

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОРНЯХ *SAPOSHNIKOVIA DIVARICATA* (APIACEAE) В ЗАБАЙКАЛЬСКОМ КРАЕ

© 2022 г. В. П. Макаров^{1, *}, М. А. Солодухина¹, О. Ф. Малых¹, Н. Ю. Михеева¹,
Е. А. Банщикова¹, В. С. Ларин¹, В. В. Бронников¹, Т. В. Желибо¹

¹Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия

*e-mail: vm2853@mail.ru

Поступила в редакцию 12.03.2021 г.

После доработки 18.10.2021 г.

Принята к публикации 15.09.2022 г.

В статье представлены результаты исследования накопления химических элементов в корнях сапожниковии растопыренной (*Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk), произрастающей в северных степных районах Забайкальского края. Вид широко используется в китайской медицине для лечения ревматизма и аллергического ринита, иммунной и нервной систем, респираторных заболеваний. Биологически активные соединения растения проявляют значительную противовоспалительную, анальгезирующую, антиоксидантную, антипролиферативную, противоопухолевую и иммунорегуляторную активность. Содержание химических элементов в корнях *S. divaricata* в порядке убывания составляет следующий ряд: K > Ca > Mg > Fe > P > Na > Ti > Ba > Sr > Zn > Mn > B > Cu > Cr > Rb > Ni > V > Mo > Ce > Zr > La > Pb > Li > As > Co > Cd > Bi > Be > Sb > Se > Hg > Tl. Накопление Ti, Cr, La, Ce, Li, Fe, Ba, As, Sr, Bi, Mo, Zr, Ni, V превышает среднее содержание этих элементов в наземных растениях. Концентрация As в корнях *S. divaricata* превышает предельно допустимое содержание в лекарственном сырье и лекарственных растительных препаратах в 1.8 раза. Концентрация ряда химических элементов в корнях сапожниковии коррелирует с их содержанием в почве.

Ключевые слова: *Saposhnikovia divaricata*, химические элементы, Забайкальский край

DOI: 10.31857/S0033994622040082

На территории Забайкальского края произрастает множество лекарственных растений, которые используются для профилактики и лечения ряда заболеваний. Одним из таких растений является сапожниковия растопыренная (*Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk.) – представитель семейства Зонтичные (Umbelliferae), или Сельдереиные (Apiaceae).

Вид произрастает на территории Монголии, в северной и северо-восточной частях Китая и на Корейском полуострове. Ареал сапожниковии растопыренной в России находится в южной части Восточной Сибири и юго-западной части Дальнего Востока. Он охватывает такие регионы, как Республика Бурятия, Амурская область, Забайкальский, Хабаровский и Приморский края.

Сапожниковия встречается в луговых каменистых степях на склонах и шлейфах сопок, на террасах, в зарослях степных кустарников, на опушках лесостепных лесов, иногда на залежах. По отношению к увлажнению почвы, этот вид относится к ксерофитам. Растение культивируется в Китае в провинциях Аньхой, Шаньси и Ганьсу [1]. В Китае высушенные корни этого растения традици-

онно используют для лечения ревматизма и аллергического ринита, иммунной и нервной системы, респираторных заболеваний. Действующие вещества растения проявляют значительную противовоспалительную, анальгезирующую, антиоксидантную, антипролиферативную, противоопухолевую и иммунорегуляторную активность [2–9].

В Бурятии в корнях сапожниковии выявили наличие хромонов, кумаринов, эфирных масел, флавоноидов, дубильных веществ, жирных кислот, полиацетиленовых соединений, витамина E, полисахаридов. Показано, что сапожниковия растопыренная является ценным источником хромонов – цимифугина, гамаудолы и их гликозидов. Основными действующими веществами считаются хромоны (prim-O-глюкозилцимифугин и 4'-O-β-D-глюкозил-5-O-метилвиссаминол), в связи с этим в фармакопее КНР стандартизацию лекарственного растительного сырья из корней сапожниковии ведут по содержанию именно этих веществ (суммарное количество не менее 0.24% [10, 11]). Установлено, что суммарное содержание хромонов варьирует в зависимости от места сбора и фазы вегетации растений [12].

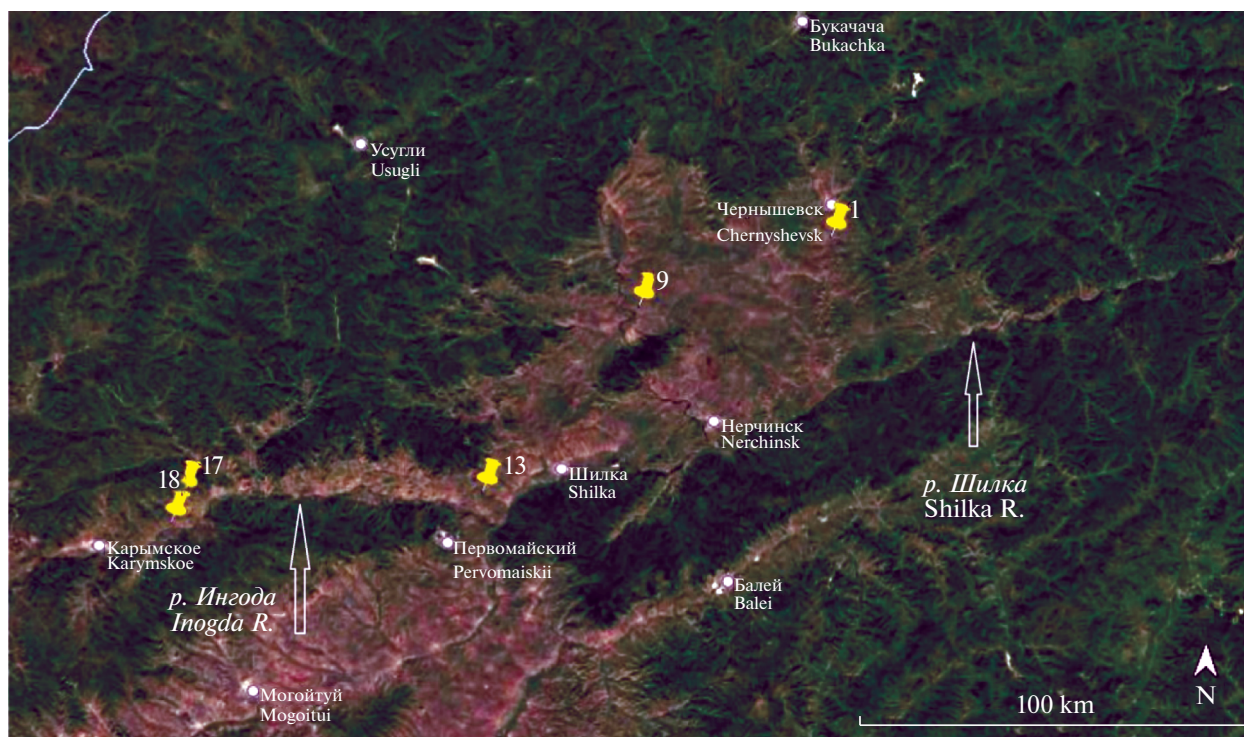


Рис. 1. Расположение пробных площадей в районе исследований.
Fig. 1. Location of the sample plots in the research area.

Важными составляющими химического состава лекарственных растений, кроме биологически активных веществ, являются микроэлементы. Как избыток, так и недостаток жизненно необходимых элементов влияет на состояние организма человека и животных. Современная классификация микроэлементов по их значимости для живых организмов имеет следующий вид: 1) жизненно необходимые – Fe, Mn, I, Cu, Zn, Co, Cr, Mo, Se; 2) условно необходимые – Li, B, Ni, V, Si, F, Br, Ti; 3) токсичные – Be, Al, Cd, Pb, Hg, Ba, Tl, Bi и др. [13].

Установлена тесная взаимосвязь между содержанием в почве отдельных микроэлементов и продуцированием растениями отдельных групп биологически активных веществ. Например, растения, продуцирующие сердечные гликозиды, избирательно поглощают Mn, Mo, Cr, а растения, продуцирующие алкалоиды – Cu, Mn, Co и т.д. [14–17].

В Забайкальском крае в настоящее время ведется незаконная массовая заготовка растения для продажи в Китай [18]. Существует реальная опасность сокращения генетического разнообразия популяций. Одним из способов сохранения вида может быть его культивирование. При этом важно оценить качество заготавливаемого сырья, его элементный состав и концентрацию токсичных элементов в растении в различных условиях местообитания и в культуре.

Цель исследований – выяснить особенности накопления химических элементов в корнях сапожниковии растопыренной (*S. divaricata* (Turcz.) Schischkin) в северных лесостепных районах Забайкальского края.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пробные площади располагались на пологих склонах различной экспозиции, занятых степными разнотравно-злаковыми сообществами и старыми залежами в бассейнах рек Ингода и Шилка (рис. 1).

Почвы территории исследований преимущественно суглинистые со слабокислой реакцией солевой вытяжки. Степень обеспеченности почвы общим азотом и подвижным фосфором низкая. Напротив, обеспеченность почвы подвижным калием высокая и очень высокая (табл. 1).

Исследования проводили в августе 2020 г. на 5-ти пробных площадях (ПП) в Чернышевском, Нерчинском и Шилкинском административных районах Забайкальского края. В местах проведения исследований отбирали образцы почвы и подземных органов сапожниковии растопыренной для химического анализа. Было отобрано не менее пяти образцов на каждой пробной площади, которые затем смешивали в среднюю пробу. Химический анализ почвы проведен в ФГБУ государственной станции агрохимической службы

Таблица 1. Характеристика мест произрастания растений *S. divaricate*
Table 1. Characteristics of the growth locations of *S. divaricata*

Параметры Parameters		Номер пробной площади Sample plot number				
		1	9	13	17	18
Географические координаты Geographic coordinates		N 52.440° E 117.038°	N 52.261° E 116.327°	N 51.789° E 115.766°	N 51.732° E 114.716°	N 51.688° E 114.630°
Экспозиция, крутизна склона Slope exposure, degree		Южный, пологий Southern, gentle	Западный, пологий West, gentle	Северный, пологий Northern, gentle	Юго-восточный, пологий South-eastern, gentle	Восточный, пологий Eastern, gentle
Растительное сообщество Plant community		Степь разнотравно-злаковая Mixed herbs steppe	Степь разнотравно-злаковая Mixed herbs steppe	Степь разнотравно-злаковая Mixed herbs steppe	Степь злаково-разнотравная Mixed herbs steppe	Степь разнотравная Grassland
Особенности гранулометрического состава почвы Features of the granulometric composition of soil		Песчаная Sandy	Суглинок средний Medium loam	Суглинок средний Medium loam	Суглинок средний Medium loam	Суглинок средний Medium loam
рН солевой вытяжки pH of salt extract		6.4 ± 0.1	6.4 ± 0.1	6.0 ± 0.1	5.6 ± 0.1	6.4 ± 0.1
Содержание в почве, мг/кг Soil content, mg/kg	Азот Nitrogen	0.019	0.023	0.023	0.019	0.019
	Фосфор phosphorus	25.3 ± 8.9	48.7 ± 9.7	41.0 ± 5.6	57.1 ± 11.4	38.2 ± 7.6
	Калий Potassium	116.2 ± 17.4	195 ± 29.3	232.0 ± 30.5	95.4 ± 14.3	356.0 ± 53.4

“Костромская” принятыми в агротехнической службе методами. Концентрации элементов в растительных образцах определены в Институте тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина (ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-9898 Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом ИСП-МС). Всего в корнях сапожниковии исследовано содержание 32 химических элементов: K, Ca, Mg, Fe, P, Na, Ti, Ba, Sr, Zn, Mn, B, Cu, Cr, Rb, Ni, V, Mo, Ce, Zr, La, Pb, Li, As, Co, Cd, Bi, Be, Sb, Se, Hg, Tl.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Среднее содержание элементов в корнях сапожниковии может быть представлено в виде следующего ряда: K > Ca > Mg > Fe > P > Na > Ti > Ba > Sr > Zn > Mn > B > Cu > Cr > Rb > Ni > V > Mo > Ce > Zr > La > Pb > Li > As > Co > Cd > Bi > Be > Sb > Se > Hg > Tl (табл. 2).

Жизненно необходимые элементы

Макроэлементы

Содержание макроэлементов в корнях сапожниковии по убыванию образует следующий ряд: K > Ca > Mg > Fe > P > Na.

Калий

Генеральное среднее содержания K в почве — 1.25%, на территории нашей страны — 1.36%. Калий относится к относительно подвижным элементам значительного биологического накопления. Это один из наиболее важных, необходимых элементов в организме растений [20]. Калий отличается высокой биофильностью (0.012). По величине кларка в живом веществе (0.3%), калий входит в триаду наиболее важных элементов (N, P, K). Кларк K в наземных растениях 140 г/т сухого вещества. Максимальное содержание K в золе растений семейства зонтичных очень высокое — 28.4%.

Степень обеспеченности подвижным K почв в местах произрастания сапожниковии высокая и очень высокая (95–356 мг/кг) (табл. 1). Среднее накопление элемента в корнях сапожниковии составляет 11900 ± 1500 мг/кг или 0.9–1.7% (табл. 2). Эта величина близка к кларку в наземных растениях. Коэффициент вариации — 28%. Наибольшей концентрацией K отличается ценопопуляция на ПП 9. Калий отнесен к элементам энергичного поглощения [21], средний коэффициент биологического поглощения K сапожниковией — 62.3 (26.1–109.7), наиболее высоким он является на ПП 17.

Таблица 2. Концентрация химических элементов в корнях *S. divaricata*, мг/кг (воздушно-сухое вещество)
Table 2. Concentration of chemical elements in the roots of *S. divaricata*, mg/kg (air dry matter)

Элементы Elements	Номер пробной площади Sample plot number					$\bar{X} \pm m$	Кларк в наземных растениях, мг/кг [19] Clarke in land plants, mg/kg [19]	Отношение к кларку, % Relationship to clarke, %	Min–max	CV, %
	1	9	13	17	18					
K	9018	16650	13938	10463	9290	11900 ± 1500	14000	85	9000–17000	28
Ca	4526	4691	4269	4310	4744	4500 ± 100	18000	25	4300–4700	5
Mg	2165	1615	1355	1738	1418	1700 ± 100	3200	53	1400–2200	19
Fe	1595	1651	421	1204	752	1000 ± 200	140	786	400–1700	47
P	1381	583	599	1398	474	900 ± 200	2300	39	500–1400	52
Na	1318	1180	306	999	275	800 ± 200	1200	67	300–1300	60
Ti	141	146	34	104	51	90 ± 20	1.0	9500	30–150	54
Ba	98	95	56	62	106	80 ± 10	14	600	60–110	27
Sr	85	92	68	79	66	80 ± 5	26	300	70–90	14
Zn	43	45	52	37	46	45 ± 2	100	45	37–52	12
Mn	56	45	25	39	31	40 ± 6	630	6	25–56	31
B	20	19	20	20	18	19.4 ± 0.4	50	38	18.1–20.3	5
Cu	11	16	16	13	13	14 ± 1	14	100	12–16	14
Cr	32	18	3.38	9.33	6.49	14 ± 5	0.23	6087	3–32	82
Rb	11.8	16.3	6.9	11.2	4.4	10 ± 2	20	50	4–16	46
Ni	12.3	8.5	2.4	5.1	3.2	6 ± 2	3	200	2–12	65
V	3.53	3.81	0.9	2.71	1.69	2.5 ± 0.5	1.6	188	0.9–3.8	49
Mo	2.56	2.81	1.59	4.14	0.58	2.3 ± 0.6	0.9	222	0.6–4.0	57
Ce	3.26	3.41	0.69	2.97	1.2	2.3 ± 0.6	0.2	1000	0.7–3.4	55
Zr	1.97	2.59	0.33	1.63	1.61	1.6 ± 0.4	0.64	313	0.3–2.6	51
La	2.04	1.99	0.43	2.15	0.62	1.5 ± 0.4	0.085	2353	0.4–2.2	59
Pb	1.24	1.11	0.42	2.12	0.61	1.1 ± 0.3	2.7	37	0.4–2.1	60
Li	1.28	1.13	0.48	1.39	0.78	1.0 ± 0.2	0.1	1000	0.5–1.4	37
As	0.66	1.73	0.47	1.02	0.61	0.9 ± 0.2	0.2	450	0.5–1.7	57
Co	0.77	0.81	0.24	0.51	0.31	0.53 ± 0.12	0.5	100	0.24–0.81	49
Cd	0.04	0.19	0.1	0.16	0.09	0.12 ± 0.03	0.6	17	0.04–0.19	51
Bi	0.001	0.001	0.03	0.18	0.33	0.18 ± 0.06	0.06	333	0.00–0.33	133
Be	0.11	0.11	0.02	0.11	0.04	0.08 ± 0.02	0.1	80	0.02–0.11	57
Sb	0.06	0.06	0.05	0.07	0.03	0.05 ± 0.01	0.06	83	0.03–0.07	28
Se	0.01	0.02	0.04	0.02	0.03	0.024 ± 0.005	0.2	12	0.01–0.04	48
Hg	0.01	0.005	0.01	0.01	0.01	0.009 ± 0.001	0.015	60	0.005–0.01	25
Tl	0.001	0.01	0.001	0.01	0.001	0.005 ± 0.002	0.01–0.1	50–2	0.001–0.01	107

Кальций

Кларк Ca в почвах – 1.37%. Кальций является главным элементом биосферы, в том числе живого вещества, его биофильность составляет 0.2, биогенность – 0.53. Кларк Ca в золе растений – 3% [20].

Среднее содержание Ca в корнях сапожников составляет 4500 ± 100 мг/кг (табл. 2). Эта величина меньше кларка в наземных растениях в 4 раза (18000 мг/кг). Изменчивость концентрации

в ценопопуляциях низкая CV = 5%. Коэффициент биологического поглощения Ca сапожников равен 1.4.

Магний

Кларк Mg в почвах – 0.63%. Показатель биогенности Mg имеет среднюю величину (0.28). В растениях кларк Mg составляет 3200 мг/кг [20].

Средняя концентрация Mg в корнях сапожниковии — 1700 ± 100 мг/кг (табл. 2). Эта величина меньше кларка в наземных растениях в 2 раза. Уровень изменчивости содержания этого элемента в корнях исследованного вида средний ($CV = 19\%$).

Железо

Железо имеет высокую почвопрофильность (0.08–1), но его содержание не нормируется, хотя избыток, как и недостаток, является неблагоприятным для растений. Кларк Fe в почвах составляет 3.8%, кларк в биосфере — 2.2%. Железо имеет низкую фитофильность (0.005). Нормативов на содержание в растениях нет. Кларк Fe в наземных растениях составляет 140 мг/кг, его содержание существенно зависит от климатических условий, в первую очередь от количества осадков: оно обратно пропорционально их количеству [22].

Концентрации Fe в травянистых растениях Бурятии находились в пределах 59–1140 мг/кг [23]. Валовое содержание Fe в почвах района исследований равно 5000 мг/кг. Средняя концентрация Fe в корнях сапожниковии — 1000 ± 200 мг/кг при варьировании от 400 до 1700 мг/кг (табл. 2). Эта величина больше кларка в наземных растениях в 8 раз. Уровень изменчивости накопления элемента в растениях высокий ($CV = 47\%$).

Фосфор

Генеральное среднее содержание P в почвах составляет 0.08%. Нормальным для интенсивного земледелия считается содержание подвижного P_2O_5 300 мг/кг почвы. Для территории СНГ средневзвешенное содержание составляет всего 78 мг/кг [24]. Степень обеспеченности подвижным фосфором почв района исследований преимущественно низкая — 25–57 мг/кг (табл. 1). Фосфор — главный биофильный и биогенный элемент. Его средняя биогенность составляет 2.6. При недостатке P возникает фосфорное голодание растений — замедление роста, увядание листьев и снижение плодоношения. Среднее содержание P в наземных растениях — 0.12%. Соотношение Ca : P в организме обычно близко к 2 : 1. Избыток P нарушает всасывание Mg и Fe [23].

Концентрация P в корнях сапожниковии находится в пределах 500–1400 мг/кг (табл. 2). Эта величина меньше кларка в наземных растениях в 2.6 раза (2300 мг/кг). Изменчивость накопления элемента очень высокая ($CV = 52\%$). Средний коэффициент биологического поглощения P равен 22.7 и варьирует на пробных площадях от 12 до 55.

Натрий

Натрий относится к подвижным катионам биосферы значительного биологического накоп-

ления и повышенной биогенности (0.54). Среднее генеральное содержание Na в почвах составляет 0.62%. Na — биологически незаменимый элемент. В наземных растениях его среднее содержание равно 40 мг/кг [20].

Валовое содержание Na в почвах района исследований находится в пределах 81–110 мг/кг. В корнях сапожниковии среднее накопление Na равно 800 ± 200 мг/кг при варьировании от 300 до 1300 мг/кг (табл. 2). Эта величина меньше кларка в наземных растениях в 1.5 раза (1200 мг/кг). Коэффициент вариации концентрации элемента в зависимости от места произрастания является очень высоким ($CV = 60\%$).

Микроэлементы

В корнях растений сапожниковии растопыренной исследовано накопление 8 жизненно необходимых микроэлементов. Их концентрации образуют по убыванию следующую последовательность: $Zn > Mn > B > Cu > Cr > Mo > Co > Se$.

Цинк

Цинк в почвах широко распространен и легко подвижен. ПДК для растворимых форм составляет 23 мг/кг. Генеральное среднее Zn для почв мира по последним данным составляет 56 ± 5 г/т, по А.П. Виноградову 50 г/т. В растениях Zn участвует в окислительно-восстановительных процессах, влияет на фотосинтез, регулирует синтез крахмала, влияет на плодоношение и рост семян. Содержание Zn в растениях при фоновом его количестве в почве непостоянно — от 1.2 до 73 мг/кг сухой массы. Цинк отличается средней биофильностью, показатель фитоаккумуляции высокий (в среднем 0.33) [22].

Концентрация Zn в лекарственных растениях Бурятии находилась в пределах 5.2–62.0 мг/кг [23]. В корнях сапожниковии концентрация Zn составляет 45.0 ± 2.4 мг/кг при варьировании от 37 до 52 мг/кг на отдельных ПП (табл. 2). Эта величина меньше кларка в наземных растениях в 2.2 раза (100 мг/кг). Степень варьирования концентрации элемента на изученных пробных площадях низкая ($CV = 12\%$). Средний коэффициент биологического поглощения Zn растением равен 178.4.

Марганец

Генеральное среднее содержание Mn в почвах оценивается в 850 мг/кг. Содержание Mn в разных видах растений изменяется в широких пределах: от 30 до 500 мг/кг [22]. Концентрация Mn в травянистых растениях Бурятии находилась в пределах 11–420 мг/кг [23]. В корнях сапожниковии средняя концентрация Mn составляет 40 ± 6 мг/кг (25–56 мг/кг). Эта величина меньше кларка в на-

земных растениях в 16 раз (табл. 2). Средний коэффициент биологического поглощения элемента сапожниковией равен 13.1. Варьирование концентрации Мп в корнях сапожниковии по разным ПП высокое — 31.3%.

Медь

В почвах медь является относительно мало-подвижным элементом. Кларк в почве составляет 24 ± 3 мг/кг сухой массы. Содержание в почве 6–15 мг/кг считается недостаточным, 15–60 — нормальным и более 60 мг/кг — избыточным. Биофильность Си средняя (4×10^{-2}), как и биогенность (0.43). Чаще всего в растениях Си содержится в концентрации около 20 мг/кг сухой массы [22], эта величина принимается за порог, выше которого наступает избыток. Однако многие растения аккумулируют гораздо больше меди, особенно в корнях. Кларковые показатели среднего содержания Си по многим странам в растениях 1–33 мг/кг сухой массы. Кларк Си для наземных растений 14 мг/кг сухого вещества (табл. 2).

Концентрация Си в лекарственных растениях Бурятии находилась в пределах 1.4–23.1 мг/кг [23]. В корнях сапожниковии средняя концентрация Си составляет 14 ± 1 мг/кг (12–16 мг/кг). Эта величина соответствует кларку наземных растений (табл. 2). Средний коэффициент биологического поглощения элемента сапожниковией равен 69.5. Коэффициент вариации имеет среднюю величину ($CV = 14\%$).

Хром

По современным данным кларк Сг в почвах 70–90 г/т. Кларк Сг для наземных растений составляет 0.23 мг/кг сухого вещества. Биологическое значение Сг изучено недостаточно. Считается, что Сг стимулирует рост сельскохозяйственных растений, но его избыток вызывает у них различные заболевания [22].

Концентрация Сг в лекарственных растениях Бурятии находилась в пределах 0.74–19.2 мг/кг [23]. В корнях сапожниковии средняя концентрация Сг составляет 14 ± 5 мг/кг (3–32 мг/кг). Эта величина больше кларка наземных растений в 60 раз (табл. 2). Коэффициент вариации очень высокий ($CV = 82\%$). Средний коэффициент биологического поглощения элемента сапожниковией равен 27.8.

Молибден

Кларк Мо для почв мира равен 2 мг/кг [19]. По показателям поглощения растениями Мо относится к группе среднего накопления и сильного захвата. Критический недостаток Мо в растениях от 0.01 до 6 мг/кг сухой массы. Кларк молибдена

для наземных растений равен 0.9 г/т. Содержание Мо в сельскохозяйственных культурах в пределах 0.01–0.29 мг/кг сухого вещества является недостаточной. Токсичность для злаковых культур > 16 мг/кг. В норме концентрация элемента растениях должна находиться в пределах 0.20–20.0 мг/кг [25].

Концентрация Мо в лекарственных растениях Бурятии находилась в пределах 0.21–7.0 мг/кг [23]. В корнях сапожниковии средняя концентрация Мо составляет 2.3 ± 0.6 мг/кг (0.6–4.0 мг/кг). Эта величина больше кларка наземных растений в 2.5 раза. Коэффициент вариации концентраций очень высокий ($CV = 57\%$).

Кобальт

Кларк Со в почвах 10 мг/кг [19]. Содержание Со в почвах имеет важное значение и нормируется: ПДК подвижной его формы составляет 5 мг/кг. Недостаточным считается количество $Со < 5$ мг/кг. Кобальт необходим для растений. Он определяет метилирование и фиксацию азота, влияет на рост, однако в высоких количествах (> 30 г/т) вызывает омертвление листьев, уродливость и бесплодность. Кларк Со в наземных растениях составляет 0.5 мг/кг сухого вещества. Среднее содержание кобальта в сельскохозяйственных растениях 0.01–0.31 мг/кг живой массы [22].

Содержание Со в травянистых растениях Бурятии, в дельте реки Селенги, варьировало от 0.02 до 0.53 мг/кг [26]. В корнях сапожниковии средняя концентрация Со составляет 0.53 ± 0.12 мг/кг (0.24–0.81 мг/кг). Эта величина близка к кларку в наземных растениях (табл. 2). Коэффициент вариации очень высокий ($CV = 49\%$).

Селен

Кларк Се в почвах бывшего СССР 0.01 мг/кг, для США — 0.4 ± 0.1 . Иногда в почве содержание Се увеличивается до 1–4 г/т и более. Низкие содержания (менее 0.5 мкг/л) также весьма нежелательны.

Среднее содержание Се в травянистых растениях варьирует от 2 до 174 мкг/кг. Содержание Се в пастбищных растениях обычно составляет в среднем 0.2, редко 4–10 и выше г/т. Растения, отобранные из селеноносной провинции Тувы, содержали селен в количестве 0.5–12 г/т сухого вещества. Устойчивые высокие концентрации этого элемента, кроме астрагалов и других бобовых (до 1000 мг/кг), установлены в бурчаке ленском (*Alyssum lenense* Adams) [27].

В корнях сапожниковии средняя концентрация Се составляла 0.024 ± 0.005 мг/кг (0.01–0.04 мг/кг). Эта величина близка к кларку в наземных растениях (табл. 2). Коэффициент вариации очень высокий ($CV = 48\%$).

Бор

Генеральное среднее содержание В в почвах России 36 ± 5 г/т, по миру 33 ± 5 г/т. Кларк В в растительности суши составляет 10 мг/кг, кларк В в наземных растениях — 50 мг/кг (табл. 2). Растения значительно различаются по концентрации В в зависимости от вида и характера почв. В целом для двудольных растений его требуется больше, чем для однодольных. Приняты следующие критические уровни содержания В в растениях: недостаток $< 5-30$, избыток $> 50-200$ мг/кг [24].

Содержание В в лекарственных растениях различных фитоценозов Забайкалья изменялось от 2.1 до 70.0 мг/кг [28]. В корнях сапожниковии средняя концентрация В составляет 19.4 ± 0.4 мг/кг (18–20 мг/кг). Эта величина меньше кларка наземных растений в 2.6 раза (табл. 2). Коэффициент вариации концентрации В низкий ($CV = 5\%$).

Условно жизненно необходимые элементы

К условно необходимым микроэлементам относятся те их них, необходимость которых для жизнедеятельности организмов с достаточной уверенностью еще не установлена, но, в то же время, они оказывают существенное биологическое действие на различные процессы метаболизма. В исследованных растениях концентрации этих элементов образуют ряд: $Ti > Ni > V > Li$.

Титан

Содержание Ti в почвах относительно высокое — в среднем 0.35%, разброс значений в поверхностном слое — от 0.1 до 9%. В почвенных растворах его концентрация составляет 0.03 мг/л. Кларк Ti в наземных растениях — 1 мг/кг. Кларк в биосфере очень высокий — 0.26 [22].

Сведений о биохимическом значении Ti для жизни растений очень мало. Содержание титана в золе листьев степных растений Урала составило от 242 до 935 г/т. Показатель биогенности Ti довольно высокий — 0.06%. Содержание Ti в лекарственных растениях различных фитоценозов Бурятии изменялось в пределах 8.6–73 мг/кг [28].

В корнях сапожниковии накапливается 90 ± 20 мг/кг элемента (от 30 до 150 мг/кг). Эта величина больше кларка наземных растений в 95 раз. Варьирование накопления Ti в зависимости от места произрастания значительное и составляет 53.8% (табл. 2).

Никель

Среднее содержание Ni в почвах мира — 20 мг/кг [29]. Кларк в наземных растениях — 3.0 мг/кг. На рост растений Ni в обычных концентрациях оказывает благотворное действие. Генеральное сред-

нее для трав составило 0.95 ± 0.20 при колебаниях от 0.1 до 1.7 мг/кг сухой массы.

В травах Бурятии накопление Ni составляет 0.2–5.1 мг/кг [30]. Содержание Ni в лекарственных растениях фитоценозов Бурятии варьировало в пределах 0.14–8.85 мг/кг [28]. В корнях сапожниковии средняя концентрация Ni составляет 6 ± 2 мг/кг (2–12 мг/кг). Эта величина больше кларка наземных растений в 2 раза. Коэффициент вариации очень высокий ($CV = 65\%$).

Ванадий

Среднее содержание V в почвах мира — 100 мг/кг [19]. Величина кларка в наземных растениях — 1.6 мг/кг. Биологическое значение ванадия изучено слабо, некоторыми исследователями он относится к жизненно важным элементам. Он участвует в обмене веществ высших растений, в фиксации азота, метаболизме железа. Поведение V сходно с таковым молибдена, он участвует в процессе фотосинтеза, незаменим для водорослей и может заменять молибден. Токсичность V для растений проявлялась при его концентрации в почве около 140 мг/кг. У некоторых видов растений хлороз может наступить при содержании V 2 мг/кг сухой массы, у других при концентрациях 14–880 мг/кг ванадий не вызывал критических изменений, но приводил к замедлению роста. Содержание V в пищевых и кормовых растениях варьирует в широких пределах — 7–2700 мкг/кг сухой массы [22].

В травянистых растениях Бурятии концентрация V находилась в пределах 0.4–1.7 мг/кг [30]. В травах Прибайкалья накопление элемента составляло 1.2–3.7 мг/кг. Один и тот же вид растений в различных экологических условиях накапливал разные количества элемента [31]. В корнях сапожниковии средняя концентрация V составляет 3 ± 1 мг/кг (1–4 мг/кг). Эта величина больше кларка наземных растений в 1.6 раза (табл. 2). Коэффициент вариации очень высокий ($CV = 49\%$).

Литий

Кларк Li в почвах составляет 30 мг/кг [19]. Величина кларка в наземных растениях — 0.1 мг/кг. Токсичным для растений считается содержание хлорида 1.2–4.0, сульфата — 0.2–0.5 г/л. Нормальной считается концентрация в листьях растений, составляющая 3 мг/кг, избыточной — 5–50 мг/кг. В растениях суши среднее содержание Li составляет 0.1 мг/кг. Растения поглощают литий в различной степени. Высокая концентрация элемента (0.8 мг/кг) установлена для семейства Пасленовые. Больше всего Li в растениях, произрастающих на солончаках и других почвах повышенной солености. В растительных пищевых продуктах литий содержится в количестве 0.2–6.6 мг/кг [20].

Содержание Li в лекарственных растениях Бурятии изменялось в пределах 1.3–22.2 мг/кг сухого вещества [28]. В корнях сапожниковии средняя концентрация Li составляет 1.0 ± 0.2 мг/кг (0.5–1.4 мг/кг). Эта величина больше кларка наземных растений в 10 раз (табл. 2). Коэффициент вариации высокий ($CV = 37\%$).

Токсичные микроэлементы

К токсичным микроэлементам относят те элементы, биологическое значение которых достоверно не установлено, а повышенные концентрации оказывают негативное действие. ПДК Pb в растительном сырье не должно превышать 6.0, Cd – 1.0, Hg – 0.1, As – 0.5 мг/кг (ОФС.1.5.3.0009.15). В корнях сапожниковии растопыренной концентрации токсичных элементов образуют следующий ряд: Ba > Sr > Pb > As > Cd > Bi > Be > Sb > Hg > Tl.

Барий

Кларк бария в почве по современным оценкам составляет 554 ± 25 г/т. В почвах России содержание Ba колеблется в широких пределах (84–560 мг/кг). Элемент имеет очень высокий показатель биогенности (1.5). Кларк в наземных растениях – 14 мг/кг. Сведений о токсичности Ba для растений нет, хотя он присутствует в них в значительных количествах. В тоже время для человека соединения Ba очень токсичны. В наземных растениях концентрация Ba равна 14 мг/кг сухого вещества.

В лекарственных растениях Бурятии содержание Ba варьировало в пределах 18–174 мг/кг. Наибольшее содержание Ba выявлено у подмаренника настоящего (174 мг/кг), тмина обыкновенного (104 мг/кг), сабельника болотного (156 мг/кг), панцерии шерстистой (110 мг/кг). Коэффициент биологического поглощения Ba степной растительностью в среднем равен 0.65, луговой – 0.55, культурной – 0.59 [20]. Между накоплением Ba в растениях и его валовым содержанием в почвах выявлена корреляционная связь [32].

В корнях сапожниковии содержится в среднем 80 ± 10 мг/кг этого элемента (60–110 мг/кг). Эта величина больше кларка в наземных растениях в 6 раз (табл. 2). Изменчивость концентрации Ba по пробным площадям высокая ($CV = 27\%$).

Стронций

Стронций в почвах распространен широко, его кларк составляет $3 \times 10^{-2}\%$, а содержание колеблется от 18 до 3500 г/т. Нормой для почв считается содержание Sr 600 мг/кг, избыточным >600–1000 мг/кг. Биогенность Sr высокая – 0.97, для травянистых растений – 0.15. Кларк Sr для на-

земных растений равен 26 мг/кг (табл. 2). В растениях Sr обычно накапливается в корнях и стеблях, но не в листьях, в прямой пропорции с кальцием. Содержание Sr в растениях варьирует в широких пределах – от < 1 до 10000 мг/кг, обычно 10–1500 мг/кг. Более высокое содержание отмечается в бобовых (290–662 мг/кг). По другим данным более богаты Sr растения семейства зонтичных (0.044%). В живых организмах Sr выступает как аналог кальция [20].

Содержание Sr в лекарственных растениях Бурятии изменялось в пределах 33–247 мг/кг (в среднем 85 ± 7.7 мг/кг) при значительном коэффициенте вариации – 58% [33]. В корнях сапожниковии средняя концентрация Sr составляла 80 ± 5 мг/кг (70–90 мг/кг). Эта величина больше кларка наземных растений в 3 раза (табл. 2). Коэффициент вариации средний ($CV = 14\%$).

Свинец

Генеральное среднее содержание элемента в почвах – 38 ± 5.6 , при варьировании от 3 до 84 мг/кг [29]. Для доступности Pb основное значение имеет pH почвенных растворов. В растениях Pb присутствует постоянно, но содержание его обычно невелико. Кларковое содержание Pb в наземных растениях равно 2.7 мг/кг. Коэффициент биогенности Pb довольно низкий – в среднем 0.18. Нормальной является концентрация 5–10 мг/кг, избыточной (токсичной) – 30–300 мг/кг [27].

Растения поглощают Pb не только из почв, но и из атмосферы (иногда до половины содержащегося в них количества элемента). Естественное содержание в незагрязненных и безрудных областях лежит в пределах 0.1–10.0 мг/кг [29]. Для съедобных растений среднее содержание Pb – около 0.5, для трав – около 2.0 мг/кг.

Содержание Pb в лекарственных растениях Забайкалья варьировало от 0.46 до 2.19 мг/кг (в среднем 0.88 ± 0.06 мг/кг, $V = 46\%$), что меньше, чем ПДК свинца в лекарственном растительном сырье – 6.0 мг/кг (СанПиН 2.3.2.1078) [33].

В корнях сапожниковии средняя концентрация Pb составляет 1.1 ± 0.3 мг/кг (0.4–2.1 мг/кг). Эта величина меньше кларка в наземных растениях в 2.5 раза и не превышает предельно допустимую концентрацию в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах равную 6 мг/кг [34]. Коэффициент вариации очень высокий ($CV = 60\%$). Средний коэффициент биологического поглощения Pb сапожниковией равен 1.1.

Мышьяк

В России норматив валового содержания (ОДК) для As в различных группах почв от 2 до 10 мг/кг.

Мышьяк относится в почвах к первому классу опасности. Кларк As в почвах — 5 г/т [19], по другим данным — 8.7 г/т [29]. Загрязнение почв As происходит при воздействии на почвы As-пестицидов, а также геотермальных и теплоэлектростанций, добычи и переработки углей, различных металлов и т.д.

Биохимическая роль As не изучена. Предварительная оценка кларка As в растительности суши $10^{-5}\%$. Он действует в растениях как ингибитор обмена веществ, резко снижает урожайность, особенно при недостатке фосфора. Основными накопителями As являются корни растений. Генеральное среднее содержание элемента в наземных растениях 0.02 г/т. Содержания As в съедобных частях кормовых растений составляют от 2 до 1500 г/т сухого вещества [27]. Предельно допустимое содержания мышьяка в лекарственном растительном сырье и препаратах составляет 0.5 мг/кг [34].

В Забайкальском крае лекарственные растения, произрастающие на территории одного из рудных районов, такие как *Crataegus sanguinea* Pallas, *Betula pendula* Roth, *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz и *Artemisia gmelinii* Weber ex Stechm на фоновом участке накапливают As до 6 мг/кг, растения месторождения Шерловая Гора — до 138.5 мг/кг, а растения техногенных массивов — до 22 мг/кг [35].

В районе исследования в корнях сапожниковии средняя концентрация As составляла 0.9 ± 0.2 мг/кг (0.5 до 1.7 мг/кг). Эта величина больше кларка наземных растений в 4.5 раза (табл. 2). Коэффициент вариации очень высокий ($CV = 57\%$). Средний коэффициент биологического поглощения элемента сапожниковией равен 0.94. Максимальное превышение ПДК достигало 3.5 раза. Такое сырье считается непригодным для получения лекарственных препаратов. Этот факт необходимо учитывать при сборе и организации культивирования растения.

Кадмий

Генеральное среднее содержания Cd в почве — 0.5 г/т [19]. Фоновые содержания обычно колеблются от 0.01 до 0.5 мг/кг, а более высокие концентрации, вероятно, имеют антропогенное происхождение. Прогнозируется увеличение концентраций Cd на 0.1 мг/кг каждые 20–30 лет. Это связано с его техногенным поступлением.

Значение Cd для растений не установлено. Обнаружена прямая зависимость между его содержанием в растениях и в среде их обитания, что свидетельствует о высоком биологическом поглощении. В растительности континентов содержится в среднем 0.005 мг/кг (сухая фитомасса). Кадмий попадает в растения как из почвы, так и из воздуха [25].

Разные виды обнаруживают большие различия в концентрации Cd из одной и той же почвы — от 0.06 до 5.2 мг/кг сухого вещества. Кларковые содержания Cd в сельскохозяйственных культурах находятся в пределах от 0.009 до 0.4 мг/кг. Кларк Cd для наземных растений равен 0.6 мг/кг сухого вещества [19].

В корнях сапожниковии средняя концентрация Cd составляет 0.12 ± 0.03 мг/кг (0.04–0.19 мг/кг). Эта величина меньше кларка наземных растений в 5 раз и не превышает предельно допустимую концентрацию в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах равную 1 мг/кг [34]. Коэффициент вариации очень высокий ($CV = 51\%$). Средний коэффициент биологического поглощения Cd сапожниковией равен 2.4.

Висмут

В почвах среднее содержание Bi составляет 0.2 мг/кг. В съедобных частях наземных растений содержится в среднем 0.06 мг/кг Bi. Максимальное содержание Bi в золе коры деревьев Сибири достигает 600 мг/кг, при фоновых значениях 1 мг/кг [27].

В корнях сапожниковии средняя концентрация Bi составляла 0.18 ± 0.06 мг/кг (0.001–0.33 мг/кг). Эта величина больше кларка наземных растений в 1.8 раза (табл. 2). Коэффициент вариации очень высокий ($CV = 133\%$).

Бериллий

Кларк Be в почве — 1.7 ± 0.5 г/т. В России среднее содержание в почвах находится в пределах от 1.0 до 4.0 мг/кг. Концентрация Be в почвенных растворах составляет 0.4–1.0 мкг/л. Содержание Be в растениях изменяется в широких пределах — от 0.001 до 0.4 мг/кг сухой массы. Кларк Be для наземных растений составляет 0.1 мг/кг сухой массы. Среднее содержание элемента в золе наземных растений 2 г/т. Бериллий токсичен для растений, при высоких концентрациях (2–16 мг/кг), он тормозит прорастание семян, потребление Ca, Mg, P корнями, разрушает протеины и ферменты [20].

Содержание Be в лекарственных растениях Забайкалья изменялось от 0.044 до 0.37 мг/кг при средней величине 0.08 ± 0.01 мг/кг и высоком коэффициенте вариации — 74% [26]. В корнях сапожниковии средняя концентрация Be составляла 0.08 ± 0.02 мг/кг (0.02–0.11 мг/кг). Эта величина близка к кларку в наземных растениях. Коэффициент вариации очень высокий ($CV = 57\%$).

Сурьма

Кларк Sb в почве — 1.0 мг/кг (0.2–10.0 мг/кг). Среднее содержание Sb в растениях составляет

0.06 г/т сухого вещества. Сурьма не относится к жизненно важным элементам, хотя и стимулирует некоторые биопроцессы. В корнях сапожниковии средняя концентрация Sb составляла 0.05 ± 0.01 мг/кг (0.03–0.07 мг/кг). Эта величина близка кларку в наземных растениях (табл. 2). Коэффициент вариации высокий ($CV = 28\%$).

Ртуть

Кларк Hg в почвах — 0.12 ± 0.02 мг/кг. Максимальные концентрации Hg в поверхностном слое почв с учетом мировых данных достигают 400 мг/кг [35]. Растения поглощают Hg обычно пропорционально содержанию в субстрате. Симптомы отравления растений Hg — задержка роста всходов и развития корней, торможение фотосинтеза, снижение урожайности. Кларк Hg в наземных растениях — 0.015 мг/кг. Коэффициент поглощения Hg растительностью суши составляет 7.58. Растения различаются по фоновому содержанию Hg. В сельскохозяйственных растениях концентрации составляют от 0.9 до 86 мкг/кг [25].

В травянистых растениях Бурятии средняя концентрация Hg варьировала от 4.2 до 27.7 мкг/кг сухой массы [36]. В корнях сапожниковии средняя концентрация Hg составляла 0.009 ± 0.001 мг/кг (0.01–0.005 мг/кг). Эта величина меньше кларка наземных растений в 1.7 раза и не превышает ПДК в лекарственном растительном сырье и препаратах равную 0.1 мг/кг [34]. Коэффициент вариации высокий ($CV = 25\%$). Средний коэффициент биологического поглощения элемента сапожниковией равен 0.18.

Таллий

Кларк Tl в почвах составляет 0.2 мг/кг, кларк Tl в наземных растениях — 0.01–0.1 мг/кг сухого вещества. В хвое сосны содержится от 2 до 100 мг/кг элемента. Самые высокие концентрации Tl установлены в капусте — до 125 мг/кг [27].

В корнях сапожниковии средняя концентрация Tl составляла 0.005 ± 0.002 мг/кг (0.001–0.01 мг/кг). Эта величина близка к кларку в наземных растениях. Коэффициент вариации очень высокий ($CV = 107\%$).

Недостаточно изученные элементы

В корнях растений сапожниковии растопыренной исследовано накопление 4 таких микроэлементов. По содержанию они образуют следующий ряд: $Rb > Ce > Zr > La$.

Рубидий

В почвах и растениях Rb ведет себя подобно калию. Вследствие этого высокие его concentra-

ции довольно токсичны для растений. Если некоторые растения испытывают дефицит K, то рубидий (как и натрий), может стимулировать их рост [35]. Кларк Rb в почве — 0.015 г/т. Генеральное среднее содержание Rb в наземных растениях — 20 мг/кг [18].

В корнях сапожниковии средняя концентрация Rb составляет 10 ± 2 мг/кг (4–16 мг/кг). Эта величина меньше кларка наземных растений в 2 раза (табл. 2). Коэффициент вариации очень высокий ($CV = 46\%$).

Церий

Кларк Ce в почве — 56 мг/кг [19]. В наземных растениях количество Ce варьирует в значительных пределах: в лишайниках от 0.25 до 16.0 мг/кг, в овощных культурах от 0.002 до 0.05 мкг/кг. Среднее содержание Ce в растениях 1.2 мг/кг [37].

В корнях сапожниковии средняя концентрация Ce составляет 2.3 ± 0.6 мг/кг (0.7–3.4 мг/кг). Эта величина больше кларка в наземных растениях в 11 раз (табл. 2). Коэффициент вариации очень высокий ($CV = 55\%$).

Цирконий

Кларк Zr в почвах — 300 г/т [19]. Для растений доступность Zr считается весьма ограниченной, он имеет один из самых низких коэффициентов биологического накопления. Кларк Zr в наземных растениях составляет 0.64 мг/кг сухого вещества. Средние содержания Zr в сельскохозяйственных растениях находятся в пределах 0.02–2.6 мг/кг сухой массы [30]. Известно о токсичном действии Zr на растения, особенно на рост корней.

Содержание Zr в лекарственных растениях Забайкалья изменялось от 0.45 до 29.2 мг/кг при среднем значении 295 ± 0.72 и аномально высоком коэффициенте вариации (157%) [32]. В корнях сапожниковии средняя концентрация Zr составляет 1.6 ± 0.4 мг/кг (0.3–2.6 мг/кг). Эта величина больше кларка наземных растений в 2.5 раза. Коэффициент вариации очень высокий ($CV = 51\%$).

Лантан

Лантан считается биологически легкоусвояемым металлом. Генеральное среднее La в почве 34 ± 6.5 мг/кг сухой массы [36]. Содержание La в растениях составляет от 3 до 15000 мг/кг сухой массы. В целом концентрация элемента зависит от концентрации в почве [37]. Биологическое значение La изучено мало. Известно, что лантаниды токсичны для метаболизма клеток, однако данных об их тормозящем действии на развитие растений немного [36].

Таблица 3. Связь концентрации химических элементов в корнях *S. divaricata* с характеристиками почв (коэффициент корреляции Пирсона – 0.9–1.0; $p < 0.05$)

Table 3. The relationship between the concentration of chemical elements in *S. divaricata* roots and soil characteristics (the Pearson correlation coefficient is 0.9–1.0; $p < 0.05$)

Химические параметры почвы Soil chemical parameters	Характер связи с содержанием химических элементов в корнях <i>S. divaricata</i> The nature of the relationship with the content of chemical elements in the <i>S. divaricata</i> roots										
рН солевой вытяжки pH of the salt extract	+Ba	+Zn	–Pb								
Общий азот Total nitrogen	+K	+As	–Hg								
Подвижный P Mobile P	+Cd										
Подвижный K Mobile K	–B	–Mo	–La	–Li	–Be	–Sb					
Hg (массовая доля) Hg (mass fraction)	–Fe	–Na	–Ti	–Sr	–Mn	–Rb	–Ni	–V	–Ce	–Co	+Bi
Обменный Ca Exchangeable Ca	+Ca	–P	–B								
S подвижная форма S mobile form	–Mg	+Cu									

В корнях сапожниковии средняя концентрация La составляет 1.5 ± 0.4 мг/кг (0.4–2.2 мг/кг). Эта величина больше кларка в наземных растениях в 17.6 раза (табл. 2). Коэффициент вариации очень высокий ($CV = 59\%$).

Влияние химического состава почвы на накопление химических элементов в корнях *S. divaricata*

В Китае установлена положительная связь концентраций Mg, Na и Cu в сапожниковии с содержанием этих элементов в почве, и отрицательная – между концентрацией Mn в растении и почве. Концентрации восьми элементов в образцах растений уменьшались в следующем порядке: $Ca > Mg > Na > K > Fe > Zn > Mn > Cu$ [1].

В наших исследованиях концентрация элементов в корнях растения располагались в несколько иной последовательности: $K > Ca > Mg > Fe > Na > Zn > Mn > Cu$. В Китае средние концентрации Ca, Na, Mg и K в растениях сапожниковии были выше, чем в почвах. Согласно нашим данным, напротив, меньше. Это подтверждает значительное взаимовлияние концентраций химических элементов в почве и растении, а также указывают на возможность регуляции содержания биологически активных веществ и элементного состава растений путем внесения в почву минеральных удобрений.

В наших исследованиях установлено, что концентрации в корнях сапожниковии жизненно важных для человека элементов – Ca, Mg, P, K, Cu, Zn, Mo, а также ряда токсичных элементов (Ba, Pb, As, Hg, Cd, Be, Sb) значимо связаны с химическими свойствами почвы (табл. 3). В частности, с величиной pH почвы положительно коррелирует содержание Zn и Ba, отрицательно – содержание Pb. Количество в почве общего азота положительно связано с накоплением в корнях сапожниковии жизненно важного элемента K и токсичного элемента As, но имеет отрицательную корреляцию с накоплением Hg. При повышении содержания в почвах Hg может снижаться поглощение важных элементов биогенов – Fe, Na, Mn. Однако эти результаты получены на небольшой выборке образцов растений, поэтому их нужно рассматривать как предварительные и требующие дальнейшего подтверждения.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования позволили выявить элементный состав корней лекарственного растения сапожниковии растопыренной *Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk в одном из районов Забайкальского края (бассейны рек Ингода и Шилка). Содержание химических элементов в корнях растений исследованного вида имеет сле-

дующую последовательность: K > Ca > Mg > Fe > P > Na > Ti > Ba > Sr > Zn > Mn > B > Cu > Cr > Rb > Ni > V > Mo > Ce > Zr > La > Pb > Li > As > Co > Cd > Bi > Be > Sb > Se > Hg > Tl.

2. Элементный состав корней сапожниковии связан с химическим составом почв, на которых растения произрастают. К элементам наиболее энергичного поглощения (коэффициент поглощения > 10) относятся K, P, Mn, Zn, Cu, Cr; значительного накопления (1–10) – Cd, Ca, Pb; среднего поглощения (0.1–1.0) – As, Hg. Остальные исследованные элементы отнесены к группе слабого и очень слабого поглощения.

3. Накопление Ti, Cr, Ce, Li, Fe, Ba, As, Sr в корнях сапожниковии растопыренной является

более высоким, а накопление Ca, Mg, P, Zn, Mn, D, Cd, Pb – более низким, чем среднее содержание этих элементов в наземных растениях.

4. Установлена корреляционная связь содержания ряда макро- (Ca, Mg, P, K, Na, Fe) и микроэлементов (Co, Cu, Mn, Zn, Ba, Pb, As, Hg, Cd, Be, Sb) в корнях сапожниковии растопыренной с химическими свойствами почвы, но из-за ограниченности данных результат можно рассматривать только как предварительный.

5. Сравнительная оценка количества элементов в корнях исследованного вида с имеющимися величинами ПДК показала, что концентрация As в них превышает предельно допустимое содержание в лекарственном сырье и препаратах в 1.8 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sun Jing-Bo, Gao Yu-Gang, Zang Pu, Yang He, Zhang Lian-Xue. 2013. Mineral Elements in Root of Wild *Saposhnikovia divaricata* and Its Rhizosphere Soil. – Biol. Trace Elem. Res. 153(1–3): 363–370.
<https://doi.org/10.1007/s12011-013-9684-x>
2. Цэрэнсоном Г., Нямбаяр Х., Доржсүрэн Н., Чултэмсүрэн Е., Соодой Ч., Готов Ч. 2015. Влияние растительного препарата сапожниковии растопыренной (*Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk.) на вызванное коллагеном воспаление суставов в эксперименте. – Сибирский медицинский журнал (Иркутск). 132(1): 106–108.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23877306>
3. Bao Z., Zhu Z., Zhang H., Zhong Y., Wang W., Zhang J., Wu J. 2019 The complete chloroplast genome of *Saposhnikovia divaricata*. – Mitochondrial DNA Part B. 5(1): 360–361.
<https://doi.org/10.1080/23802359.2019.1704200>
4. Batsukh Z., Toume K., Javzan B., Kazuma K., Cai S.Q., Hayashi S., Kawahara N., Maruyama T., Komatsu K. 2020. Metabolomic profiling of *Saposhnikovia* Radix from Mongolia by LC-IT-TOF-MS/MS and multivariate statistical analysis. – J. Nat. Med. 74(1):170–188.
<https://doi.org/10.1007/s11418-019-01361-0>
5. Kreiner J., Pang E., Lenon G.B., Yang A.W.H. 2017. *Saposhnikovia divaricata*: a phytochemical, pharmacological, and pharmacokinetic review. – Chinese J. Natural Medicines. 15(4): 255–264.
[https://doi.org/10.1016/S1875-5364\(17\)30042-0](https://doi.org/10.1016/S1875-5364(17)30042-0)
6. Kim C.W., Sung J.H., Kwon J.E., Ryu H.Y., Song K.S., Lee J.K., Lee S.R., Kang S.C. 2019. Toxicological Evaluation of *Saposhnikovia* Radix Water Extract and its Antihyperuricemic Potential. – Toxicol Res. 35(4): 371–387.
<https://doi.org/10.5487/TR.2019.35.4.371>
7. Li L., Geng M., Li Y., Xu Z., Xu M., Li M. 2020. Characterization of the complete plastome of *Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk. – Mitochondrial DNA B Resour. 5(1):786–787.
<https://doi.org/10.1080/23802359.2020.1715891>
8. Yang M., Wang C.-C., Wang W., Xu J.-P., Wang J., Zhang C.-H., Li M.-H. 2020. *Saposhnikovia divaricata*-An Ethnopharmacological, Phytochemical and Pharmacological Review. – Chin J. Integr. Med. 26(11): 873–880.
<https://doi.org/10.1007/s11655-020-3091-x>
9. Okuyama E., Hasegawa T., Matsushita T., Fujimoto H., Ishibashi M., Yamazaki M. 2001. Analgesic components of *saposhnikovia* root (*Saposhnikovia divaricata*). – Chem. Pharm. Bull. (Tokyo). 49(2): 154–60.
<https://doi.org/10.1248/cpb.49.154>
10. Урбагарова Б.М. 2019. Фармакологическое исследование сапожниковии растопыренной (*Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk.) корней и разработка на их основе экстракта сухого: Дисс. ... канд. фарм. наук. Улан-Удэ. 162 с.
11. Урбагарова Б.М. 2019. Фармакологическое исследование сапожниковии растопыренной корней и разработка на его основе нейропротекторного средства. – В сб.: Молекулярные и биологические аспекты химии, фармацевтики и фармакологии. Сборник тезисов докладов пятой Междисциплинарной конференции. Судак. С. 236.
https://mobi-chem.org/images/conf_papers2019.pdf#page=236
12. Урбагарова Б.М., Тараскин В.В., Елисафенко Т.В., Шульц Э.Э., Королюк Е.А., Раднаева Л.Д. 2021. Содержание основных действующих веществ в корнях природного и интродуцированного растения *Saposhnikovia divari-*

- cata* (Turcz.) Schischk. — Химия растительного сырья. 3: 143–151.
<http://journal.asu.ru/cw/article/view/9152>
13. Ребров В.Г., Громова О.А. 2008. Витамины, макро- и микроэлементы. М. 960 с.
 14. Визир К.Л., Климовицкая З.М. 1964. Действие марганца на рост и развитие растений на различных этапах их онтогенеза. — В кн.: Микроэлементы в жизни растений, животных и человека. Киев. С. 29–44.
 15. Гринкевич Н.И., Боровкова Л.И., Грибовская И.Ф. 1970. Влияние микроэлементов на содержание алкалоидов в красавке. — Фармация. 5: 41–47.
 16. Гринкевич Н.И., Сорокина А.А. 1983. Роль геохимических факторов среды в продуцировании растениями биологически активных веществ. — В кн.: Биологическая роль микроэлементов. М. С. 187–193.
 17. Немерешина О.Н., Гусев Н.Ф. 2006. К вопросу о содержании микроэлементов в сырье перспективных видов лекарственных растений южного Предуралья. — Вестник ОГУ. 12S(62): 167–168.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19045540>
 18. Банищикова Е.А., Вахнина И.Л., Желибо Т.В. 2020. *Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk. в степях юго-восточного Забайкалья. — Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 19–1: 87–92.
<https://doi.org/10.14258/pbssm.2020018>
 19. Воткевич Г.В., Кокин А.В. 1990. Справочник по геохимии. М. 480 с.
 20. Иванов В.В. 1994. Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. М. Кн. 1: s-элементы. 304 с.
 21. Перельман А.И. 1975. Геохимия ландшафта. М. 342 с.
 22. Иванов В.В. 1995. Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. М.: Экология, Кн. 4: Главные d-элементы. 416 с.
 23. Кашин В.К. 2009. Жизненно необходимые микроэлементы в лекарственных растениях Забайкалья. — Химия в интересах устойчивого развития. 17(4): 379–388. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12834028>
 24. Иванов В.В. 1994. Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. М.: Недра, Кн. 2: Главные p-элементы. 303 с.
 25. Иванов В.В. 1997. Экологическая геохимия элементов: Справочник: В 6 кн. М.: Экология, Кн. 5: Редкие d-элементы. 576 с.
 26. Сосорова С.Б. 2009. Кобальт в почвах и растениях дельты р. Селенга. — Почвоведение. 7: 806–813.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12601076>
 27. Иванов В.В. 1996. Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. М.: Недра, Кн. 3: Редкие p-элементы. 352 с.
 28. Кашин В.К. 2011. Условно необходимые микроэлементы в лекарственных растениях Забайкалья. — Химия в интересах устойчивого развития. 19(3): 259–266.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16494258>
 29. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. 1989. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 439 с.
 30. Сосорова С.Б., Кашин В.К. 2008. Никель в почвах и растениях дельты реки Селенги. — Плодородие. 6(45): 46–47.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12799755>
 31. Кашин В.К. 2005. Ванадий в растениях Забайкалья. — Агрохимия. 3: 67–73.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9136373>
 32. Кашин В.К. 2011. Барий в растительности Забайкалья. — Агрохимия. 1: 56–66.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15612792>
 33. Кашин В.К. 2012. Содержание токсичных микроэлементов в лекарственных растениях Забайкалья. — Агрохимия. 11: 78–81. 78–81.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18128188>
 34. ОФС.1.5.3.0009.15 Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. Pharmacopoeia.ru — сайт о регистрации лекарственных средств в России. Site about registration of Drugs in Russia and EAEU (CIS).
<https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-5-3-0009-15>
 35. Солодухина М.А. 2012. О содержании мышьяка в некоторых лекарственных растениях Забайкальского края. — Современные проблемы науки и образования. 6.
<https://science-education.ru/ru/article/view?id=7576>
 36. Кашин В.К., Иванов Г.М. 2009. Ртуть в растениях Забайкалья. — Агрохимия. 3: 71–75.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11734461>
 37. Иванов В.В. 1997. Экологическая геохимия элементов: Справочник: В 6 кн. М.: Экология, Кн. 6: Редкие f-элементы. 607 с.

Elemental Content of Roots of *Saposhnikovia divaricata* (Apiaceae) in the Trans-Baikal Territory

V. P. Makarov^{a, *}, M. A. Solodukhina^a, O. F. Malykh^a, N. Yu. Mikheeva^a, E. A. Banshchikova^a,
V. S. Larin^a, V. V. Bronnikov^a, T. V. Zhelibo^a

^aInstitute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

*e-mail: vm2853@mail.ru

Abstract—The article presents the results of a study of the chemical elements accumulation in the roots of *Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk, growing in the northern steppe regions of the Trans-Baikal Territory. *S. divaricata* is widely used in Chinese traditional medicine for the treatment of rheumatism and allergic rhinitis, immune and nervous systems, respiratory diseases. Biologically active compounds of the plant exhibit significant anti-inflammatory, analgesic, antioxidant, antiproliferative, antitumor and immunoregulatory activity. The content of chemical elements in the roots of *S. divaricata* in descending order is as follows: K > Ca > Mg > Fe > P > Na > Ti > Ba > Sr > Zn > Mn > B > Cu > Cr > Rb > Ni > V > Mo > Ce > Zr > La > Pb > Li > As > Co > Cd > Bi > Be > Sb > Se > Hg > Tl. The accumulation of Ti, Cr, La, Ce, Li, Fe, Ba, As, Sr, Bi, Mo, Zr, Ni, V exceeds the average content of these elements in terrestrial plants. The concentration of As in the roots of *S. divaricata* exceeds the maximum permissible content for medicinal raw materials and medicinal herbal preparations by 1.8 times. The concentration of some chemical elements in the roots of *Saposhnikovia* correlates with their content in the soil.

Keywords: *Saposhnikovia divaricata*, chemical elements, Trans-Baikal Territory

REFERENCES

1. Sun Jing-Bo, Gao Yu-Gang, Zang Pu, Yang He, Zhang Lian-Xue. 2013. Mineral Elements in Root of Wild *Saposhnikovia divaricata* and Its Rhizosphere Soil. — Biol. Trace Elem Res. 153(1–3): 363–370.
<https://doi.org/10.1007/s12011-013-9684-x>
2. Tserensonom G., Nyambayar Kh., Dorzhsuren N., Chultemsuren E., Soodoi Ch., Gotov Ch. 2015. Impact of vegetative preparation of *Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischkin in collagen-induced arthritis model. — Siberian Medical J. (Irkutsk). 132(1): 106–108.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23877306> (In Russian)
3. Bao Z., Zhu Z., Zhang H., Zhong Y., Wang W., Zhang J., Wu J. 2019 The complete chloroplast genome of *Saposhnikovia divaricata*. — Mitochondrial DNA Part B. 5(1): 360–361.
<https://doi.org/10.1080/23802359.2019.1704200>
4. Batsukh Z., Toume K., Javzan B., Kazuma K., Cai S.Q., Hayashi S., Kawahara N., Maruyama T., Komatsu K. 2020. Metabolomic profiling of *Saposhnikovia* Radix from Mongolia by LC-IT-TOF-MS/MS and multivariate statistical analysis. — J. Nat. Med. 74(1): 170–188.
<https://doi.org/10.1007/s11418-019-01361-0>
5. Kreiner J., Pang E., Lenon G.B., Yang A.W.H. 2017. *Saposhnikovia divaricata*: a phytochemical, pharmacological, and pharmacokinetic review. — Chinese J. Natural Medicines. 15(4): 255–264.
[https://doi.org/10.1016/S1875-5364\(17\)30042-0](https://doi.org/10.1016/S1875-5364(17)30042-0)
6. Kim C.W., Sung J.H., Kwon J.E., Ryu H.Y., Song K.S., Lee J.K., Lee S.R., Kang S.C. 2019. Toxicological Evaluation of *Saposhnikovia* Radix Water Extract and its Antihyperuricemic Potential. — Toxicol Res. 35(4): 371–387.
<https://doi.org/10.5487/TR.2019.35.4.371>
7. Li L., Geng M., Li Y., Xu Z., Xu M., Li M. 2020. Characterization of the complete plastome of *Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk. — Mitochondrial DNA Part B. 5(1): 786–787.
<https://doi.org/10.1080/23802359.2020.1715891>
8. Yang M., Wang C.-C., Wang W., Xu J.-P., Wang J., Zhang C.-H., Li M.-H.. 2020. *Saposhnikovia divaricata*-An Ethnopharmacological, Phytochemical and Pharmacological Review. — Chin. J. Integr. Med. 26(11): 873–880.
<https://doi.org/10.1007/s11655-020-3091-x>
9. Okuyama E., Hasegawa T., Matsushita T., Fujimoto H., Ishibashi M., Yamazaki M. 2001. Analgesic components of *saposhnikovia* root (*Saposhnikovia divaricata*). — Chem. Pharm. Bull. (Tokyo). 49(2): 154–60.
<https://doi.org/10.1248/cpb.49.154>
10. Urbagarova B.M. 2019. [Pharmacological study of *Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischkin roots and the development of a dry extract based on them: Abstr. ... Dis. Cand. (Pharmacology) Sci.]. Ulan-Ude. 162 p. (In Russian)
11. Urbagarova B.M. 2019. [Pharmacological study of *Saposhnikovia divaricata* roots and the development of a neuroprotective agent based on it]. — In: [Molecular and biological aspects of chemistry, pharmacy and pharmacology. Collection of abstracts of the fifth Interdisciplinary Conference]. P. 236.
https://mobi-chem.org/images/conf_papers2019.pdf#page=236 (In Russian)

12. *Urbagarova B.M., Taraskin V.V., Elisafenko T.V., Shul'ts E.E., Korolyuk E.A., Radnaeva L.D.* 2021. Contents of the main active substances in the roots of natural and introduced plant *Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk. — *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*. 3: 143–151.
<http://journal.asu.ru/cw/article/view/9152> (In Russian)
13. *Rebrov V.G., Gromova O.A.* 2008. [Vitamins, macro-and microelements]. Moscow. 960 p. (In Russian)
14. *Vizir K.L., Klimovitskaya Z.M.* 1964. [The effect of manganese on the growth and development of plants at various stages of their ontogenesis]. In: [Microelements in the life of plants, animals and humans]. Kiev. C. 29–44. (In Ukrainian)
15. *Grinkevich N.I., Borovkova L.I., Gribovskaya I.F.* 1970. The effect of trace elements on the content of alkaloids in bel-ladonna. — *Farmaciya*. 5: 41–47. (In Russian)
16. *Grinkevich N.I., Sorokina A.A.* 1983. [The role of geochemical environmental factors in the production of biologically active substances by plants]. In: [The biological role of trace elements]. Moscow: pp. 187–193. (In Russian)
17. *Nemereshina O.N., Gusev N.F.* 2006. On the question of the content of trace elements in the raw materials of promising types of medicinal plants of the southern Urals. — *Vestnik of the Orenburg State University*. 12S(62): 167–168.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19045540> (In Russian)
18. *Banshchikova E.A., Vakhnina I.L., Zhelibo T.V.* 2020. *Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischkin in the steppes of south-eastern Transbaikalia. — *Problems of botany in Southern Siberia and Mongolia*. 19(1): 87–92.
<https://doi.org/10.14258/pbssm.2020018> (In Russian)
19. *Votkevich G. V., Kokin A.V.* 1990. [Handbook of Geochemistry]. Moscow. 480 p. (In Russian)
20. *Ivanov V.V.* 1994. [Ecological geochemistry of elements: handbook. Vol. 1 s-elements]. Moscow. 304 p. (In Russian)
21. *Perelman A.I.* 1975. [Geochemistry of the landscape]. Moscow. 342 p. (In Russian)
22. *Ivanov V.V.* 1995. [Ecological geochemistry of elements: handbook: Vol. 4. Main d-elements]. Moscow. 416 p. (In Russian)
23. *Kashin V.K.* 2009. Vitally important microelements in Transbaikalian herbs. — *Chemistry for sustainable development*. 17(4): 371–381. (In Russian)
https://sibran.ru/upload/iblock/8a0/vitally_necessary_microelements_in_herbs_in_transbaikalia.pdf
24. *Ivanov V.V.* 1994. [Ecological geochemistry of elements: handbook. Vol. 2: Main p-elements.] Moscow. 303 p. (In Russian)
25. *Ivanov V.V.* 1997. [Ecological geochemistry of elements: handbook. Vol 5: Rare d=elements]. Moscow. 576 p. (In Russian)
26. *Sosorova S.B.* 2009. Cobalt in soils and plants of the Selenga River delta. — *Eurasian Soil Science*. 42(7): 750–756.
<https://doi.org/10.1134/S1064229309070059>
27. *Ivanov V.V.* 1996. [Ecological geochemistry of elements: handbook. Vol 3: Rare p-elements]. Moscow. 352 p. (In Russian)
28. *Kashin V.K.* 2011. Conditionally essential microelements in medicinal herbs of Transbaikalia. — *Chemistry for sustainable development*. 19(3): 237–244.
https://sibran.ru/upload/iblock/6c7/conditionally_essential_microelements_in_the_medicinal_herbs_of_transbaikalia_.pdf
29. *Kabata -Pendias A., Pendias H.* 1989. Trace elements in soils and plants. Transl. from English. Moscow. 440 p. (In Russian)
30. *Sosorova S.B., Kashin V.K.* 2008. Nickel in soils and plants of the Selenga River delta. — *Plodородiye*. 6(45): 46–47.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12799755> (In Russian)
31. *Kashin V.K.* 2005. Vanadium in plants of the Transbaikalia. — *Agrochemistry*. 3: 67–73.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9136373> (In Russian)
32. *Kashin V.K.* 2011. Barium in plants of the Transbaikalia. — *Agrochemistry*. 1: 56–66.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15612792> (In Russian)
33. *Kashin V.K.* 2012. Toxic microelements in medicinal plants of the Transbaikalia. — *Agrochemistry*. 11: 78–81.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18128188> (In Russian)
34. *OFS. 1.5.3.0009.15* Determination of the content of heavy metals and arsenic in medicinal plant raw materials and medicinal plant preparations. Pharmacopoeia.ru - site about registration of drugs in Russian Federation and EAEU (CIS).
<https://pharmacopoeia.ru/of-1-5-3-0009-15> (In Russian)
35. *Solodukhina M.A.* 2012. About the content of arsenic in some medicinal plants of the Zabaikalsky Krai. — *Modern problems of science and education*. 6.
<https://science-education.ru/ru/article/view?id=7576> (In Russian)
36. *Kashin V.K., Ivanov G.M.* 2009. Mercury in plants of the Transbaikalia. — *Agrochemistry*. 3: 71–75. (In Russian)
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11734461>
37. *Ivanov V.V.* 1997. [Ecological geochemistry of elements: handbook. Vol 6: Rare f-elements]. Moscow. 607 p. (In Russian)