	14 ± 1	32 ± 3	226 ± 18	19 ± 2	38 ± 3
	стебли	82 ± 7	26 ± 2	141 ± 11	257 ± 21	37 ± 3	36 ± 3
As	листья	0,03 ± 0,01	–	0,09 ± 0,02	–	0,15 ± 0,03	н. о.
	стебли	0,05 ± 0,01	–	0,36 ± 0,07	–	0,14 ± 0,03	0,03 ± 0,01
Se	листья	н. о.	–	–	–	0,06 ± 0,02	–
	стебли	0,07 ± 0,02	–	н. о.	–	0,08 ± 0,02	н. о.
Br	листья	3,3 ± 0,3	0,49 ± 0,05	17,9 ± 1,8	6,6 ± 0,7	1,9 ± 0,2	1,0 ± 0,1
	стебли	2,9 ± 0,3	1,0 ± 0,1	17,0 ± 1,7	2,9 ± 0,3	1,5 ± 0,2	0,72 ± 0,07

Элемент	Орган растения	<i>D. fruticosa</i>	<i>D. parvifolia</i>	<i>D. mandshurica</i>	<i>D. gorovoi</i>	<i>D. davurica</i> *	<i>D. davurica</i> var. <i>flava</i> *
Rb	листья	7,9 ± 0,5	4,0 ± 0,2	2,1 ± 0,1	22,1 ± 1,3	3,8 ± 0,2	7,5 ± 0,5
	стебли	5,7 ± 0,3	5,6 ± 0,3	4,0 ± 0,2	10,3 ± 0,6	5,9 ± 0,4	7,5 ± 0,5
Sr	листья	31 ± 2	94 ± 8	72 ± 6	48 ± 4	28 ± 2	42 ± 3
	стебли	61 ± 5	132 ± 11	153 ± 12	73 ± 6	39 ± 3	43 ± 3
Y	листья	0,08 ± 0,01	3,7 ± 0,3	9,8 ± 0,7	80 ± 6	1,17 ± 0,08	0,30 ± 0,02
	стебли	2,7 ± 0,2	1,4 ± 0,1	10,8 ± 0,8	155 ± 11	3,9 ± 0,3	0,09 ± 0,01
Zr	листья	1,2 ± 0,1	83 ± 7	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,7 ± 0,1	0,40 ± 0,04
	стебли	20 ± 2	9,7 ± 8,7	58 ± 5	18,2 ± 1,6	10,6 ± 0,9	0,41 ± 0,04
Nb	листья	3,5 ± 1,5	1,6 ± 0,7	—	0,5 ± 0,2	1,5 ± 0,6	0,9 ± 0,4
	стебли	10,4 ± 4,4	2,08 ± 0,90	10,3 ± 4,4	1,96 ± 0,84	5,0 ± 2,2	1,21 ± 0,52
Mo	листья	н. о.	0,20 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,14 ± 0,02	0,27 ± 0,03	0,70 ± 0,08
	стебли	0,17 ± 0,02	0,15 ± 0,02	0,040 ± 0,004	0,09 ± 0,01	0,20 ± 0,02	0,19 ± 0,02
Pb	листья	0,6 ± 0,2	2,4 ± 0,7	0,8 ± 0,2	5,9 ± 1,9	8,2 ± 2,5	0,5 ± 0,2
	стебли	15,2 ± 4,7	3,7 ± 1,1	61 ± 19	54 ± 17	2,6 ± 0,8	1,1 ± 0,3

Примечание: * – по Храмовой и др., 2015 г.; ¹ – среднее значение ± стандартное отклонение; прочерк означает, что элемент не определяли; н. о. – концентрация элемента ниже предела обнаружения (0,01 ppm).

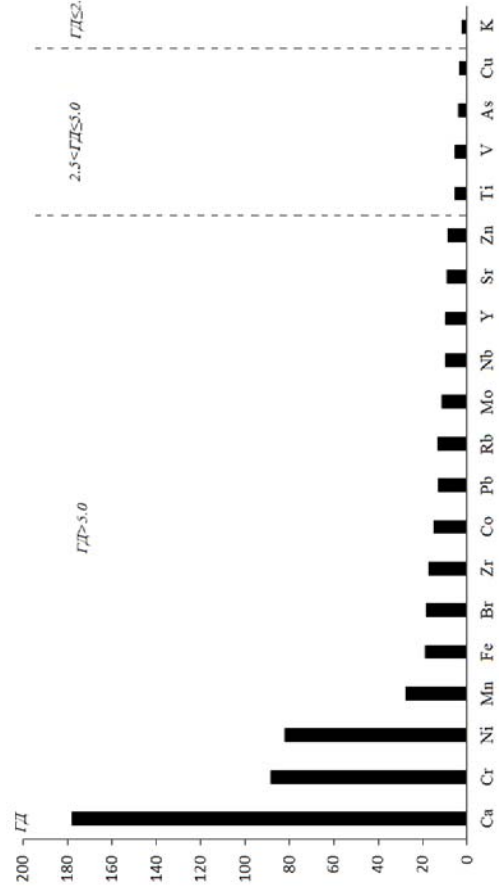


Рис. 2. Геохимический диапазон (ГД) содержания химических элементов в образцах почвы из разных точек отбора
 Fig. 2. The geochemical range (GR) content of the chemical elements in the soil from different the sampling sites

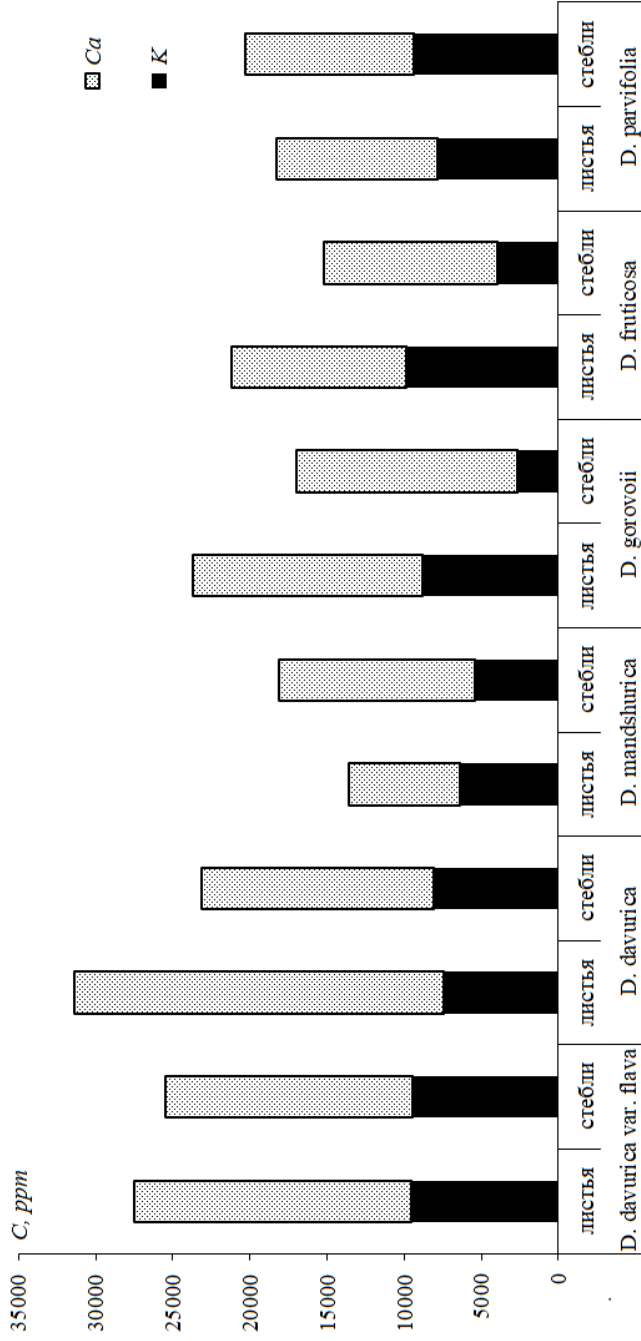


Рис. 3. Содержание макроэлементов (Ca и K) в надземных органах растений рода *Dasiphora*.

По оси ординат – содержание элементов, ppm; по оси абсцисс – виды

Fig. 3. Content of macroelements (Ca and K) in the aboveground organs of plants of the genus *Dasiphora*.

Y-axis – content of elements, ppm; X-axis – species plants

Отмечено, что каждому виду свойственны определенные концентрации элементов (см. табл. 2). По наибольшему содержанию Ti, Ni, Nb, V в стеблях выделяются растения *D. fruticosa* (129, 46, 10 и 2 ppm соответственно). В листьях *D. parvifolia* отмечено повышенное содержание Ti (41 ppm) и Zr (83 ppm), а в стеблях Cr (99 ppm) и Sr (132 ppm). В надземных органах *D. mandshurica* выявлен высокий уровень накопления Br (18 и 17 ppm), кроме того, в стеблях – Mn, Sr, Pb, Zr, Cu и As (411, 153, 61, 58, 11 и 0,4 ppm соответственно). В стеблях растений *D. mandshurica* и *D. fruticosa* установлены максимальные концентрации Fe (1 409 и 1 325 ppm) при минимуме в стеблях *D. davurica* var. *flava* (65 ppm), что согласуется с их содержанием в почвах из точек отбора образцов.

В надземных органах растений *D. gorovoi* установлено высокое содержание Zn (257 и 226 ppm), что в 3–5 раз выше средних концентраций этого элемента в растениях в целом [19]. Возможно, превышение связано с повышенным содержанием этого элемента в почве из точки отбора (191 ppm), или растение является концентратором данного элемента. Также в стеблях *D. gorovoi* обнаружено преимущественное накопление Mn (623 ppm), Cr (241 ppm), Pb (54 ppm), а в листьях – Rb (22 ppm). В следовых количествах обнаружен Se в листьях и стеблях *D. davurica* и стеблях *D. fruticosa* (0,1 ppm), в растениях других видов он не выявлен (см. табл. 2). Повышенное содержание Ti, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Y, Zr в надземных органах растений соотносится с их содержанием в почвах точек отбора образцов (см. табл. 1, 2).

Установлено, что концентрации потенциально токсичных элементов (Ni, Pb) в отдельных случаях превышали оптимальные значения [19] в зависимости от вида и органа растения. Так, в растениях *D. fruticosa* содержание Ni в листьях достигало 25 ppm, в стеблях – 46 ppm. В стеблях *D. fruticosa*, *D. gorovoi* и *D. mandshurica* установлены максимальные концентрации Pb (15, 54 и 61 ppm соответственно), что 1,5–9 раз превышало допустимые значения и достигало избыточного и токсичного уровня, что может быть связано с повышенным содержанием этих элементов в почвах из точек отбора (см. табл. 1).

Проанализированы соотношения между некоторыми элементами. Особенно значительные изменения претерпевает соотношение между Fe и Mn, которые взаимосвязаны в метаболических процессах, происходящих в растениях, а соотношение между ними имеет важное физиологическое значение [19; 20]. Для нормального развития растения его значение колеблется в пределах 1,5–2,5 [19]. Отмечено, что только в стеблях растений *D. gorovoi* отношение Fe/Mn является оптимальным и составляет 1,8. В стеблях растений *D. davurica* величина отношения возрастает до 10, что может свидетельствовать о снижении поступления Mn в органы растения и увеличения концентраций Fe соответственно (табл. 3). Данный сдвиг в соотношении Fe/Mn в пользу Fe, может быть связан как с повышенным содержанием Fe в почве, так и с более щелочной реакцией среды в точках отбора за счет повышенного содержания Ca в почве (см. табл. 1). Напротив, в листьях растений *D. gorovoi* и *D. mandshurica* величина соотношения Fe/Mn равняется 0,3 и 0,4.

Часто наблюдается антагонистическое взаимодействие Cu/Pb в растениях. Механизм поглощения этих металлов, вероятно, один и тот же, и каждый из них может вследствие взаимной конкуренции ингибировать поглощение другой корневой системой [19]. В листьях растений большинства видов в соотношении Cu/Pb четко прослеживается сдвиг в сторону Cu, однако в листьях *D. gorovoi* и *D. davurica* отмечается сдвиг в сторону Pb. В стеблях прослеживается другая тенденция: так, в образцах растений *D. parvifolia*, *D. mandshurica* и *D. gorovoi* заметен сдвиг в сторону антагонистического воздействия Pb на накопление Cu, а в стеблях растений *D. fruticosa*, *D. davurica* и *D. davurica* var. *flava*, напротив, в сторону наибольшего накопления Cu по отношению к Pb (см. табл. 3), что свидетельствует о взаимном ингибировании этих двух элементов, а различия в сдвигах в ту или иную сторону у разных видов может быть учтено при оценке ресурсного потенциала и безопасности растительного сырья.

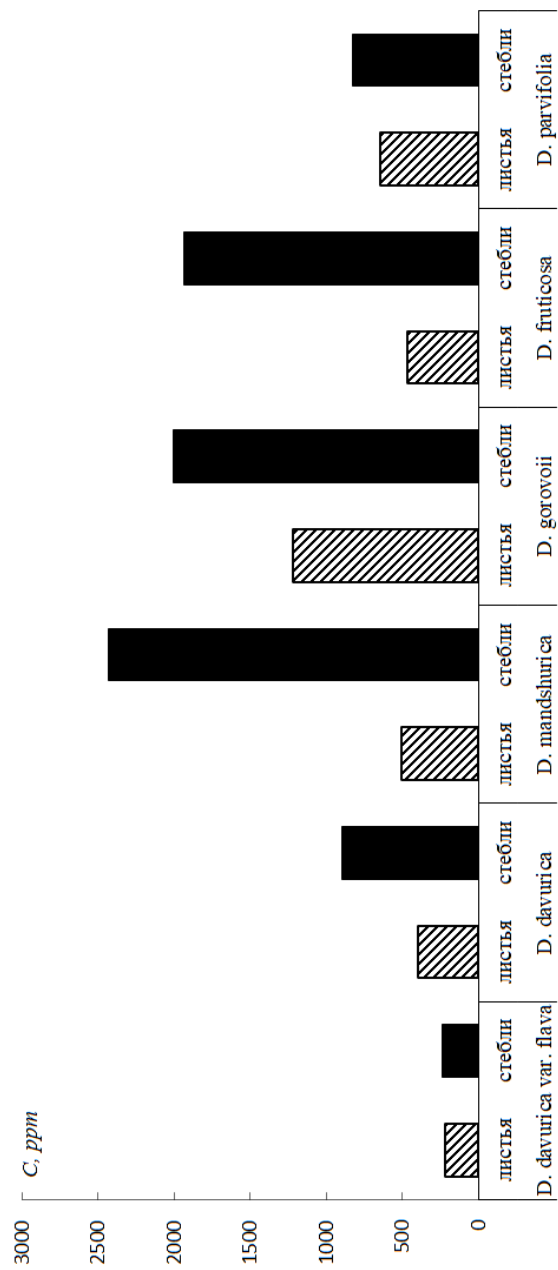


Рис. 4. Суммарное содержание микроэлементов в надземных органах растений рода *Dasiphora*. По оси ординат – содержание элементов, ppm; по оси абсцисс – виды

Fig. 4. Total contents of microelements in the aboveground organs of plants of the genus *Dasiphora*. Y-axis – content of elements, ppm; X-axis – species plants

Таблица 3

Соотношение между отдельными элементами в надземных органах видов рода *Dasiphora*

Table 3

Correlation between individual elements in the aboveground organs of plants of the genus *Dasiphora*

Соотношение элементов	Organ растения	<i>D. fruticosa</i>	<i>D. parvifolia</i>	<i>D. mandshurica</i>	<i>D. gorovoi</i>	<i>D. davurica</i> *	<i>D. davurica</i> var. <i>flava</i>
Fe/Mn	листья	1,1	2,9	0,4	0,3	4,9	0,7
	стебли	6,8	5,3	3,4	1,8	10,4	1,0
Cu/Pb	листья	8,4	1,6	5,7	0,8	0,4	12,7
	стебли	0,5	1,3	0,2	0,1	2,4	7,6

Примечание: * – по Храмовой и др., 2015 г.

Выводы

В надземных органах растений четырех видов рода *Dasiphora*, произрастающих в природных популяциях из Приморского края и Республики Бурятия, установлено содержание 21 элемента методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения.

Впервые определен элементный состав нового вида *D. gorovoi* из локального местобитания (Приморский край, Ольгинский район).

В надземных органах двух таксонов – *D. davurica* и *D. davurica* var. *flava* установлено наибольшее суммарное содержание макроэлементов (K, Ca), наименьшее – в листьях *D. mandshurica* и стеблях *D. fruticosa*, что подтверждает наши результаты по элементному составу растений этих видов из других местобитаний. Максимум микроэлементов обнаружен в надземных органах *D. gorovoi* и в стеблях *D. mandshurica* и *D. fruticosa*, минимум – в листьях и стеблях *D. davurica* var. *flava* и в листьях *D. davurica*. Каждому исследованному представителю рода свойственны определенные концентрации элементов. По максимальному содержанию Ti, V, Co, Ni и Nb в стеблях выделен вид *D. fruticosa*, Zr – в листьях *D. parvifolia*, Fe, Mn, Cu, As, Sr и Pb – в стеблях *D. mandshurica*, Mn, Cr, Rb, Y – в стеблях и Zn – в листьях и стеблях *D. gorovoi*. Для видов *D. fruticosa*, *D. mandshurica* и *D. gorovoi* отмечено превышение уровня потенциально токсичных химических элементов Ni и Pb в 1,5–9 раз.

Полученные данные могут быть использованы в базах данных по химическому составу растений.

Список литературы

1. **Пшенникова Л. М.** Новый вид рода *Dasiphora* (Rosaceae) с Дальнего Востока России // Ботанический журнал. 2006. Т. 91, № 6. С. 951–954.
2. **Пшенникова Л. М., Миронова Л. Н.** Новое местонахождение *Dasiphora davurica* var. *flava* (Rosaceae) на юге российского Дальнего Востока // Ботанический журнал. 2014. Т. 99, № 8. С. 939–940.
3. **Овчинникова С. В.** Конспект флоры Азиатской России: Сосудистые растения / Под ред. К. С. Байкова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 218 с.
4. **Храмова Е. П., Куценогий К. П., Ковальская Г. А., Чанкина О. В.** Элементный состав *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz произрастающего в Горном Алтае // Растительные ресурсы. 2000. Т. 36, вып. 4. С. 59–67.
5. **Храмова Е. П., Куценогий К. П., Ковальская Г. А., Чанкина О. В.** Элементный состав листьев и цветков *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz различных экотипов, выращиваемых в Новосибирске // Растительные ресурсы. 2002. Т. 38, вып. 2. С. 85–92.
6. **Храмова Е. П., Чанкина О. В., Куценогий К. П.** Использование метода РФА СИ в хемотаксономических исследованиях сибирских видов рода *Pentaphylloides* Hill // Изв. РАН. Серия физическая. 2013. Т. 77, № 2. С. 198–200.
7. **Стальная М. И., Храмова Е. П.** Элементный состав *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz при интродукции в Адыгее // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2002. № 4. С. 64–66.
8. **Andysheva E. V., Chankina O. V., Khramova E. P., Rakshun Ya. V., Sorokoletov D. S.** Element composition of *Pentaphylloides fruticosa* of the Russian Far East and East Siberia. *Physics Procedia*, 2016, vol. 84, p. 263–269.
9. **He J. L., Li X. G.** *Potentilla fruticosa* has a greater capacity to translocate phosphorus from the lower to upper soils than herbaceous grasses in an alpine meadow. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2016, vol. 228, p. 19–29.

10. **Khramova E. P., Chankina O. V., Rakshun Ya. V., Sorokoletov D. S.** Variability of the element composition of *Pentaphylloides fruticosa* vegetable samples during long-term storage. *Physics Procedia*, 2016, vol. 84, p. 256–262.
11. **Храмова Е. П., Чанкина О. В., Андышева Е. В., Ракшун Я. В., Сороколетов Д. С.** Элементный состав видов рода *Pentaphylloides* (Rosaceae) Дальнего Востока // Изв. РАН. Серия физическая, 2015. Т. 79, № 1. С. 77–83.
12. **Trunova V. A., Sidorina A. V., Zolotarev K. V.** Using external standard method with absorption correction in SRXRF analysis of biological tissues. *X-ray spectrometry*, 2015, vol. 44, no. 4, p. 226–229.
13. **Piminov P. A., Varanov G. N., Bogomyagkov A. V.** Synchrotron radiation research and application at VEPP-4. *Physics Procedia*, 2016, vol. 84, p. 19–26.
14. **Чупарина Е. В., Мартынов А. М.** Применение неdestructивного РФА для определения элементного состава лекарственных растений // Журнал аналитической химии. 2011. Т. 66, № 4. С. 399–405.
15. **Арнаутов Н. А.** Стандартные образцы химического состава природных минеральных веществ. Методические рекомендации. Новосибирск, 1990. 220 с.
16. **Varyshev V. B., Kulipanov G. N., Skrinsky A. N.** Handbook of Synchrotron Radiation. Eds. G. Brown, D. Moncton. Amsterdam, Elsevier, 1991, vol. 3, 639 p.
17. **Дарьин А. В., Ракшун Я. В.** Методика выполнения измерений при определении элементного состава образцов горных пород методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3 // Научный вестник НГТУ. 2013. № 2 (51). С. 112–118.
18. **Касимов Н. С., Власов Д. В.** Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Моск. ун-та. Серия 5. География. 2015. № 2. С. 7–17.
19. **Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.** Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
20. **Ильин В. Б., Сысо А. И.** Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 231 с.

References

1. **Pshennikova L. M.** A new species of the genus *Dasiphora* (Rosaceae) from the Russian Far East. *Botanicheskii Zhurnal*, 2006, vol. 91, no. 6, p. 951–954. (in Russ.)
2. **Pshennikova L. M., Mironova L. N.** New locality of *Dasiphora davurica* var. *flava* (Rosaceae) in the Southern Russian Far East. *Botanicheskii Zhurnal*, 2014, vol. 99, no. 8, p. 939–940. (in Russ.)
3. **Ovchinnikova S. V.** Check-list of flora of Asian Russia: Vascular plants. Ed. by K. S. Baikov. Novosibirsk, 2012, 218 p. (in Russ.)
4. **Khramova E. P., Koutsenogii K. P., Kovalskaya G. A., Chankina O. V.** Element composition of *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz grown in the Mountain Altai. *Rastitelnye resursy*, 2000, vol. 36, no. 4, p. 59–67. (in Russ.)
5. **Khramova E. P., Koutsenogii K. P., Kovalskaya G. A., Chankina O. V.** Element composition of the leaves and flowers of *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz of various ecotypes grown in Novosibirsk. *Rastitelnye resursy*, 2000, vol. 38, no. 2, p. 85–92. (in Russ.)
6. **Khramova E. P., Chankina O. V., Koutsenogii K. P.** Using synchrotron radiation X-ray fluorescence analysis in a chemotaxonomic study of some Siberian species of the genus *Pentaphylloides* Hill. *Bulletin of the Russian Academy of Science: Physics*, 2013. vol. 77, no. 2, p. 198–200. (in Russ.)
7. **Stalnaya M. I., Khramova E. P.** Elemental composition of *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz under introductions in Adygea. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Estestvennyye nauki*, 2002, no. 4, p. 64–66. (in Russ.)

8. **Andysheva E. V., Chankina O. V., Khramova E. P., Rakshun Ya. V., Sorokoletov D. S.** Element composition of *Pentaphylloides fruticosa* of the Russian Far East and East Siberia. *Physics Procedia*, 2016, vol. 84, p. 263–269.
9. **He J. L., Li X. G.** *Potentilla fruticosa* has a greater capacity to translocate phosphorus from the lower to upper soils than herbaceous grasses in an alpine meadow. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2016, vol. 228, p. 19–29.
10. **Khramova E. P., Chankina O. V., Rakshun Ya. V., Sorokoletov D. S.** Variability of the element composition of *Pentaphylloides fruticosa* vegetable samples during long-term storage. *Physics Procedia*, 2016, vol. 84, p. 256–262.
11. **Khramova E. P., Chankina O. V., Andysheva E. V., Rakshun Ya. V., Sorokoletov D. S.** Element composition of species of the genus *Pentaphylloides* (Rosaceae) in the Russian Far East. *Bulletin of the Russian Academy of Science: Physics*, 2015, vol. 79, no. 1, p. 77–83.
12. **Trunova V. A., Sidorina A. V., Zolotarev K. V.** Using external standard method with absorption correction in SRXRF analysis of biological tissues. *X-ray spectrometry*, 2015, vol. 44, no. 4, p. 226–229.
13. **Piminov P. A., Baranov G. N., Bogomyagkov A. V., Berkaev D. E., Borin V. M., Dorokhov V. L., Karnev S. E., Kiselev V. A., Levichev E. B., Meshkov O. I., Mishnev S. I., Nikitin S. A., Nikolaev I. B., Sinyatkin S. V., Voblyi P. D., Zolotarev K. V., Zhuravlev A. N.** Synchrotron radiation research and application at VEPP-4. *Physics Procedia*, 2016, vol. 84, p. 19–26.
14. **Chuparina E. V., Martynov A. M.** Application of nondestructive X-ray fluorescence analysis to determine the element composition of medical plants. *Journal of Analytical Chemistry*, 2011, vol. 66, no. 4, p. 399–405. (in Russ.)
15. **Arnautov N. A.** Standard samples of chemical composition of nature minerals. Methodological recommendations. Novosibirsk, 1990, 220 p. (in Russ.)
16. **Baryshev V. B., Kulipanov G. N., Skrinsky A. N.** Handbook of Synchrotron Radiation. Eds. G. Brown, D. Moncton. Amsterdam, Elsevier, 1991, vol. 3, 639 p.
17. **Darin A. V., Rakshun Y. V.** Method of measurement during determination of the elemental composition of rock samples by X-ray fluorescence analysis using synchrotron radiation from the VEPP-3 storage ring. *Nauchnyi vestnik NGTU*, 2013, no. 2 (51), p. 112–118. (in Russ.)
18. **Kasimov N. S., Vlasov D. V.** Clarkes of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seria 5: Geografiya*, 2015, no. 2, p. 7–17. (in Russ.)
19. **Kabata-Pendias A., Pendias H.** Trace elements in soils and plants. Moscow, Mir Publ., 1989, 439 p. (in Russ.)
20. **Pyin V. B., Syso A. I.** Микроэлементы Microelement and heavy metals in soils and plants of Novosibirsk region. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2001, 231 p. (in Russ.)

Материал поступил в редколлегию

Received

02.09.2019

Сведения об авторах / Information about the Authors

Андышева Елена Владимировна, младший научный сотрудник, Амурский филиал Ботанического сада-института ДВО РАН (Благовещенск, Россия)

Elena V. Andysheva, junior researcher, Amur branch of Botanical Garden – Institute FEB RAS (Blagoveschensk, Russian Federation)

lenok-luchik@mail.ru

Чанкина Ольга Васильевна, научный сотрудник, Институт химической кинетики и горения СО РАН (Новосибирск, Россия)

Olga V. Chankina, research associate, Institute of Chemical Kinetics & Combustion SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

chankina@ns.kinetics.nsc.ru

Храмова Елена Петровна, ведущий научный сотрудник, доктор биологических наук, Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (Новосибирск, Россия)

Elena P. Khramova, leading researcher, Dr. Sci. PhD, Central Siberian Botanical Garden SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

khramova@ngs.ru

Крестов Павел Витальевич, директор, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, Ботанический сад-институт Дальневосточного отделения Российской академии наук (Владивосток, Россия)

Pavel V. Krestov, director, Dr. Sci. PhD, corresponding member, Botanical Garden-Institute FEB RAS (Vladivostok, Russian Federation)

pavel.krestov@icloud.com

Ракшун Яков Валерьевич, ученый секретарь, кандидат физико-математических наук, Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН (Новосибирск, Россия)

Yakov V. Rakshun, scientific secretary, candidate of physical and mathematical sciences, Budker Institute of Nuclear Physics SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

Ya.V.Rakshun@inp.nsk.su

Сороколетов Дмитрий Сергеевич, младший научный сотрудник, Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН (Новосибирск, Россия)

Dmitrii S. Sorokoletov, junior researcher, Budker Institute of Nuclear Physics SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

nightspirit2010@yandex.ru