

УДК 581.192.1

НАКОПЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫМИ РАСТЕНИЯМИ В НЕРЧИНСКОЙ СТЕПИ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

© *В.П. Макаров**, *В.С. Ларин*, *Н.Ю. Михеева*, *М.А. Солодухина*, *О.Ф. Малых*, *Е.А. Банищикова*, *Т.В. Желибо*

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН,
ул. Недорезова, 16а, Чита, 672014 (Россия), e-mail: vm2853@mail.ru*

В Забайкальском крае произрастает ряд ценных лекарственных растений, однако недостаточно информации о содержанию в них химических элементов, в том числе жизненно необходимых и токсичных. Целью работы было исследовать содержание химических элементов в лекарственных растениях в одном из районов Забайкальского края. Исследована концентрация 43 химических элементов в корнях сапожниковии растопыренной (*Saposhnikoviadivaricata*), пиона молочноцветкового (*Paeonialactiflora*) и вздутоплодника сибирского (*Phlojodicarpussibiricus*), произрастающих в Нерчинской степи (Восточное Забайкалье). На участках произрастания растений отбирались образцы почвы для анализа гранулометрического состава, pH, содержания подвижных форм N, P, K и ряда микроэлементов. Отмечали экологические условия местообитания: высоту над уровнем моря, экспозицию и крутизну склона, тип и флористический состав растительного сообщества. Корни растений после освобождения от земли помещались в тканевые мешки и подсушивались. На каждом участке отбирался смешанный образец из 5–15 корней, в зависимости от массы корня. Химический анализ почвы и растений был выполнен в сертифицированных лабораториях Костромы и Хабаровска.

В корнях растений выявлена высокая относительно кларка наземных растений концентрация Ti, Cr, Sc, La, Ce, Li, Nb и ряда других элементов и относительно низкое содержание Mn, Tl, Se, Cd и других элементов. Концентрация токсичных элементов Pb, Cd и Hg не превышала ПДК в растительном сырье, а накопление As превышало ПДК в растительном сырье в 2–3 раза.

Проведенные исследования в указанном районе проведены впервые, они позволяют судить о качестве растительного сырья и в дальнейшем сравнить полученные результаты с другими районами произрастания растений.

Ключевые слова: химические элементы, лекарственные растения, *Saposhnikovia divaricata*, *Paeonia lactiflora*, *Phlojodicarpus sibiricus*.

Введение

В Забайкальском крае произрастает ряд ценных лекарственных растений, представляющих интерес для использования в медицине. К таким растениям относятся сапожниковия растопыренная

Макаров Владимир Петрович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: vm2853@mail.ru

Ларин Вячеслав Сергеевич – младший научный сотрудник, e-mail: slaventi13@mail.ru

Михеева Наталья Юрьевна – научный сотрудник, e-mail: natastep6565@mail.ru

Солодухина Мария Анатольевна – кандидат географических наук, научный сотрудник, e-mail: mabn@ya.ru

Малых Ольга Федоровна – научный сотрудник, e-mail: mas160@yandex.ru

Банищикова Екатерина Анатольевна – младший научный сотрудник, e-mail: kait1986@mail.ru

Желибо Татьяна Витальевна – аспирант, e-mail: zhelibo@mail.ru

(*Saposhnikoviadivaricata* (Turcz.) Schischk.), семейство *Apiaceae*, пион молочноцветковый (*Paeonialactiflora* Pall.), семейство *Paeoniaceae* вздутоплодник сибирский (*Phlojodicarpussibiricus* (StephanexSpreng.) Koso-Pol), семейство *Apiaceae*.

Сапожниковия растопыренная в Китае используется для лечения ревматизма и аллергического ринита. Сушеный корень используется для лечения иммунной и нервной систем, респираторных заболеваний. Соединения растения проявляют значительную противовоспалительную, анальгезирующую, антиоксидантную, антипролиферативную, противоопухолевую и иммунорегуляторную активность [1–7].

* Автор, с которым следует вести переписку.

Исследование растения в Бурятии выявило наличие хромонов, кумаринов, эфирных масел, флавоноидов, дубильных веществ, жирных кислот, полиацетиленовых соединений, витамина Е, полисахаридов. Показано, что сапожниковия растопыренная является ценным источником хромонов – димифугина, гамаудола и их гликозидов [8] и обладает нейропротекторными свойствами [9].

Пион молочнокветковый широко применяют в китайской медицине в качестве болеутоляющего, противогриппозного, противосудорожного, спазмолитического, противовоспалительного и нормализующего кровяное давление средства [10–13]. Выявлено антикоагулянтное действие растения [14–16]. В современной научной медицине настойка травы назначается как седативное, противосудорожное средство. Пеонифлорин – гликозид пиона оказывает нейропротективное воздействие, предупреждает поражение нервной ткани при модели болезни Паркинсона, предупреждает поражение нервной ткани, возникновение когнитивных нарушений [17].

Вздутоплодник сибирский является фармакопейным растением. В медицинской практике используются корневища и корни вздутоплодника сибирского для производства препарата фловерин. Фармакологическое действие корневищ и корней вздутоплодника сибирского определяют пиранокумарины – дигидросамадин и виснадин, которые расширяют периферические сосуды и оказывают выраженное спазмолитическое действие при спазмах гладкой мускулатуры кишечника. Установлена высокая антирадикальная активность исследованных эфирных масел вздутоплодника сибирского [18, 19]. Препараты вздутоплодника оказывают анксиолитическое и антиамнестическое действие, проявляют мембраностабилизирующий эффект [20, 21], а также влияют на повреждение эритроцитов и агрегацию тромбоцитов [22, 23].

Полезные свойства лекарственных растений во многом связаны с содержанием в их составе макро- и микроэлементов, играющих важную роль в жизнедеятельности живых организмов. Одна из причин положительного эффекта применения лекарственных растений в лечении человека и животных связана с наличием в их составе макро- и микроэлементов в наиболее доступной и усвояемой форме и в составе соединений, свойственных живой природе. Накопление макро- и микроэлементов в лекарственных растениях во многом зависит от экологических условий местообитания [24, 25]. Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами приводит к накоплению их в лекарственных растениях.

В Китае (Внутренняя Монголия) среднее содержание химических элементов в корнях растения находилось в следующей последовательности: $Ca > K > P > Mg > Fe > Zn > Mn > Cu$. Установлено, что концентрации пaeонифлорина, катехина и бензойной кислоты коррелируют с содержанием Fe, Mn, Mg и P. Сделан вывод, что концентрации активных ингредиентов в корнях *P. lactiflora* могут быть изменены путем регулирования уровня минеральных элементов в корнях для получения сырья нужного качества [26].

В Китае были также исследованы концентрации химических элементов в дикорастущей сапожниковии растопыренной и ее ризосферной почве и оценено влияние ризосферной почвы на эти минералы в растениях. Результаты показали, что средние концентрации элементов в образцах растений уменьшались в порядке: $Ca > M > Na > K > Fe > Zn > Mn > Cu$, а в образцах почвы следовали следующему порядку: $Na > Fe > Ca > K > Mg > Mn > Zn > Cu$. Средние концентрации Ca, Na, Mg и K в растениях были выше, чем в почвах, в то время как более высокие средние концентрации остальных четырех минералов были обнаружены в почвах [27].

Территория Забайкалья характеризуется богатой минерально-сырьевой базой и длительной историей развития горнорудного комплекса. Результатом действия природных и техногенных факторов на поверхности земной коры являются биогеохимические провинции и районы. Это приводит к воздействию химических элементов и их соединений на экосистемы, и часто, к сильному загрязнению окружающей среды токсичными веществами. Вблизи месторождений полезных ископаемых, а также и фоновых участках, концентрация в растениях токсичных элементов может быть выше предельно допустимых концентраций. Поэтому знание состава и концентрации химических элементов в растениях имеет большое значение для заготовки и использования лекарственных растений.

Цель настоящих исследований – выяснить концентрацию химических элементов в упомянутых выше растениях в одном из регионов Забайкальского края.

Экспериментальная часть

Исследование растений проведены в Чернышевском, Шилкинском и Нерчинском районах Забайкальского края в третьей декаде августа 2020 года. Исследованные растения находились в фазе плодоношения (созревания семян). Административные районы находятся в составе природной территории

Нерчинская степь. Это северный достаточно изолированный крупный степной массив в Забайкалье, расположенный между нижними течениями рек Нерча и Куэнга и ограниченный с юга р. Шилка.

Основными степными растительными группировками являются пижмовые (*Filifolium sibiricum* (L.) Kitam.), злаково-разнотравные, разнотравно-злаковые и вострцовые (*Leymus chinensis* (Trin.) Tzvelev). Для степных территорий Нерчинской котловины характерны лугово-черноземные мерзлотные, черноземно-луговые мерзлотные, лугово-мерзлотные, в наиболее сухих придолинных частях – черноземные почвы [28].

Исследования лекарственных растений проведены на ключевых участках. Фиксировались географические координаты, высота над уровнем моря, экспозиция и крутизна склона, тип и флористический состав растительного сообщества (табл. 1).

На месте произрастания растений отбирались образцы почвы для характеристики гранулометрического состава, pH, содержания общего азота, подвижных форм N, P, K, а также Pb, As, Hg, Cd, Zn, Cu, Cr. Отбор почвы проводился согласно ГОСТ Р 58595-2019. Корни растений выкапывали, освобождали от земли и помещали в тканевые мешки для подсушки и хранения. На каждой пробной площади получали смешанный образец из 5–10 растений в зависимости от массы корней. В лабораторных условиях корни и наиболее запыленные части растений промывали сначала струей проточной воды, а затем дистиллированной и высушивали до воздушно-сухого состояния. Затем измельчались до однородного состояния.

Химический анализ почвы проведен в ФГБУ (Федеральном государственном бюджетном учреждении) государственной станции агрохимической службы «Костромская» принятыми в агротехнической службе методами. Концентрацию химических элементов в растительных образцах определяли в Институте тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина на масс-спектрометре ICP-MSElan 9000 (Канада) (ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98 Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом ИСП-МС).

Обсуждение результатов

Химический состав почв

Гранулометрический состав почв мест произрастания растений на большинстве ключевых участков средний суглинок. На единичных местообитаниях растений встречались песчаные (№1) и супесчаные почвы (№2, 16). Кислотность почвы близка к нейтральной и нейтральная (pH солевой вытяжки равна 5.6–6.7). Содержание общего азота в почвах очень низкое (0.02–0.05%). Обеспеченность почвы подвижным фосфором характеризуются значительными различиями – от очень низкого до высокого уровня. Обеспеченность почвы подвижным калием варьирует в пределах от среднего до очень высокого значения. Содержание в почве Hg, Pb, Zn, Cu и Cr не превышает предельно допустимые концентрации химических веществ в почве (гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06). Отличается в этом отношении As. В ряде мест произрастания растений (п.п. №2, 4, 5, 18) содержание As в почве больше в 1.1–1.5 раза ПДК (табл. 2).

Химический состав растений

Жизненно необходимые элементы. В неорганических веществах организма человека обязательно присутствуют 22 химических элемента: Ca, P, O, Na, Mg, S, B, Cl, K, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cr, Si, I, F, Se. Микроэлементы называют жизненно необходимыми, если при их отсутствии или недостатке нарушается нормальная жизнедеятельность организма. При малом поступлении данного элемента организму наносится существенный ущерб. В основном это объясняется снижением активности ферментов, в состав которых входит данный элемент. При повышении дозы элемента ответная реакция возрастает и достигает нормы. При дальнейшем увеличении дозы проявляется токсическое действие избытка данного элемента, в результате чего не исключается и летальный исход [29].

Макроэлементы. Содержание макроэлементов в корнях сапожниковии растопыренной находилось в следующей последовательности: $K > Ca > Mg > Fe > P > Na$; в корнях пиона молочноцветкового и вздутоплодника сибирского соответственно: $Ca > K > P > Mg > Fe > Na$ и $K > Ca > Fe > P > Mg > Na$. Концентрация Fe в растениях превышала кларк наземных растений в 8–18 раз, в особенности в корнях вздутоплодника сибирского (2524 ± 438 мг/кг). Концентрация других элементов кроме P в пионе и вздутоплоднике была ниже кларка наземных растений (табл. 3).

Исследования пиона молочноцветкового, проведенные в Южно-Уральском ботаническом саду-институте показали близкое содержание K в корне – 7000 мг/кг, Ca в 7 раз больше – 91000 мг/кг, Fe в 2 раза меньше – 656.6 мг/кг, фосфора в 10 раз больше – 22000 мг/кг, Na в 28 раз больше – 14000 мг/кг [31]. Это свидетельствует о влиянии внешних условий на накопление химических элементов.

Таблица 1. Характеристика местопроизрастания лекарственных растений

Название растений	Номер пробной площади	Географические координаты, °	Высота над уровнем моря, м	Экспозиция и крутизна склона, °	Растительное сообщество
Сапожниковия растопыренная	1	N:52.440 E:117.038	541	южный, 5	степь разнотравно-злаковая
	9	N:52.261; E:116.327	585	западный, 5,	степь разнотравно-злаковая
	13	N:51.789 E:115.766	659	северный, 5	степь разнотравно-злаковая
	17	N:51.732 E:114.716	635	юго-восточный, 5	залежь (30 лет)
	18	N:51.688 E:114.630	688	восточный, 5	залежь (30 лет)
Пион молочноцветковый	2	N:52.374 E:117.193	752	южный, 10	луг разнотравный, остепненный
	6	N:52.031 E:116.858	594	южный, 5	степь разнотравная
	4	N:52.265 E:117.715	528	южный, 10	луг разнотравный
Вздутоплодник сибирский	5	N:52.029 E:116.869	684	западный, 10	степь разнотравно-злаковая
	16	N:51.802 E:115.424	731	южный, 5	степь разнотравная

Таблица 2. Химический состав почв

Показатель	ПДК почвы, мг/кг ³	Сапожниковия растопыренная				Пион молочноцветковый			Вздутоплодник сибирский	
		Номер пробной площади								
		1	9	17	18	2	4	6	5	16
pH солевой вытяжки, ед. pH	...	6.4±0.1	6.4±0.1	5.6±0.1	6.4±0.1	6.6±0.1	6.5±0.1	6.7±0.1	6.5±0.1	5.6±0.1
Общий азот, %	...	0.019	0.023	0.019	0.019	0.036	0.050	0.020	0.037	0.020
подвижный P по методу Кирсанова, мг/кг	...	25.3±	48.7±	57.1±	38.2±	72.2±	87.9±	19.9±	37.1±	165.9±
подвижный K по методу Кирсанова, мг/кг	...	8.9	9.7	11.4	7.6	14.4	17.6	7.0	7.4	33.2
Hg, мг/кг	2.1	0.022±	0.024±	0.043±	0.067±	0.029±	0.061±	0.043±	0.047±	0.024±
As, мг/кг	2.0	0.92±	0.53±	0.21±	2.2±0.7	2.9±0.9	2.2±0.7	0.77±	2.2±0.7	0.80±
Pb (подвижная форма), мкг/мл	6.0	0.28	0.16	0.06	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Cd (подвижная форма), мкг/мл	...	0.051±	0.05±	0.05±	0.05±	0.05±	0.05±	0.05±	0.05±	0.05±
Zn (подвижная форма), мкг/мл	23.0	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017
Cu (подвижная форма), мкг/мл	3.0	0.23±	0.21±	0.33±	0.33±	0.45±	0.68±	0.15±	0.14±	0.36±
Cr (подвижная форма), мкг/мл	6.0	0.08	0.08	0.12	0.12	0.16	0.24	0.05	0.05	0.13
		<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
		<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5

Таблица 3. Концентрация химических элементов в корнях лекарственных растений, мг/кг

Элемент	Кларк наземных растений, мг/кг [30]	Сапожниковия растопыренная	% к кларку	Пион молочноцветковый	% к кларку	Вздутоплодник сибирский	% к кларку
1	2	3	4	5	6	7	8
K	14000	11872±148	85	6025±552	43	6886±9	49
Ca	18000	4508±96	25	12597±569	70	4488±898	25
Mg	3200	1658±144	52	1488±436	47	1796±366	56
Fe	140	1125±239	804	1320±208	943	2524±438	1803

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8
P	2300	887±206	39	2203±169	96	2315±422	101
Na	1200	816±220	68	492±70	41	985±301	82
Ti	1.0	95±23	9500	107±4	10700	256±114	25600
Ba	14	84±10	600	61±8	436	124±21	886
Sr	26	78±5	300	163±35	627	75±10	288
Zn	100	45±2	45	21±5	21	29±4	29
Mn	630	39±6	6	32±5	5	89±5	14
B	50	19±0.4	38	14±0.5	28	20±2	40
Cu	14	14±0.9	100	8.38±4.48	60	8.04±0.13	57
Cr	0.23	13.9±5.1	6043	6.3±2.4	2739	18.8±3.9	8174
Rb	20	10.1±2.1	51	6.3±0.2	32	7.3±1.0	37
Ni	3	6.3±1.8	210	5.9±1.0	197	10.7±0.9	357
V	1.6	2.5±0.6	156	2.9±0.4	181	6.2±1.6	388
Mo	0.9	2.3±0.6	256	1.1±0.1	122	1.9±1.2	211
Ce	0.2	2.3±0.6	1150	3.3±0.1	1650	6.0±1.6	3000
Zr	0.64	1.6±0.4	250	2.6±0.7	406	1.8±0.8	281
La	0.085	1.5±0.4	1765	1.90±0.03	2235	4.8±1.9	5647
Pb	2.7	1.1±0.3	41	1.25±0.13	46	1.06±0.30	39
Li	0.1	1.01±0.17	1010	1.60±0.12	1600	1.62±0.16	1620
As	0.2	0.90±0.23	450	1.27±0.04	635	0.86±0.50	430
Y	...	0.68±0.16	...	0.93±0.09	...	1.81±0.48	...
Co	0.5	0.53±0.12	106	0.55±0.10	110	1.06±0.20	212
Pr	...	0.31±0.07	...	0.42±0.02	...	0.83±0.26	...
Sc	0.008	0.28±0.07	3500	0.47±0.15	5875	0.33±0.09	4125
Th	...	0.25±0.07	...	0.41±0.00	...	0.56±0.06	...
Ag	0.06	0.24±0.13	400	0.16±0.12	267	0.025±0.005	42
Cs	0.2	0.23±0.05	115	0.47±0.15	235	0.33±0.09	165
Nb	0.02	0.18±0.06	900	0.25±0.02	1250	0.55±0.13	2750
Sn	0.3	0.16±0.03	53	0.46±0.40	153	0.19±0.05	63
Cd	0.6	0.12±0.03	20	0.16±0.11	27	0.06±0.02	10
W	0.07	0.11±0.03	157	0.14±0.04	200	0.19±0.09	271
Bi	0.06	0.11±0.06	183	0.08±0.07	133	0.001±0.000	2
Be	0.1	0.078±0.020	78	0.11±0.00	110	0.11±0.00	110
U	0.038	0.06±0.01	158	0.08±0.00	211	0.11±0.01	289
Sb	0.06	0.05±0.01	83	0.11±0.02	183	0.05±0.03	83
Se	0.2	0.024±0.005	12	0.02±0.01	10	0.006±0.005	3
Hg	0.015	0.009±0.001	60	0.02±0.01	133	0.02±0.01	133
Tl	0.01–0.1	0.005±0.002	9	0.001±0.000	2	0.001±0.000	2
Ta	...	0.004±0.002	...	0.001±0.000	...	0.06±0.03	...

Микроэлементы. В корнях растений исследовано накопление 7 жизненно необходимых микроэлементов. В корнях сапожниковии растопыренной жизненно необходимые микроэлементы находились в следующей последовательности: Zn > Mn > Cu > Cr > Mo > Co > Se, в корнях пиона молочноцветкового и вздутоплодника сибирского в следующем порядке соответственно: Mn > Zn > Cu > Cr > Mo > Co > Se и Mn > Zn > Cr > Cu > Mo > Co > Se. Превышали кларк наземных растений концентрации в корнях растениях Cr, Mo и, незначительно, Co. Ниже кларка накопление в корнях растений Zn, Cu, особенно, Se и Mn (табл. 3).

Исследования пиона молочноцветкового, проведенные в Южно-Уральском ботаническом саду-институте показали содержание Mn в корне в 14 раз больше – 441.5 мг/кг, близкое содержание Zn – 16.2 мг/кг, близкое содержание Cu– 13.4 мг/кг [31].

На фармакопейных участках Всероссийского института лекарственных и ароматических растений в корнях вздутоплодника сибирского обнаружено 27 мг/кг меди. Коэффициент биологического накопления составил 1.86. Установлено стимулирующее влияние Cu на образование и накопление алкалоидов основных структурных типов – производных хинолизидина, изохинолина, тропана и индола [32].

Условно жизненно необходимые элементы. К условно необходимым микроэлементам относятся те их них, жизненная 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 концентрация элементов находилась в порядке: $Ti > B > Ni > V > Li$. Концентрация всех элементов, кроме В, больше кларка наземных растений (табл. 3).

Токсичные микроэлементы. К токсичным микроэлементам относят те, биологическое значение которых достоверно не установлено, а повышенные концентрации оказывают негативное действие. Механизм токсического действия тяжелых металлов на живые организмы заключается в их взаимодействии с SH- группами белковых макромолекул. Прочные комплексы с аминокислотами и другими молекулами, содержащими концевые тиогруппы, образуют ионы непереходных металлов: Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} , CH_3Hg^+ . По этой причине ионы свинца, кадмия и ртути относят к тиоловым ядам наряду с экотоксикантами органической природы, способным алкилировать SH-группу. Другие тяжелые металлы и их токсичные соединения тоже ингибируют ферменты посредством взаимодействия с тиогруппами белков [33]. ПДК в растительном сырье Pb не должно превышать 6.0, Cd – 1.0, Hg – 0.1, As – 0.5 мг/кг (ОФС.1.5.3.0009.15).

В корнях растений исследовано накопление 11 токсичных микроэлементов. В корнях сапожниковии растопыренной они находились в следующей последовательности: $Ba > Sr > Pb > As > Cd > Bi > Be > U > Sb > Hg > Tl$, в корнях пиона молочноцветкового и вздутоплодника сибирского в следующем порядке соответственно: $Sr > Ba > As > Pb > Cd > Be > Sb > Bi > U > Hg > Tl$ и $Ba > Sr > Pb > As > Be > U > Cd > Sb > Hg > Bi > Tl$.

Концентрация в корнях растений Ba, Sr, As и U значительно больше кларка наземных растений. Меньше кларка находится в сырьевой массе содержание Pb, Tl, Cd. Концентрация Bi в корнях вздутоплодника значительно меньше кларка, в то же время содержание элемента в корнях сапожниковии и пиона больше кларка. Также по отношению кларку различное накопление в растениях Be и Hg. Накопление в корнях растений As превышает ПДК в 1.7–2.5 раза (табл. 3).

Недостаточно изученные элементы. В корнях растений исследовано накопление 14 таких микроэлементов. Микроэлементы в корнях сапожниковии растопыренной находились в следующей последовательности: $Rb > Ce > Zr > La > Y > Pr > Sc > Th > Ag > Cs > Nb > Sn > W > Ta$, в корнях пиона молочноцветкового и вздутоплодника сибирского в ином порядке, соответственно: $Rb > Ce > Zr > La > Y > Sc > Cs > Sn > Pr > Th > Nb > Ag > W > Ta$ и $Rb > Ce > La > Y > Zr > Pr > Th > Nb > Sc > Cs > Sn > W > Ta > Ag$. Концентрации в корнях исследованных растений большинства элементов превышают кларки наземных растений. Меньше кларка накапливается в растениях только Rb, Sn и Ag в корнях вздутоплодника сибирского (табл. 3).

Выводы

Сапожниковия растопыренная характеризуется относительно других исследованных растений максимальным содержанием в корнях K, минимальным накоплением P, U, Hg, Pr, Th, Ce, Li.

В корнях сапожниковии растопыренной концентрации химических элементов относительно кларка наземных растений находится в следующей последовательности: $Ti > Cr > Sc > La > Ce > Li > Nb > Fe > Ba > As > Ag > Sr > Mo > Zr > Ni > Bi > U > W > V > Cs > Co >$ кларк $< Cu < K < Sb < Be < Na < Hg < Sn < Mg < Rb < Zn < Pb < P < B < Ca < Cd < Se < Tl < Mn$.

Корни пиона молочноцветкового характеризуется относительно большим содержанием Cu, Sr, Sb, и минимальным накоплением B и Cr.

В корнях пиона молочноцветкового концентрация химических элементов относительно кларка наземных растений находится в следующей последовательности: $Ti > Sc > Cr > La > Ce > Li > Nb > Fe > As > Sr > Ba > Zr > Ag > Cs > U > W > Ni > Sb > V > Sn > Bi > Hg > Mo > Co > Be >$ кларк $< P < Ca < Cu < Mg < Pb < K < Na < Rb < B < Cd < Zn < Se < Mn < Tl$.

Корни вздутоплодника сибирского характеризуется наибольшим накоплением Fe, Ti, Ba, Mn, Ni, V, Ce, La, Y, Co, Pr, Th, Nb, U и Ta и минимальным содержанием Se и Ag.

В корнях вздутоплодника сибирского концентрации химических элементов относительно кларка наземных растений находится в следующей последовательности: $Ti > Cr > La > Sc > Ce > Nb > Fe > Li > Ba > As > V > Ni > U > Sr > Zr > W > Co > Mo > Cs > Hg > Be >$ кларк $< P < Sb < Na < Sn < Cu < Mg < K < Ag < B < Pb < Rb < Zn < Ca < Mn < Cd < Se < Bi < Tl$.

Концентрация в корнях исследованных лекарственных растений жизненно необходимых элементов K, Ca, Mg, Na, Zn, и особенно Mn, Se меньше кларка наземных растений.

Концентрация в корнях лекарственных растений жизненно необходимых элементов Fe, Co, Mo и особенно Cr выше кларка наземных растений.

Концентрация Cu в сапожниковии растопыренной равна кларку наземных растений, а в корнях пиона молочнокветкового и вздутоплодника сибирского этого элемента находится в 2 раза меньше кларка.

Концентрация P в корнях сапожниковии в 2.6 меньше раза кларка наземных растений, а накопление элемента в корнях пиона молочнокветкового и вздутоплодника сибирского близко кларку наземных растений.

Концентрация в корнях исследованных растений Pb, Cd и Hg не превышает ПДК в лекарственном сырье. Концентрация в растениях As превышает ПДК в лекарственном сырье в 4–6 раз.

Список литературы

1. Цэрэнсоном Г., Нямбаяр Х., Доржсурэн Н., Чултэмсурэн Е., Соодой Ч., Готов Ч. Влияние растительного препарата сапожниковии растопыренной (*Saposhnikoviadivarucata* (Turcz.)Schiskin) на вызванное коллагеном воспаление суставов в эксперименте // Сибирский медицинский журнал. 2015. Т. 132. №1. С. 106–108.
2. Kim C.W., Sung J.H., Kwon J.E., Ryu H.Y., Song K.S., Lee J.K., Lee S.R., Kang S.C. Toxicological evaluation of saposhnikoviae radix water extract and its antihyperuricemic potential // Toxicol Res. 2019. Vol. 35. N4. Pp. 371–387. DOI: 10.5487/TR. 35.4.371.
3. Okuyama E., Hasegawa T., Matsushita T., Fujimoto H., Ishibashi M., Yamazaki M. Analgesic components of saposhnikovia root (*Saposhnikoviadivaricata*) // Chem. Pharm. Bull. 2001. Vol. 49. N2. Pp. 154–60. DOI: 10.1248/cpb.49.154.
4. Lee D.Y., Choi G., Yoon T., Cheon M.S., Kim S.J., Yasukawa K., Yu S.Y., Kim H.K. Synergistic Effect of *Notopterygiumincisum* and *Saposhnikoviadivaricata* in the anti-inflammatory activity // Kor. J. Herbology. 2008. Vol. 23. N4. Pp. 39–44.
5. Urbagarova B.M., Taraskin V.V., Shulcts E.E., Radnaeva L.D., Anenkhonov O.A., Ganbaatar Zh., Boldanova N.B. Biologically active compounds from the lipid fraction of *Saposhnikoviadivaricata* // Chemistry of Natural Compounds. 2017. Vol. 53. N1. Pp. 138–140.
6. Matusiewicz M., Baczek K.B., Kosieradzka I., Niemiec T., Grodzik M., Szczepaniak J., Orlinska S., Weglarz Z. Effect of Juice and extracts from *Saposhnikoviadivaricata* root on the colon cancer cells Caco-2 // Int. J. Mol. Sci. 2019. Vol. 20. N18. Pp. 4526–4526. DOI: 10.3390/ijms20184526.
7. Li L., Wang X.-y., Meng H., Liu G.-r., Liu C., Dong Y.-M. In vitro and in vivo anti-allergic effects of an extract of a traditional Chinese medicine preparation // Biomedical Dermatology. 2017. Vol. 1. N5. Pp. 2–6. DOI: 10.1186/s41702-017-0005-4.
8. Урбагарова Б.М. Фармакологическое исследование сапожниковии растопыренной (*Saposhnikovia divarucata* (Turcz.) Schiskin) корней и разработка на их основе экстракта сухого: дис. ... канд. фарм. наук. Улан-Удэ, 2019. 162 с.
9. Урбагарова Б.М. Фармакологическое исследование сапожниковии растопыренной корней и разработка на его основе нейропротекторного средства // Молекулярные и биологические аспекты химии, фармацевтики и фармакологии: сборник тезисов докладов пятой Междисциплинарной конференции. 2019. С. 236.
10. Ho J.-Y., Chang H.-W., Liu C.-J., Hsieh C.-F., Horng J.-T., Lin C.-F. Characterization of the anti-influenza activity of the chinese herbal plant *Paeonialactiflora* // Viruses. 2014. Vol. 6. N4. Pp. 1861–1875. DOI: 10.3390/v6041861.
11. Shi Y.-H., Zhu S., Ge Y.-W., He Y.-M., Komatsu K., Kazuma K., Wang Z., Yoshimatsu K. Monoterpene derivatives with anti-allergic activity from red peony root, the root of *Paeonialactiflora* // Fitoterapia. 2016. Vol. 108. Pp. 55–61. DOI: 10.1016/j.fitote.2015.11.011.
12. Fu Q., Yuan H.M., Yu T., Song Y., Zou L. Paeonidanins F-H: three new dimeric monoterpene glycosides from *Paeonialactiflora* and their anti-inflammatory activity // Phytochemistry Letters. 2015. Vol. 13. Pp. 386–389. DOI: 10.1016/j.phytol.2015.08.003.
13. Kamiya K., Yoshioka K., Saiki Y., Ikuta A., Satake T. Triterpenoids and flavonoids from *Paeonialactiflora* // Phytochemistry. 1997. Vol. 44. N1. Pp. 141–144.
14. Ляпина М.Г., Успенская М.С., Майстренко Е.С. О механизме антикоагулянтного действия экстракта из корней пиона молочнокветкового // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. №11. С. 1091–1093.
15. Ngan L.T.M., Moon J.K., Kim J.H. et al. Growth-inhibiting effects of *Paeonialactiflora* root steam distillate constituents and structurally related compounds on human intestinal bacteria // World J. Microbiol. Biotechnol. 2012. Vol. 28. Pp. 1575–1583. DOI: 10.1007/s11274-011-0961-6.
16. Shi H., Hou C., Gu L. et al. Investigation of the protective effect of *Paeonialactiflora* on Semen *Strychni*-induced neurotoxicity based on monitoring nine potential neurotoxicity biomarkers in rat serum and brain tissue // Metab Brain Dis. 2017. Vol. 32. Pp. 133–145. DOI: 10.1007/s11011-016-9894-y.
17. Муродова М.М., Кароматов И.Д. Лекарственное растение – Пион лекарственный, уклоняющий // Биология и интегративная медицина. 2018. №4 (21). С. 130–146.
18. Тараскин В.В., Полонова А.В., Гуляев С.М., Дыленова Е.П., Николаев Ю.Н., Тыхеев Ж.А., Урбагарова Б.М. Сравнительное исследование состава эфирного масла *Phlojodicarpussibiricus* (*StephanexSpreng.*) Koso-Pol. Из

- Восточного Прибайкалья и его антирадикальная активность // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2019. Т. 22. №12. С. 38–43.
19. Воронов И.В., Филиппова Г.В., Дарханова В.Г., Строева Н.С., Федоров И.А., Прокопьев И.А. Антирадикальная и антиоксидантная активность экстрактов трех видов лекарственных растений и ряски малой // Природные ресурсы Арктики и субарктики. 2019. Т. 24. №4. С. 127–135.
 20. Гуляев С.М., Николаев С.М. Анксиолитическое действие экстракта настойки вздутоплодника сибирского (*Phlojodicarpussibiricus*) // Дальневосточный медицинский журнал. 2010. №1. С. 100–102.
 21. Урбанова Е.З., Гуляев С.М., Николаев С.М., Туртуева Т.А. Мембраностабилизирующий эффект экстракта *Phlojodicarpussibiricus* // Сибирский медицинский журнал. 2013. Т. 123. №8. С. 104–105.
 22. Урбанова Е.З., Гуляев С.М., Туртуева Т.А. Защитный эффект экстракта *Phlojodicarpussibiricus* против перекисного и осмотического повреждений эритроцитов // Журнал научных статей Здоровье и образование в XXI веке. 2014. Т. 16. №3. С. 38–40.
 23. Гуляев С.М., Николаев С.М., Урбанова Е.З. Влияние экстракта *Phlojodicarpussibiricus* на агрегацию тромбоцитов, длительность кровотечения и артериальный тромбоз // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2015. №1. С. 125–219.
 24. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989. 439 с.
 25. Ильин Б.И. Тяжелые металлы в системе почва – растения. Новосибирск, 1991. 151 с.
 26. Li Z., Liu D., Zhan L. et al. Mineral elements and active ingredients in root of wild *Paeonialactiflora* growing at Duolun county, Inner Mongolia // Biol. Trace. Elem. Res. 2020. Vol. 193. Pp. 548–554. DOI: 10.1007/s12011-019-01725-3.
 27. Sun J.B., Gao Y.G., Zang P. et al. Mineral elements in root of wild *Saposhnikoviadivaricata* and its rhizosphere soil // Biol. Trace. Elem. Res. 2013. Vol. 153. Pp. 363–370. DOI: 10.1007/s12011-013-9684-x.
 28. Типы местности и природное районирование Читинской области. М., 1961. 158 с.
 29. Кукушкин Ю.Н. Химические элементы в организме человека // Соровский образовательный журнал. 1998. №5. С. 54–58.
 30. Воткевич Г.В., Кокин А.В. Справочник по геохимии. М., 1990. 480 с.
 31. Реут А.А., Денисова С.Г., Пупыкина К.А. Накопление и распределение биологически активных веществ в сырье некоторых таксонов рода *Paeonia* L. // Химия растительного сырья. 2019. №4. С. 269–278.
 32. Ловкова М.Я., Бузук Г.Н. Лекарственные растения-концентраторы и сверхконцентраторы меди и ее роль в метаболизме этих видов // Прикладная биохимия и микробиология. 2011. Т. 47. №2. С. 209–216.
 33. Петросян В.С., Шувалова Е.А. Химия окружающей среды. М., 2017. 640 с.

Поступила в редакцию 20 апреля 2021 г.

После переработки 20 ноября 2021 г.

Принята к публикации 23 ноября 2021 г.

Для цитирования: Макаров В.П., Ларин В.С., Михеева Н.Ю., Солодухина М.А., Малых О.Ф., Банщикова Е.А., Желибо Т.В. Накопление химических элементов лекарственными растениями в Нерчинской степи (Забайкальский край) // Химия растительного сырья. 2022. №1. С. 225–234. DOI: 10.14258/jcprgm.2022019466.

Makarov V.P.*, Larin V.S., Mikheeva N.Yu., Solodukhina M.A., Malykh O.F., Bانشchikova E.A., Zhelibo T.V.
ACCUMULATION OF CHEMICAL ELEMENTS BY MEDICINAL PLANTS IN THE NERCHINSK STEPPE (TRANS-BAIKAL TERRITORY)

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, ul. Nedorezova, 16a, Chita, 672014 (Russia),
e-mail: vm2853@mail.ru

A number of valuable medicinal plants will grow in the Trans-Baikal Territory, but there is not enough information on the content of chemical elements in them, including vital and toxic ones. The aim of the work was to study the content of chemical elements in medicinal plants in one of the districts of the Trans-Baikal Territory. The concentration of 43 chemical elements in the roots of *Saposhnikovia divaricata*, *Paeonia lactiflora* and *Phlojodicarpus sibiricus* growing in the Nerchinsk steppe (Eastern Transbaikalia) was studied. Soil samples were taken at the plant growth sites to analyze the granulometric composition, pH, content of mobile forms N, P, K, and a number of trace elements. The ecological conditions of the habitat were noted: the height above sea level, the exposure and steepness of the slope, the type and floral composition of the plant community. The roots of the plants, after being released from the ground, were placed in cloth bags and dried. At each site, a mixed sample of 5–15 roots was taken, depending on the weight of the root. Chemical analysis of the soil and plants was carried out in certified laboratories in Moscow. Kostroma and Khabarovsk.

In the roots of plants, the concentration of Ti, Cr, Sc, La, Ce, Li, Nb and a number of other elements was found to be high relative to the Clark of terrestrial plants, and the content of Mn, Tl, Se, Cd and other elements was relatively low. The concentration of toxic elements Pb, Cd and Hg did not exceed the MPC in the medicinal raw materials, and the accumulation of As exceeded the MPC in the medicinal raw materials by 4–6 times.

The studies conducted in this area were conducted for the first time, they allow us to judge the quality of medicinal raw materials, and in the future, to compare the results with other areas of plant growth.

Keywords: Chemical elements, medicinal plants, *Saposhnikovia divaricata*, *Paeonia lactiflora*, *Phlojodicarpus sibiricus*.

References

1. Tserensonom G., Nyambayar Kh., Dorzhsuren N., Chultemsuren Ye., Soodoy Ch., Gotov Ch. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal*, 2015, vol. 132, no. 1, pp. 106–108. (in Russ.).
2. Kim C.W., Sung J.H., Kwon J.E., Ryu H.Y., Song K.S., Lee J.K., Lee S.R., Kang S.C. *Toxicol Res.*, 2019, vol. 35, no. 4, pp. 371–387. DOI: 10.5487/TR. 35.4.371.
3. Okuyama E., Hasegawa T., Matsushita T., Fujimoto H., Ishibashi M., Yamazaki M. *Chem. Pharm. Bull.*, 2001, vol. 49, no. 2, pp. 154–60. DOI: 10.1248/cpb.49.154.
4. Lee D.Y., Choi G., Yoon T., Cheon M.S., Kim S.J., Yasukawa K., Yu S.Y., Kim H.K. *Kor. J. Herbology*, 2008, vol. 23, no. 4, pp. 39–44.
5. Urbagarova B.M., Taraskin V.V., Shulcts E.E., Radnaeva L.D., Anenkhonov O.A., Ganbaatar Zh., Boldanova N.B. *Chemistry of Natural Compounds*, 2017, vol. 53, no. 1, pp. 138–140.
6. Matusiewicz M., Baczek K.B., Kosieradzka I., Niemiec T., Grodzik M., Szczepaniak J., Orlinska S., Weglarz Z. *Int. J. Mol. Sci.*, 2019, vol. 20, no. 18, pp. 4526–4526. DOI: 10.3390/ijms20184526.
7. Li L., Wang X.-y., Meng H., Liu G.-r., Liu C., Dong Y.-M. *Biomedical Dermatology*, 2017, vol. 1, no. 5, pp. 2–6. DOI: 10.1186/s41702-017-0005-4.
8. Urbagarova B.M. *Farmakologicheskoye issledovaniye sapozhnikovii rastorpyrennoy (Saposhnikovia divarucata (Turcz.) Schiskin) korney i razrabotka na ikh osnove ekstrakta sukhogo: dis. ... kand. farm. nauk.* [Pharmacological study of the shoemaker's distorted (*Saposhnikovia divarucata* (Turcz.) Schiskin) roots and the development of a dry extract based on them: dis. ... cand. farm. Sciences]. Ulan-Ude, 2019, 162 p. (in Russ.).
9. Urbagarova B.M. *Molekulyarnyye i biologicheskiye aspekty khimii, farmatsevtiki i farmakologii. Sbornik tezisov dokladov pyatoy Mezhdistsiplinarnoy konferentsii.* [Molecular and biological aspects of chemistry, pharmaceuticals and pharmacology. Collection of Abstracts of the Fifth Interdisciplinary Conference]. 2019, p. 236. (in Russ.).
10. Ho J.-Y., Chang H.-W., Liu C.-J., Hsieh C.-F., Horng J.-T., Lin C.-F. *Viruses*, 2014, vol. 6, no. 4, pp. 1861–1875. DOI: 10.3390/v6041861.
11. Shi Y.-H., Zhu S., Ge Y.-W., He Y.-M., Komatsu K., Kazuma K., Wang Z., Yoshimatsu K. *Fitoterapia*, 2016, vol. 108, pp. 55–61. DOI: 10.1016/j.fitote.2015.11.011.
12. Fu Q., Yuan H.M., Yu T., Song Y., Zou L. *Phytochemistry Letters*, 2015, vol. 13, pp. 386–389. DOI: 10.1016/j.phytol.2015.08.003.
13. Kamiya K., Yoshioka K., Saiki Y., Ikuta A., Satake T. *Phytochemistry*, 1997, vol. 44, no. 1, pp. 141–144.
14. Lyapina M.G., Uspenskaya M.S., Maystrenko Ye.S. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2016, no. 11, pp. 1091–1093. (in Russ.).
15. Ngan L.T.M., Moon J.K., Kim J.H. et al. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 2012, vol. 28, pp. 1575–1583. DOI: 10.1007/s11274-011-0961-6.
16. Shi H., Hou C., Gu L. et al. *Metab Brain Dis.*, 2017, vol. 32, pp. 133–145. DOI: 10.1007/s11011-016-9894-y.
17. Murodova M.M., Karomatov I.D. *Biologiya i integrativnaya meditsina*, 2018, no. 4 (21), pp. 130–146. (in Russ.).
18. Taraskin V.V., Polonova A.V., Gulyayev S.M., Dylenova Ye.P., Nikolayev Yu.N., Tykheyev Zh.A., Urbagarova B.M. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii*, 2019, vol. 22, no. 12, pp. 38–43. (in Russ.).

* Corresponding author.

19. Voronov I.V., Filippova G.V., Darkhanova V.G., Stroyeva N.S., Fedorov I.A., Prokop'yev I.A. *Prirodnyye resursy Arktiki i subarktiki*, 2019, vol. 24, no. 4, pp. 127–135. (in Russ.).
20. Gulyayev S.M., Nikolayev S.M. *Dal'nevostochnyy meditsinskiy zhurnal*, 2010, no. 1, pp. 100–102. (in Russ.).
21. Urbanova Ye.Z., Gulyayev S.M., Nikolayev S.M., Turtuyeva T.A. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal*, 2013, vol. 123, no. 8, pp. 104–105. (in Russ.).
22. Urbanova Ye.Z., Gulyayev S.M., Turtuyeva T.A. *Zhurnal nauchnykh statey Zdorov'ye i obrazovaniye v XXI veke*, 2014, vol. 16, no. 3, pp. 38–40. (in Russ.).
23. Gulyayev S.M., Nikolayev S.M., Urbanova Ye.Z. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Meditsina*, 2015, no. 1, pp. 125–219. (in Russ.).
24. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh*. [Trace elements in soils and plants]. Moscow, 1989, 439 p. (in Russ.).
25. Il'in B.I. *Tyazhelyye metally v sisteme pochva – rasteniya*. [Heavy metals in the soil-plant system]. Novosibirsk, 1991, 151 p. (in Russ.).
26. Li Z., Liu D., Zhan L. et al. *Biol. Trace. Elem. Res.*, 2020, vol. 193, pp. 548–554. DOI: 10.1007/s12011-019-01725-3.
27. Sun J.B., Gao Y.G., Zang P. et al. *Biol. Trace. Elem. Res.*, 2013, vol. 153, pp. 363–370. DOI: 10.1007/s12011-013-9684-x.
28. *Tipy mestnosti i prirodnoye rayonirovaniye Chitinskoy oblasti*. [Types of terrain and natural zoning of the Chita region]. Moscow, 1961, 158 p. (in Russ.).
29. Kukushkin Yu.N. *Sorovskiy obrazovatel'nyy zhurnal*, 1998, no. 5, pp. 54–58. (in Russ.).
30. Votkevich G.V., Kokin A.V. *Spravochnik po geokhimii*. [Handbook of Geochemistry]. Moscow, 1990, 480 p. (in Russ.).
31. Reut A.A., Denisova S.G., Pupykina K.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 4, pp. 269–278. (in Russ.).
32. Lovkova M.Ya., Buzuk G.N. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2011, vol. 47, no. 2, pp. 209–216. (in Russ.).
33. Petrosyan V.S., Shuvalova Ye.A. *Khimiya okruzhayushchey sredy*. [Chemistry of the environment]. Moscow, 2017, 640 p. (in Russ.).

Received April 20, 2021

Revised November 20, 2021

Accepted November 23, 2021

For citing: Makarov V.P., Bronnikov V.V., Larin V.S., Mikheeva N.Yu., Solodukhina M.A., Malykh O.F., Banshchikova E.A., Zhelibo T.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 1, pp. 225–234. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprn.2022019466.