

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ЛИСТЬЕВ *PANAX GINSENG* (ARALIACEAE) В ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

© 2020 г. Н. С. Шихова¹, О. Л. Бурундукова^{1, *}, Г. Н. Бутовец¹,
Н. В. Зарубина², Н. В. Полякова³

¹ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

²Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

³Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

*e-mail: burundukova.olga@gmail.com

Поступила в редакцию 24.01.2020 г.

После доработки 01.03.2020 г.

Принята к публикации 10.06.2020 г.

Изучен элементный состав листьев *Panax ginseng* С.А. Меу, собранных в четырех природных популяциях Приморского края. Определено содержание в них 53 химических элементов. Самые тесные положительные корреляционные связи установлены между содержанием в листьях Са и S, Mg и Si, Fe и Sr, Mn и Ba, Ge и Y. В микроэлементном составе выделена корреляционно связанная ассоциация элементов, включающая Pb, Sb, Cd, Ni, V. Для макроэлементного состава листьев *P. ginseng* характерна достаточно высокая стабильность и слабая изменчивость в зависимости от места сбора проб. Содержание микроэлементов в листьях женьшеня подвержено большей территориальной изменчивости как в накоплении отдельных элементов, так и по сумме накапливаемых элементов растениями разных популяций. Коэффициент биологического накопления (КБН) свидетельствуют о слабом почвенном накоплении большинства элементов листьями *P. ginseng*. Лишь 4 макроэлемента (S, K, Ca, P) характеризуются сильным накоплением (КБН = 8.4–1.3), остальные элементы соответствуют элементам биологического захвата, у которых величина КБН снижается от 0.51 (Cu) до 0.002 (Al, V). Специфика элементного состава листьев *P. ginseng* выразилась в пониженном содержании Mn, Pb, V, Co и в существенном обогащении K по сравнению с количественными стандартами, рассчитанными для больших территорий.

Ключевые слова: *Panax ginseng* (женьшень настоящий), лекарственные растения, химический состав, макроэлементы, микроэлементы, КБН, природные популяции, Приморский край

DOI: 10.31857/S0033994620030073

Panax ginseng С.А. Меу. (женьшень настоящий, корень-человек) относится к сем. Araliaceae Juss. (Аралиевые). Он является реликтом третичного периода и эндемиком Маньчжурской флористической области, встречается крайне редко. Вид включен в “Красные книги” Российской Федерации и Приморского края. В “Красной книге Приморского края” *Panax ginseng* отнесен к категории 1 (CR), соответствующей видам, находящимся в критическом состоянии (на грани исчезновения) [1]. Его естественное произрастание ограничивается южными и центральными подрайонами Уссурийского флористического р-на Российского Дальнего Востока, что территориально соответствует части Приморского и Хабаровского административных краев. Он распространен также в Северо-Восточном Китае и на Корейском полуострове [2]. В Приморском крае ареал *P. ginseng* представлен

двумя основными популяциями: Сихотэ-Алинской и Надеждинско-Хасанской [3].

Подземные органы женьшеня издавна используются как очень ценное лекарственное средство – “корень жизни”. В традиционной и официальной медицине находят применение также и надземные части растений [3]. Их биохимические особенности (особенно подземной сферы) к настоящему времени изучены достаточно детально [4–7], чего нельзя сказать об элементном составе растения. Такие исследования несомненно представляют интерес как в научном (расширение знаний об этом уникальном исчезающем виде), так и в практическом плане (новые сведения по составу нормированных и ненормированных химических элементов в лекарственном сырье *P. ginseng*). Кроме того, полученные данные позволяют определить элементы-маркеры для идентификации географиче-

ской принадлежности видов, рас и популяций редких и исчезающих растений, находящихся под охраной государства.

Ранее нами были опубликованы предварительные данные по составу 10 макро- и 6 микроэлементов в листьях *P. ginseng*, собранных на территории Хасанского и Спасского р-нов Приморского края [8]. Целью настоящих исследований являлось установление специфики элементного состава листьев *P. ginseng* на примере широкого спектра химических элементов и его соответствия принятым нормативам и стандартам.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования служили листья дико-растущих растений *P. ginseng* в возрасте 17–25 лет, собранные в конце вегетативного сезона в 11 природных лесных сообществах на территории Хасанского, Спасского, Шкотовского и Чугуевского административных р-нов Приморского края. Последние три р-на по ландшафтному районированию относятся к трем физико-географическим областям Сихотэ-Алинской среднегорно-низкогорной кедрово-широколиственной провинции: Чугуевский – к Средне-Сихотэалинской среднегорной кедрово-широколиственной; Спасский – к Уссури-Синегорской (Западно-Сихотэалинской) низкогорной, кедрово-широколиственной (в предгорьях широколиственно-дубняковой); Шкотовский – к Южноприморской среднегорной, кедрово-широколиственной, с грабом и пихтой цельнолистной [9]. Хасанский р-н принадлежит Хасанской низкогорно-равнинной широколиственной области Восточно-Маньчжурской провинции.

В связи с редкостью и ценностью изучаемого вида на анализ отбирали минимально необходимое количество листьев, которые закладывали и сушили в виде гербарных образцов. Для химического анализа были использованы навески воздушно-сухих смешанных проб из 7–10 листьев. Полученный объем фитомассы листьев позволил определить содержание макроэлементов в выборке из 11, а микро- и ультрамикроэлементов – из 8 природных местообитаний (популяций) *P. ginseng*. Анализ выполнен на содержание 53 химических элементов (ХЭ).

В ряде мест произрастания женьшеня, параллельно с растениями, были взяты образцы поверхностных горизонтов почв. Элементный анализ проб выполнен методом энерго-дисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии (РФА) на анализаторе EDX 800 HS-P (Shimadzu, Япония), оснащенный родиевым катодом, в формате количественного анализа в вакуумной среде с использованием государственных стандартных образцов сравнения (ГСО 901-76, ГСО 902-76,

ГСО 903-76, ГСО 2498-83, ГСО 2499-83, ГСО 2507-83). Содержания элементов измеряли в соответствии с методикой М-02-0604-2007 в трехкратной повторности [10]. Для определения содержания К, Са, S, Mg, P, Si, Cl в листьях навеску 0.3 г (минимально допустимую) запрессовывали в таблетку-излучатель (основа – 1.5 г борной кислоты). Спектры регистрировали по времени экспозиции 100 с в каждом энергетическом канале. Расчет концентраций производили по методу фундаментальных параметров с помощью программного комплекса спектрометра. Контроль результатов выполнен по стандартному образцу травосмеси Тр-1. Содержание остальных элементов определено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) на спектрометре Agilent 7700 с (Agilent Technologies, США) после предварительного микроволнового разложения с HNO_3 . Элементный состав образцов определен с помощью оборудования Центров коллективного пользования: Дальневосточный центр структурных исследований ИХ ДВО РАН, Приморский центр локального элементного и изотопного анализа ДВГИ ДВО РАН.

Статистическая обработка полученных аналитических данных осуществлена с использованием пакета стандартных программ Microsoft Excel и STATISTICA 13.

Интенсивность накопления растениями химических элементов посредством корневого поглощения оценивалась с помощью коэффициента биологического накопления (КБН), который рассчитывается как отношение содержания элемента в растении к его содержанию в почве.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные по химическому составу листьев женьшеня, ранжированные по убыванию концентрации ХЭ, представлены в табл. 1. Ряд возглавляет Са (кальций) и завершает Lu (лютеций), уровни содержания которых соответствуют 3.7% и 0.48 мкг/кг сухого вещества листьев. Наибольшая вариабельность содержания в зависимости от условий произрастания отмечена для Cd (186%), Ni (116%), Lu (106%). Самые стабильные показатели установлены в содержании Са (19%), Sr (20%), В (21%) и Fe (23%). Обращает на себя внимание также тот факт, что большей вариабельности подвержены содержания ультрамикроэлементов, а меньшей – макроэлементов.

Корреляционный анализ элементного состава листьев *P. ginseng* был выполнен для 8 макроэлементов ($n = 11$) и 29 микроэлементов ($n = 7$). Среди макроэлементов достоверные корреляционные связи ($P < 0.05$) обнаружены между парами Са–S ($r = 0.74$), Mg–Si ($r = 0.73$), Na–Si ($r = 0.89$), Na–Mg ($r = 0.82$). Для микроэлементов анализ

Таблица 1. Содержание элементов в листьях *Panax ginseng*
Table 1. Elements content in the leaves of *Panax ginseng*

Элементы Elements	Содержание в листьях Content in leaves				Элементы Elements	Содержание в листьях Content in leaves			
	$M \pm m$	min	max	$V, \%$		$M \pm m$	min	max	$V, \%$
	% сухого вещества ($n = 11$) % dry weight ($n = 11$)				As	0.11 ± 0.02	0.06	0.24	54
K	3.66 ± 0.21	2.67	4.77	19	Sn	0.10 ± 0.02	0.04	0.17	46
Ca	2.17 ± 0.17	1.09	3.37	27	Y	0.07 ± 0.01	0.04	0.16	55
Mg	0.376 ± 0.028	0.22	0.55	25	Cs	0.048 ± 0.015	0.020	0.147	86
P	0.24 ± 0.02	0.10	0.35	29	Ga	0.04 ± 0.01	0.02	0.06	31
S	0.231 ± 0.016	0.15	0.32	23	Se	0.033 ± 0.003	0.019	0.046	25
Si	0.12 ± 0.01	0.07	0.18	29	Ge	0.030 ± 0.006	0.013	0.055	55
Cl	0.11 ± 0.02	0.04	0.27	61	Be	0.028 ± 0.007	0.007	0.062	72
Na	0.007 ± 0.001	0.004	0.010	36	Sb	0.024 ± 0.004	0.015	0.047	41
	мг/кг сухого вещества ($n = 8$) mg/kg dry weight ($n = 8$)				U	0.020 ± 0.004	0.004	0.036	54
Fe	154 ± 15	121.5	220.0	23	Tl	0.015 ± 0.004	0.005	0.032	65
Al	148 ± 18	68.1	214.3	33		мкг/кг сухого вещества ($n = 8$) µg/kg dry weight ($n = 8$)			
Sr	98 ± 7	56.5	117.0	20	Ce	340 ± 100	17.8	889.5	81
Ba	89 ± 9	45.7	128.9	31	La	250 ± 50	98.1	505.4	55
Mn	67 ± 8	39.8	103.5	33	Nd	140 ± 40	11.4	331.2	70
B	37 ± 3	30.2	53.6	21	Pr	50 ± 9	18.1	93.1	48
Zn	32 ± 7	16.6	67.2	63	Th	44 ± 12	11.7	112.8	75
Cu	13.1 ± 2.1	6.5	25.7	46	Sm	25 ± 7	1.69	58.78	71
Rb	10.6 ± 1.9	2.0	19.4	51	Gd	18 ± 5	1.04	40.98	67
Ni	2.4 ± 1.0	0.8	9.2	116	Dy	15 ± 4	0.97	36.68	72
Mo	0.99 ± 0.26	0.20	2.31	73	Er	7.3 ± 1.9	0.16	16.96	70
Pb	0.80 ± 0.18	0.27	1.94	65	Yb	5.6 ± 1.3	0.14	11.50	63
Cr	0.69 ± 0.08	0.36	1.02	31	Eu	5.4 ± 0.7	2.73	7.83	36
Li	0.61 ± 0.17	0.06	1.34	79	Tb	3.7 ± 0.9	1.24	7.41	61
V	0.22 ± 0.03	0.15	0.37	33	Ho	2.8 ± 0.6	1.22	6.15	55
W	0.16 ± 0.08	0.02	0.55	131	Te	2.6 ± 0.5	0.02	4.16	55
Cd	0.13 ± 0.09	0.02	0.75	186	Tm	0.94 ± 0.26	0.30	2.07	73
Co	0.12 ± 0.01	0.08	0.18	30	Lu	0.48 ± 0.19	0.02	1.56	106

Примечание. $M \pm m$ – среднее и стандартная ошибка среднего, min и max – предельные значения, V – коэффициент вариации, n – число проб.

$M \pm m$ – mean and error of the mean, min and max – limit values, V – coefficient of variation, n – number of samples.

показал наличие значимых положительных зависимостей в 29 случаях. Наиболее тесные связи установлены между следующими элементами: Fe–Sr ($r = 1.00$), Mn–Ba ($r = 1.00$), Ge–Y ($r = 0.99$), Ni–Cd ($r = 0.97$), Ni–B ($r = 0.94$), Ni–Sb ($r = 0.93$), Sb–Pb ($r = 0.93$). Максимальное же число достоверных связей зафиксировано у Pb (6) и Sb (5), а также у B, Ni, Cd, Tl (4). Ассоциация наиболее тесно корреляционно связанных элементов образована Pb, Sb, Cd, Ni, Tl, B, которые, вероятно, и составляют основной “каркас” микроэлементного состава листьев *P. ginseng*. Интересно также от-

метить, что единственная достоверная отрицательная зависимость в выборке микроэлементов установлена между содержанием в листьях As и Rb ($r = -0.79$). А вот для Cu, Mo, Sn и Li на данном уровне существенности не выявлено достоверных корреляционных связей не с одним из рассматриваемых микроэлементов.

Значимых корреляционных связей между содержанием макро- и микроэлементов в листьях *P. ginseng* оказалось не так много. Они установлены между Si ($r = 0.81$), Na ($r = 0.80$), Mg ($r = 0.79$), с одной стороны, и Co – с другой. Содержание Mg

Таблица 2. Географическая изменчивость макроэлементного состава листьев *Panax ginseng*
Table 2. Geographic variation of *Panax ginseng* leaves macroelement composition

Популяции Populations	n	Содержание макроэлементов, % сухого вещества Macroelement content, % of dry matter							
		Ca	K	S	Mg	Si	P	Cl	Na
Хасанская Khasan	2	3.2	1.6	0.40	0.22	0.22	0.14	0.07	–
Спасская Spassk	5	3.5	2.3	0.40	0.26	0.25	0.13	0.08	0.01
Шкотовская Shkotovsk	3	4.5	2.4	0.30	0.22	0.24	0.08	0.17	0.01
Чугуевская Chuguevsk	1	3.0	2.3	0.22	0.19	0.15	0.10	0.13	<0.01
Среднее Mean		3.6	2.1	0.30	0.22	0.21	0.11	0.12	0.01
V, %		19	17	27	12	21	23	40	27

Примечание. n – число местообитаний, V – коэффициент вариации.
 Note. n – number of habitats, V – coefficient of variation.

связано, кроме того, с содержанием Be ($r = 0.87$) и Cu ($r = 0.76$). Из других макроэлементов достоверные корреляционные зависимости обнаружены у Cl – с Zn ($r = 0.89$), у P – с Fe и Sr ($r = 0.77$), а также Li ($r = -0.79$). Корреляционным анализом установлена также отрицательная связь между содержанием в листьях женьшеня калия, с одной стороны, и Al ($r = -0.91$), Ge ($r = -0.80$), Cs ($r = -0.78$), Y ($r = -0.76$) – с другой.

Полученный фактический материал позволил в какой-то мере оценить и региональную изменчивость элементного состава листьев разных приморских популяций *P. ginseng*. Для этих целей был использован коэффициент относительной интенсивности накопления химических элементов – ОИН. Он рассчитывается как отношение содержания элемента в том, или ином объекте, к его среднему содержанию в выборке. Вариабельность макроэлементного состава листьев женьшеня оценивали по выборке из 4-х популяций, микроэлементов – из 3-х популяций. Несмотря на то, что ограниченный фактический материал, связанный с природоохранным статусом и редкостью объекта наших исследований, не смог обеспечить высокую репрезентативность сравниваемых выборок данных, однако некоторые закономерности региональной специфики этого вида были выявлены.

В частности, было установлено, что содержание макроэлементов в сравниваемых популяциях достаточно стабильно (табл. 2), изменяясь по величине коэффициента вариации от 12% (Mg) до 40% (Cl). Значения коэффициентов ОИН для 7 макроэлементов, обнаруженных в листьях приморских популяций женьшеня, и их суммарное

накопление представлены на рис. 1. Несколько бóльшая доля (16–20%) в сумме накопленных макроэлементов в Хасанской популяции приходится на P и S, в Спасской – на S, Mg и Si, в Шкотовской – на Cl и Ca, в Чугуевской – на K и Cl. Разница между максимальным (Шкотовская популяция) и минимальным (Чугуевская популяция) показателем суммарного накопления макроэлементов не превышает 1.3 раза.

Межпопуляционную изменчивость микроэлементного состава листьев *P. ginseng* оценивали по аналитическим данным, полученным для Спасской ($n = 5$), Шкотовской ($n = 2$) и Чугуевской ($n = 1$) популяций. Выяснилось, что содержание микроэлементов по сравнению с макроэлементами в листьях женьшеня подвержено значительно большей территориальной вариабельности (табл. 3). Максимальные коэффициенты вариации зафиксированы в накоплении W (113%), Be (67%), Rb (66%) и Mo (65%). Самые стабильные значения (коэффициенты вариации не превышают 8–10%) присутствуют Se, V и Sn. Суммарные величины ОИН для 29 микроэлементов в сравниваемых региональных популяциях женьшеня представлены на рис. 2. Установлено, что суммарное значение ОИН микроэлементов в листьях женьшеня Спасской популяции в 1.5 раза выше, чем в Шкотовской. Наибольший вклад в суммарное накопление элементов при этом в Спасской популяции вносят W (ОИН = 2.3), Be (1.7), Ni и Cd (1.6), Tl (1.5), менее существенно – Cu, Mo и Ga (1.4), а также Al, Mn, Ba, Rb, Co и Y (1.3). В Шкотовской популяции более активно накапливаются Rb (ОИН = 1.5), Mo (1.4) и Cs (1.3); в Чугуевской – Zn и As (ОИН = 1.7), а также U (1.3). Спасская и Шкотовская популяции оказались идентичными по харак-

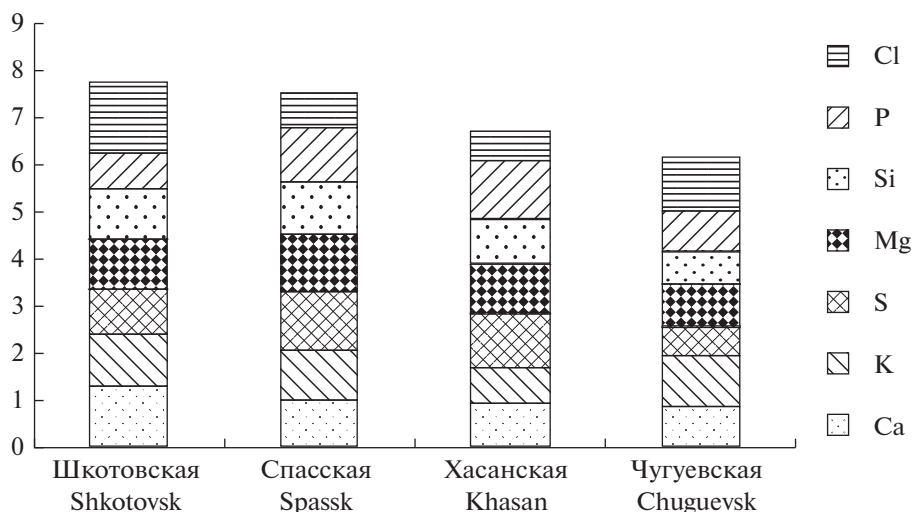


Рис. 1. Относительное накопление макроэлементов листьями *P. ginseng* в зависимости от мест произрастания. По горизонтали – региональные популяции; по вертикали – показатели относительного накопления элементов, отн. ед.
Fig. 1. Relative accumulation of major elements by leaves of *P. ginseng* from different populations. X-axis – populations; y-axis – relative accumulation of elements, arb. units.

теру накопления Rb и Mo (повышенное), Zn и As (пониженное); Спасская и Чугуевская – по Al и U (повышенное), Cs (пониженное); Шкотовская и Чугуевская – по W и Ni (пониженное). Накопление же B, V, Sn, Se было близким их средним уровням во всех сравниваемых популяциях.

Вклад почвенной составляющей в общий запас элементов в растениях и интенсивность вовлечения элементов в биологический круговорот оценивали по величине коэффициента биологического накопления (КБН). Он рассчитывался по

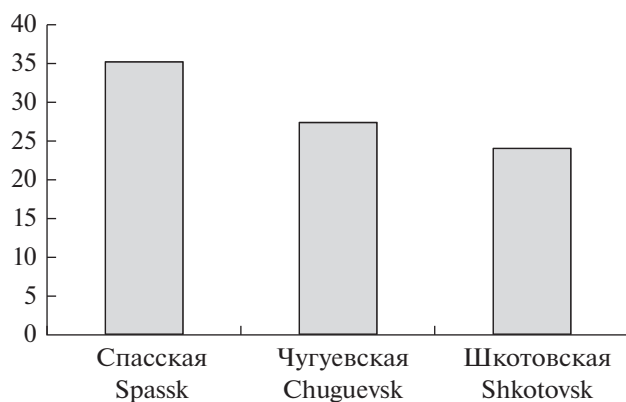


Рис. 2. Суммарное накопление микроэлементов листьями *P. ginseng* в зависимости от мест произрастания. По горизонтали – региональные популяции; по вертикали – суммарный показатель относительного накопления элементов, отн. ед.
Fig. 2. Total accumulation of trace elements by leaves of *P. ginseng* from different populations. X-axis – populations; y-axis – total accumulation of trace elements, arb. units.

средним содержаниям ХЭ в почвах и растениях Спасской, Хасанской и Шкотовской популяций женьшеня. Имеющийся фактический материал позволил определить КБН для 23 элементов, данные по некоторым из них представлены в табл. 4. Они свидетельствуют о гораздо более слабом почвенном поглощении приморских популяций *P. ginseng* всех ХЭ по сравнению с растительностью суши [11]. Максимальные отличия установлены по интенсивности накопления Co (ниже в 450 раз относительно растений суши) и Mn, Cr, Y, V, Mo (ниже в 100–200 раз). В 20–50 раз слабее приведенных литературных значений КБН поглощает женьшень из почвы также S, Fe, Ni, Si, Zn, Al, P, Rb и Na. Ранжированный ряд по интенсивности накопления ХЭ листьями *P. ginseng* возглавляет типичный макроэлемент – сера (КБН = 8.4), а заканчивают алюминий и ванадий (КБН = 0.02). Следуя концепции рядов биологического поглощения элементов А.И. Перельмана [12], средние значения КБН химических элементов листьями женьшеня позволяют выделить 4 группы элементов, отличающихся по степени их аккумуляции растениями: сильного накопления, а также среднего, слабого и очень слабого захвата (табл. 5). Лишь 4 жизненно важных макроэлемента (S, K, Ca, P) отличаются активным накоплением растениями. Большая часть рассматриваемой выборки ХЭ (83%) относится к элементам биологического захвата, для которых характерно слабое почвенное накопление листьями женьшеня. Причин такого накопления элементов растениями может быть много: физиологическая роль элементов в жизнеобеспечении растений, характер их накопления (акропетальный, базипетальный), тип на-

Таблица 3. Вариабельность микроэлементного состава листьев приморских популяций *Panax ginseng*
Table 3. Variability of microelement content in leaves of wild *Panax ginseng* populations

Элементы Elements	Содержание (мг/кг сухого вещества) Content (mg/kg dry weight)			V, %
	среднее mean (n = 3)	min	max	
Al	150	68	158	33
Fe	140	110	162	19
Sr	90	71	107	21
Mn	60	40	74	33
Ba	77	49	106	32
Zn	40	26	67	58
B	35	30	39	13
Cu	10	8	14	32
Rb	8	2	12	66
Ni	2.0	1.1	2.8	55
Mo	0.8	0.2	1.1	65
Pb	0.7	0.6	0.9	19
Cr	0.6	0.4	0.7	26
Li	0.6	0.5	0.7	19
V	0.20	0.18	0.22	9
As	0.10	0.09	0.24	60
Co	0.11	0.08	0.14	25
Sn	0.10	0.09	0.11	10
Cd	0.10	0.05	0.16	56
W	0.09	0.02	0.21	113
Y	0.06	0.04	0.08	36
Cs	0.06	0.05	0.09	30
Ga	0.04	0.03	0.05	33
Se	0.03	0.03	0.03	8
Ge	0.03	0.02	0.03	18
Be	0.02	0.01	0.03	67
Tl	0.01	0.01	0.02	44
Sb	0.002	0.002	0.003	26
U	0.002	0.001	0.002	47

Примечание. *n* – количество региональных популяций, *V* – коэффициент вариации.
 Note. *n* – number of regional populations, *V* – coefficient of variation.

копления (барьерный, безбарьерный), почвенные условия и др. Возможно, это в какой-то мере обусловлено также тем, что расчет КБН выполнен по валовым содержаниям элементов в почвах, часто малодоступным растениям.

Эколого-геохимическая специфика минерального состава растений чаще всего оценивается путем сравнения его либо с близкими видами, либо с кларковыми величинами, рассчитанными для больших территорий. Оригинальность химиче-

ского состава объекта наших исследований была установлена сопоставлением его с кларком растений суши (КРС) [11, 13], нормальным содержанием в зрелых тканях листьев (НТЛ) [14] и “референтным растением” (РР) [15]. Были использованы также рассчитанные нами по обобщенным литературным данным условно средние содержания ХЭ в листьях и надземной части лекарственных растений Российской Федерации и прилегающих территорий (РЛС) [16–30].

Таблица 4. Коэффициенты биологического накопления элементов листьями приморских популяций *Panax ginseng*
Table 4. Coefficients of biological accumulation of elements in leaves of *Panax ginseng*

Популяции Populations	Коэффициент биологического накопления Biological accumulation coefficient												
	К	Р	Ca	Mg	Na	Si	Cu	Zn	Sr	Rb	Mn	Al	Fe
Спасская Spassk	4.19	2.79	0.99	0.78	0.92	0.004	0.62	0.44	0.51	0.12	0.07	0.03	0.010
Хасанская Khasan	3.97	1.41	0.92	1.08	0.45	0.007	1.46	1.15	0.30	0.33	0.05	0.02	0.008
Шкотовская Shkotovsk	4.93	3.40	0.96	0.61	1.01	0.003	1.90	0.46	0.16	0.24	0.17	0.03	0.009
Среднее Mean	4.37	2.54	0.96	0.82	0.79	0.005	1.33	0.69	0.32	0.23	0.10	0.02	0.009
Растительность суши [11] Land vegetation [11]	10.4	57.5	14.4	5.3	1.0	0.3	2.27	11.76	3.04	0.56	6.86	0.1	0.1

Таблица 5. Ряды биологического накопления химических элементов листьями *Panax ginseng*
Table 5. Rows of biological accumulation of chemical elements by *Panax ginseng* leaves

Элементы Elements	КБН BAC	Группы по интенсивности биологического накопления элементов Levels of biological accumulation of elements
S	8.4	Сильного накопления High level of accumulation
К	2.5	
Ca	1.7	
Р	1.3	
Cu	0.51	Среднего захвата Moderate capture
Mg	0.47	
Zn	0.34	
Sr	0.27	
Ba	0.13	
Rb	0.09	
Ni	0.05	Слабого захвата Low capture
Mn	0.05	
Mo	0.04	
Pb	0.03	
Na	0.02	
Si	0.01	
Cr	0.01	
Ga	0.004	Очень слабого захвата Very low capture
Fe	0.004	
Co	0.003	
Y	0.003	
Al	0.002	
V	0.002	

Примечание. КБН – коэффициент биологического накопления
 Note. BAC – biological accumulation coefficient.

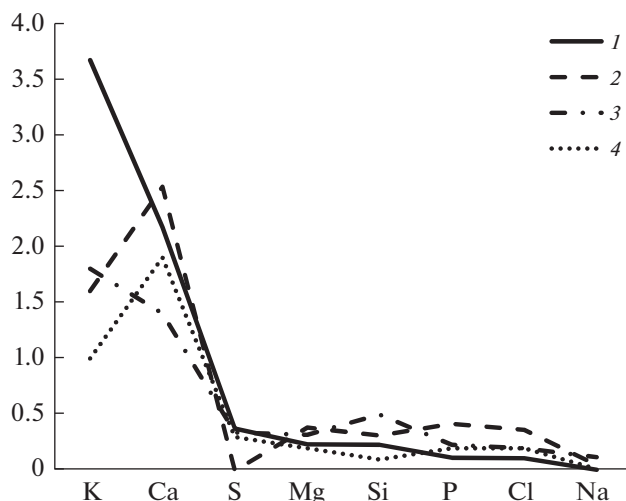


Рис. 3. Сравнительный анализ содержания макроэлементов в листьях *P. ginseng* с их кларковыми значениями и средними концентрациями в стандартных выборках растений.

По горизонтали – химические элементы; по вертикали – содержание элементов, % сухого вещества. 1 – *P. ginseng*, 2 – лекарственное растительное сырье, 3 – кларк растений суши, 4 – референтное растение.

Fig. 3. Comparative analysis of the major element content in *P. ginseng* leaves with Clarke values and average concentrations in standard plant samples.

X-axis – chemical elements; y-axis – elemental content, % d.w. 1 – *P. ginseng*, 2 – medicinal plants, 3 – Clarke value for land plants, 4 – reference plant.

Результаты сравнительного анализа листьев женьшеня со стандартными показателями представлены в виде графиков на рис. 3 и 4. Они свидетельствуют о том, что женьшень превосходит

все сравниваемые количественные стандарты лишь по содержанию К и Си. При этом содержание калия в листьях женьшеня выше РР в 3.7 раза, ЛРС – в 2.3 раза и КРС – в 2 раза. Обогащение листьев женьшеня медью менее значимо – 1.3–1.6 раз, но при этом ее концентрация соответствует норме для зрелых тканей листьев (НТЛ). Установлено также, что содержание Ni и Mo в листьях женьшеня близко среднему содержанию в лекарственных растениях; S, Zn, As, U – кларку растений суши; Ca, Fe, As – “референтному растению”. Однако для более половины ХЭ из состава листьев женьшеня наиболее типично все-таки их пониженное содержание по сравнению со сравниваемыми стандартами. Это в наибольшей степени относится к концентрации Mn, Pb, V и Co (ниже всех рассматриваемых стандартов), а также P, Cl, Na, Cr, Sn, Y, Cs и Ga (ниже уровней ЛРС, КРС и РР). В то же время содержание Mn, B, Zn, Ni, Mo, V, Cd, Co, Se в листьях женьшеня соответствует нормальному для зрелых тканей листьев (НТЛ).

Наиболее же близким по сути и актуальным по значимости для объекта настоящих исследований является все-таки минеральный состав лекарственных растений. Сравнивая содержание макро- и микроэлементов в листьях *P. ginseng* с их условно средними величинами в ЛРС, отмечается значительное обогащение листьев женьшеня Sb и Ca (2.4–2.3-кратное), в меньшей степени – Си (1.4-кратное). Установлены близкие содержания по К, Ni, Sr, В и Мо. Накопление остальных проанализированных элементов в листьях женьшеня ниже, чем в других лекарственных растениях,

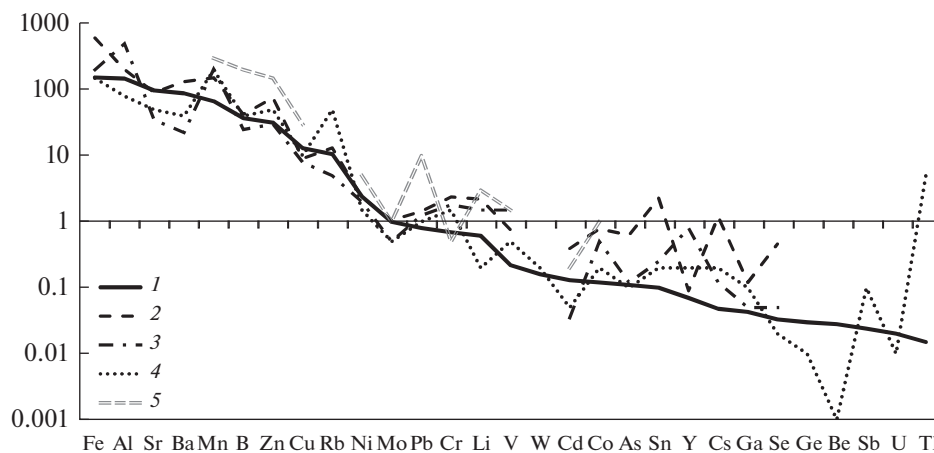


Рис. 4. Сравнительный анализ содержания микроэлементов в листьях *P. ginseng* с их кларковыми значениями и средними концентрациями в стандартных выборках растений.

По горизонтали – химические элементы; по вертикали – содержание элементов, мг/кг сухого вещества. 1 – *P. ginseng*, 2 – лекарственное растительное сырье, 3 – кларк растений суши, 4 – референтное растение, 5 – нормальное содержание в зрелых тканях листьев.

Fig. 4. Comparative analysis of the trace element content in *P. ginseng* leaves with Clarke values and average concentrations in standard plant samples.

X-axis – chemical elements; y-axis – elemental content, mg/kg dry weight. 1 – *P. ginseng*, 2 – medicinal plants, 3 – Clarke value for land plants, 4 – reference plant, 5 – normal content in mature leaf tissues.

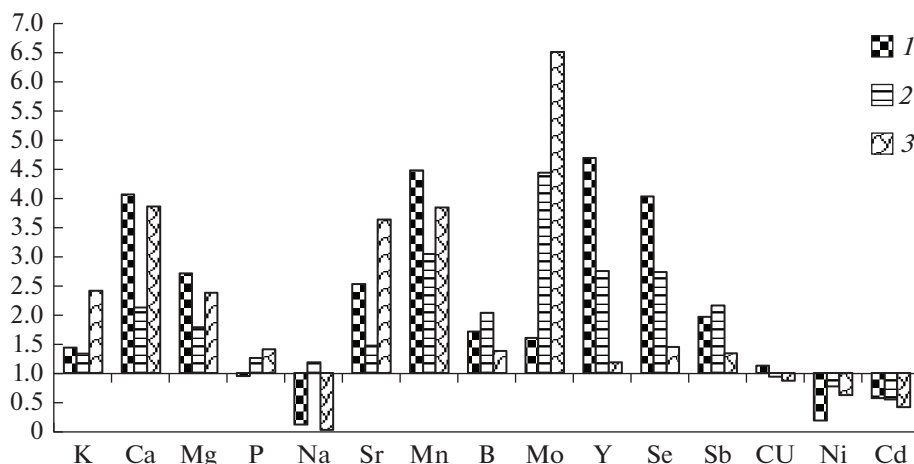


Рис. 5. Соотношение содержания химических элементов в листьях и других органах *P. ginseng*.

По горизонтали – химические элементы; по вертикали – кратность содержания элементов в листьях относительно семян (1), стеблей (2) и главного корня (3) женьшеня, раз.

Fig. 5. Ratio of elemental content in leaves and other organs of *P. ginseng*.

X-axis – chemical elements; y-axis – ratio (fold) of the element content in leaves to its content in seeds (1), stems (2) and main roots (3) of ginseng, fold.

особенно по уровню Cs (в 25 раз), Sn (23 раза), Se (14 раз), Na, Co, As (6–7 раз) и Fe, P, Cl, Li, V, Cr, Cd (3–4 раза).

Согласно современным требованиям норм безопасности для лекарственного растительного сырья (ЛРС) и лекарственных растительных препаратов, строгой регламентации подлежит содержание лишь 4 тяжелых металлов. Предельное содержание свинца в ЛРС не должно превышать 6.0 мг/кг, кадмия – 1.0 мг/кг, ртути – 0.1 мг/кг, мышьяка – 0.5 мг/кг (ОФС.1.5.3.0009.15) [31]. Судя по полученным нами данным (табл. 1), уровни содержания Pb, Cd и As в листьях *P. ginseng* существенно ниже регламентируемых пределов.

Интересными в научном плане и значимыми в практическом использовании женьшеня в качестве ЛРС являются вопросы его общего минерального состава и распределения химических элементов по органам растения. Нами была предпринята попытка в какой-то мере приблизиться к решению этой научной проблемы на основе имеющегося небольшого фактического материала. Он представлен осенними сборами семян, листьев, стеблей и подземной части *P. ginseng*, принадлежащими Спасской популяции. К сожалению, выборки были представлены не целыми растениями, а смешанными пробами из разных местобитаний в 2-х повторностях по каждой фракции растений. Полученные аналитические данные позволили сравнить содержание 5 макроэлементов (K, Ca, Mg, P, Na) и 29 микроэлементов в листьях женьшеня с их содержанием в семенах, стеблях и главном корне.

Было установлено, что содержание всех макроэлементов, за исключением Na, в листьях женьшеня выше, чем в остальных сравниваемых фракциях растения (рис. 5). Наибольшие превышения (до 4 раз) установлены в содержании Ca по отношению к семенам и подземной части. В то же время по концентрации Na листья уступают семенам в 8 раз, а корню – до 30 раз.

В содержании микроэлементов также прослеживается их преимущественное накопление в листьях по сравнению с семенами и стеблями. Они, по сравнению с семенами, накапливают в разной степени 18 элементов (64% общего состава ХЭ) и максимально обогащены Be (8 раз), Y (4.7 раз) и Mn (4.5 раз). В то же время листья беднее семян по содержанию W (20 раз), Ni (5.2 р.), Cr, Co, Zn и Cd (1.3–1.7 р.). В сравнении со стеблями листья интенсивнее аккумулируют 23 ХЭ (79% состава) и особенно активно Fe (в 6.3 раза), V (5.0 р.), Ge и Mo (4.5 р.). Однако содержание 4 элементов в листьях ниже, чем в стеблях: Ba и Cd – до 2 раз, Zn – в 1.6 раза, Ni – в 1.3 раза.

Контрастность микроэлементного состава листьев и подземной части *P. ginseng* более выражена: 41% общего состава элементов характеризуются преимущественным накоплением в листьях, 31% – в корне и 21% – их близким содержанием. Листья в большей степени обогащены Mo (6.5 раз), Li и Mn (до 4 р.), Sr (3.6 р.), Ba (2.4 р.), W (1.8 р.) и менее существенно (1.2–1.4 р.) – Y, Cr, Rb, Sb, B, Se. Подземные органы доминируют в накоплении Sn (5 раз), Al и Cs (до 3 р.), а также V, Cd, Ga, As (до 2 р.) и менее значимо – Ni, Pb, Fe, Co (1.2–1.5 р.). Концентрации же U, Tl, Zn, Cu, Be, Ge в листьях и

главном корне женьшеня оказались достаточно близкими.

В целом, анализ распределения элементов по органам *P. ginseng* показал, что в листьях проанализированной выборки женьшеня содержание К, Са, Mg, Mo, Mn, Y, Se, Sr, Sb и В стабильно выше, Cu — близко, а Ni и Cd — ниже по сравнению с остальными фракциями растения (рис. 5). Для остальных ХЭ не установлено строгой дифференциации по органам растения, но у многих из них выявлена тенденция к преимущественному накоплению в листьях. Несомненно, эти выводы носят предварительный характер и требуют дальнейших исследований на более представительном фактическом материале.

ВЫВОДЫ

Получены новые данные по элементному составу листьев *P. ginseng* природных популяций Юга Российского Дальнего Востока. Эколого-геохимическая специфика минерального состава женьшеня заключается в пониженном содержании большинства химических элементов по сравнению с кларковыми величинами и стандартными значениями для больших выборок растений. Особенно это характерно для Mn, Pb, V и Co, содержание которых ниже всех сравниваемых стандартов. В то же время их существенно превосходят концентрации в листьях К (до 3.7 раз) и в несколько меньшей степени — Cu (до 1.6 раза). Существенно ниже требуемых санитарно-гигиенических норм безопасности для лекарственного растительного сырья содержание в листьях *P. ginseng* Pb, Cd и As.

Установлены достоверно значимые положительные корреляционные связи между содержанием в листьях женьшеня Са и S, Mg и Si, Fe и Sr,

Mn и Ba, Ge и Y, а также отрицательные — между As и Rb. В микроэлементном составе листьев выделена тесно связанная ассоциация элементов, объединяющая Pb, Sb, Cd, Ni, В.

Отмечена высокая стабильность макроэлементного состава листьев женьшеня. Содержание же микроэлементов подвержено большей вариабельности как по отдельным элементам (особенно W, Be, Rb, Mo), так и по сумме накапливаемых элементов растениями территориально различающихся популяций. Максимальные отличия установлены между растениями Спасской (максимальное накопление суммы ХЭ) и Шкотовской (минимальное накопление) популяций — 1.5 раза.

Оценена интенсивность почвенного накопления элементов листьями женьшеня посредством КБН. Лишь у 4 жизненно важных макроэлементов (S, K, Ca, P) отмечено сильное накопление (КБН = 8–1), в то время как основная часть рассматриваемой выборки ХЭ относится к элементам биологического захвата, которым присуще слабое почвенное накопление растениями (КБН <1).

Отмечена тенденция в преимущественном накоплении всех макроэлементов (за исключением Na) в листьях *P. ginseng* относительно его семян, стеблей и подземной части и большинства микроэлементов относительно семян и стеблей. По сравнению с подземной частью листа женьшеня существенно обогащены Mo, Li, Mn, Sr, Ba и W (в 2–6 раз), но беднее Sn, Al, Cs, V, Cd, Ga и As (в 2–5 раз).

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 19-016-00147А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красная книга Приморского края: Растения. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. 2008. Владивосток. 688 с. http://redbookpk.ru/index_plants.html
2. Сосудистые растения Советского Дальнего Востока. 1987. Т. 2. Л. 446 с.
3. Журавлев Ю.Н., Коляда А.С. 1996. Агапациеae: женьшень и другие. Владивосток. 280 с.
4. Маханьков В.В., Самошина Н.Ф., Уварова Н.И., Еляков Г.Б. 1993. Анализ нейтральных гинзенозидов диких и плантационных корней *Panax ginseng*, произрастающих в Приморье. — Химия природных соединений. 2: 237–242.
5. Маханьков В.В., Бурундукова О.Л., Музарок Т.И., Уварова Н.И., Журавлев Ю.Н. 2007. Содержание гинзенозидов в листьях *P. ginseng* С.А. Меу в зависимости от возраста растений. — Растительные ресурсы. 43(3): 107–115. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9538751>
6. Svetashev V.I., Burundukova O.L., Muzarok, T.I., Zhuravlev Y.N. 2016. Fatty Acid Composition of Seeds from Wild and Cultivated Ginseng (*Panax ginseng* Meyer): Occurrence of a High Level of Petroselinic Acid. — J. Am. Oil Chem. Soc. 93(9): 1319–1323. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2864-z>
7. Wu W., Jiao C., Li H., Ma Y., Jiao L., Liu S. 2018. LC-MS based metabolic and metabonomic studies of *Panax ginseng*. — Phytochem. Analysis. 29: 331–340. <https://doi.org/10.1002/pca.2752>

8. Бурундукова О.Л., Полякова Н.В., Шихова Н.С., Музарок Т.И. 2016. Элементный состав листьев дикорастущего женьшеня (*Panax ginseng* С.А. Меу.). – Вестник КрасГАУ. 4: 107–112. http://www.kgau.ru/vestnik/2016_4/content/18.pdf
9. Ивашильников Ю.К. 1999. Физическая география Дальнего Востока России. Владивосток. 324 с.
10. Методика выполнения измерений массовой доли кремния, кальция, титана, ванадия, хрома, бария, марганца, железа, никеля, меди, цинка, мышьяка, стронция, свинца, циркония, молибдена в порошковых пробах почв и донных отложений рентгеноспектральным методом с применением энергодисперсионных рентгенофлуоресцентных спектрометров типа EDX фирмы Shimadzu. М-02-0604-2007. 2007. СПб. 17 с.
11. Добровольский В.В. 1998. Основы биогеохимии: Учеб. пособие. М. 413 с.
12. Перельман А.И. 1979. Геохимия: Учеб. пособие. М. 423 с.
13. Bowen H.J.M. 1966. Trace elements in biochemistry. London; New York. 240 p.
14. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. 1989. Микроэлементы в почвах и растениях. М. 439 с.
15. Markert B. 1992. Establishing of “Reference plant” for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting. – Water Air Soil Pollut. 64(3–4): 533–538. <https://doi.org/10.1007/BF00483363>
16. Ловкова М.Я., Шелепова О.В., Соколова С.М., Сабирова Н.С., Рабинович А.М. 1993. Селен в лекарственных растениях флоры России. – Известия РАН. Серия биологическая. 6: 833–838.
17. Ловкова М.Я., Бузук Г.Н., Соколова С.М., Климентьева Н.И., Пономарева С.М., Шелепова О.В., Воротницкая И.Е. 1996. Лекарственные растения – концентраторы хрома. Роль хрома в метаболизме алкалоидов. – Известия РАН. Серия биологическая. 5: 552–564.
18. Ловкова М.Я., Соколова С.М., Бузук Г.Н., Шелепова О.В., Пономарева С.М. 1997. Избирательное накопление элементов растениями, синтезирующими сапонины. – Прикладная биохимия и микробиология. 33(6): 635–642.
19. Ловкова М.Я., Соколова С.М., Бузук Г.Н., Быховский В.Я., Пономарева С.М. 1999а. Некоторые особенности элементного состава лекарственных растений, синтезирующих фенольные соединения. – Прикладная биохимия и микробиология. 35(5): 578–589.
20. Ловкова М.Я., Соколова С.М., Пономарева С.М., Бузук Г.Н., Климентьева Н.И. 1999б. Специфичность элементного состава лекарственных растений, синтезирующих алкалоиды. – Прикладная биохимия и микробиология. 35(1): 75–84.
21. Ловкова М.Я., Соколова С.М., Бузук Г.Н. 2007. Лекарственные растения – концентраторы лития и их применение в медицине. – Доклады Академии наук. 412(5): 713–715. <https://elibrary.ru/item.asp?id=9505850>
22. Ловкова М.Я., Бузук Г.Н. 2009. Фармакологическая активность лекарственных растений-концентраторов и сверхконцентраторов меди. – Микроэлементы в медицине. 10(1–2): 63–70. http://journal.microelements.ru/trace_elements_in_medicine/2009_1-2/63-70_2009.pdf
23. Танцерова И.Г. 2004. Эколого-фармакогностическое исследование некоторых лекарственных растений Кемеровской области: Автореф. дис. ... канд. фарм. наук. Томск. 23 с.
24. Самсонова О.Е. 2006. Биоэлементы Mn, Cu, Zn в некоторых полезных и ядовитых растениях Ставрополя. – Вестник ОГУ. 12 (Приложения): 217–219. http://vestnik.osu.ru/2006_12_1/69.pdf
25. Ключникова Н.Ф., Голубкина Н.А., Сенькевич О.А., Ключников П.Ф. 2009. Селен в лекарственных растениях Хабаровского края. – Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН. 4: 37–40. http://botsad.ru/media/oldfiles/journal/number4/number4_37-40.pdf
26. Кашин В.К. 2010. Микроэлементный состав некоторых лекарственных растений Забайкалья. – Растительные ресурсы. 46 (3): 73–85.
27. Кашин В.К. 2011. Условно необходимые микроэлементы в лекарственных растениях Забайкалья. – Химия в интересах устойчивого развития. 19(3): 259–266. <https://sibran.ru/upload/iblock/35f/35f2739c07ddccd383c8192ade425888.pdf>
28. Федько И.В., Коломиец Н.Э., Калинин Г.И., Барчук А.Д. 2013. Природные микроэлементы для профилактики и лечения туберкулеза легких. – Известия Самарского научного центра РАН. 15(3–6): 1976–1979. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2013/2013_3_1976_1979.pdf
29. Иваненко Н.В., Ковкековдова Л.Т. 2014. Микроэлементный состав лекарственных растений Приморского края. – Тихоокеанский медицинский журнал. 2: 18–21. <https://elibrary.ru/item.asp?id=22002279>
30. Игамбердиева П.К., Данилова Е.А., Осинская Н.С. 2016. Исследование содержания химических элементов в лекарственных растениях Южной Ферганы и перспективы применения их при лечении заболеваний. – Микроэлементы в медицине. 17(3): 48–53. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2016-17-3-48-53>
31. Государственная фармакопея Российской Федерации. 2015. 13-е изд. М. Т. 2. 1004 с. http://193.232.7.120/feml/clinical_ref/pharmacopoeia_2_html/HTML/

Elemental Composition of the Leaves of *Panax ginseng* (Araliaceae) in Natural Populations of the Primorye Territory

N. S. Shikhova^a, O. L. Burundukova^{a, *}, G. N. Butovets^a, N. V. Zarubina^b, N. V. Polyakova^c

^aFederal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia

^bInstitute Geology FEB RAS, Vladivostok, Russia

^cInstitute Chemistry FEB RAS, Vladivostok, Russia

*e-mail: burundukova.olga@gmail.com

Abstract—The elemental composition of the leaves of *Panax ginseng* C.A. Mey., collected in four natural populations of the Primorye Territory, was studied. The content of 53 chemical elements was determined. Groups of major, trace and ultratrace elements were distinguished. The high positive correlation between the content of Ca and S, Mg and Si, Fe and Sr, Mn and Ba, Ge and Y in the leaves was established. A correlation-related association of elements, including Pb, Sb, Cd, Ni, B, was identified in the trace element composition. A negative correlation was found between the content of As and Rb in the leaves. The major element composition of *P. ginseng* leaves is characterized by a significant stability. The maximum accumulation of chemical elements found in Shkotov population was 1.3 times higher than the minimum one in Chuguevsk population. Depending on the geographical location, the content of trace elements in ginseng leaves varies both in the accumulation of individual elements and in the sum of accumulated elements. The maximum values of the coefficient of variation were observed in the content of W (113%), Be, Rb, Mo (65–67%). For the compared ginseng populations, the border values of the total accumulation of trace elements differ by 1.5 times with maximum value for Spassk population, and the minimum one for the Shkotov population. The biological accumulation coefficient (BAC) indicates the poor accumulation of most elements by *P. ginseng* leaves. Only 4 major elements (S, K, Ca, P) are characterized by high accumulation (BAC = 8.4–1.3). The BAC of other elements decreases from 0, 51 (Cu) to 0.002 (Al, V), and reflects biological capturing of elements. The tendency of predominant accumulation of all major elements (except Na) in the *P. ginseng* leaves as opposed to seeds, stems and underground parts was observed. The specificity of *P. ginseng* leaves elemental composition was expressed in a reduced content of Mn, Pb, V, Co, and in a significant enrichment of K over standard values calculated for large areas.

Keywords: *Panax ginseng* (Asiatic ginseng), medicinal plants, chemical composition, major elements (macronutrients), trace elements (micronutrients), BAC (biological accumulation coefficient), natural populations, Primorye Territory

ACKNOWLEDGEMENTS

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 19-016-00147A.

REFERENCES

1. [Red Data Book of the Primorsky Territory: Plants. Rare and Endangered Species of Plants and Fungi]. 2008. Vladivostok. 688 p. (In Russian)
2. [Vascular plants of the Soviet Far East]. 1987. T. 2. Leningrad. 446 p. (In Russian)
3. Zhuravlev Yu.N., Kolyada A.S. 1996. Araliaceae: ginseng and others. — Vladivostok. 280 p.
4. Makhankov V.V., Samoshina N.F., Uvarova N.I., Yelyakov G.B. 1993. Analysis of neutral ginsenosides of wild and plantation roots of *Panax ginseng* growing in maritime territory. — Chem Nat Compd. 29(2): 196–199. <https://doi.org/10.1007/BF00630114>
5. Makhankov V.V., Burundukova O.L., Muzarok T.I., Uvarova N.I., Zhuravlev YU.N. 2007. Ginsenosides content in *Panax ginseng* C.A. leaves depending on the plants age. — Rastitelnye resursy. 43(3): 107–115. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9538751> (In Russian)
6. Svetashev V.I., Burundukova O.L., Muzarok T.I., Zhuravlev Y.N. 2016. Fatty Acid Composition of Seeds from Wild and Cultivated Ginseng (*Panax ginseng* Meyer): Occurrence of a High Level of Petroselinic Acid. — J. Am. Oil Chem.' Soc. 93(9): 1319–1323. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2864-z>
7. Wu W., Jiao C., Li H., Ma Y., Jiao L., Liu S. 2018. LC-MS based metabolic and metabonomic studies of *Panax ginseng*. — Phytochem. Analysis. 29: 331–340. <https://doi.org/10.1002/pca.2752>
8. Burundukova O.L., Polyakova N.V., Shikhova N.S., Muzarok T.I. The elemental composition of the wild ginseng leaves (*Panax ginseng* C.A. Mey.). — The Bulletin of KrasGAU. 4: 107–112. http://www.kgau.ru/vestnik/2016_4/content/18.pdf
9. Ivashinnikov Yu.K. 1999. [Physical geography of the Russian Far East]. Vladivostok. 324 p. (In Russian)

10. [Method for measuring the mass fraction of silicon, calcium, titanium, vanadium, chromium, barium, manganese, iron, nickel, copper, zinc, arsenic, strontium, lead, zirconium, molybdenum in powder samples of soils and bottom sediments by the X-ray spectral method using EDX energy dispersive X-ray fluorescence spectrometers from Shimadzu. M-02-0604-2007]. 2007. St. Petersburg. 17 p. (In Russian)
11. *Dobrovolskiy V.V.* 1998. [Fundamentals of Biogeochemistry: Study Guide]. Moscow. 413 p. (In Russian)
12. *Perelman A.I.* 1979. [Geochemistry: Study Guide]. Moscow. 423 p. (In Russian)
13. *Bowen H.J.M.* 1966. Trace elements in biochemistry. London; New York. 240 p.
14. *Kabata-Pendias A., Pendias H.* 1989. [Trace elements in soil and plants]. Transl. from English. Moscow. 439 p. (In Russian)
15. *Markert B.* 1992. Establishing of 'Reference plant' for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting. — *Water Air Soil Pollut.* 64(3–4): 533–538.
<https://doi.org/10.1007/BF00483363>
16. *Lovkova M.Ya., Shelepova O.V., Sokolova S.M., Sabirova N.S., Rabinovich A.M.* 1993. Selenium in medicinal plants of the Russian Flora. — *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological series.* 6: 833–838. (In Russian)
17. *Lovkova M.Ya., Buzuk G.N., Sokolova S.M., Klimet'eva N.I., Ponomareva S.M., Shelepova O.V., Vorotnitskaya I.E.* 1996. Medicinal plants as chromium concentrators: Role of chromium in metabolism of alkaloids. — *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological series.* 5: 552–564. (In Russian)
18. *Lovkova M.Ja., Ponomareva S.M., Sokolova S.M., Shelepova O.V., Buzuk G.N.* 1997. Selective Accumulation of Elements by Plants Synthesizing Saponin. — *Appl. Biochem. Microbiol.* 33(6): 567–573.
19. *Lovkova M.Ya., Bykhovskiy V.Ya., Ponomareva S.M., Sokolova S.M., Buzuk G.N.* 1999a. Features of the Elemental Composition of Medicinal Plants, Synthesizing Phenolic Compounds. — *Appl. Biochem. Microbiol.* 35(5): 514–524.
20. *Lovkova M.Ja., Ponomareva S.M., Klimet'eva N.I., Sokolova S.M., Buzuk G.N.*, 1999b. Specificity of Elemental Compositions of Medicinal Plants Synthesizing Alkaloids. — *Appl. Biochem. Microbiol.* 35(1): 68–75.
21. *Lovkova M.Ya., Sokolova S.M., Buzuk G.N.* 2007. Lithium — concentrating plant species and their pharmaceutical usage — *Dokl. Biol. Sci.* 412(1): 64–66. <https://link.springer.com/article/10.1134/S0012496607010218>
22. *Lovkova M.Ya., Buzuk G.N.* 2009. Pharmacological activity of medicinal plants — concentrators and overconcentrators of copper. — *Trace Elements in Medicine.* 10(1–2): 63–70.
http://journal.microelements.ru/trace_elements_in_medicine/2009_1-2/63-70_2009.pdf (In Russian)
23. *Tantserova I.G.* 2004. [Ecological and pharmacognostic study of some medicinal plants of the Kemerovo region: Abstract. Dis. ... Cand. (Pharm.) Sci.]. Tomsk. 23 p. (In Russian) (In Russian)
24. *Samsonova O.E.* 2006. [Bioelements Mn, Cu, Zn in some useful and poisonous plants of Stavropol]. — *Vestnik of the Orenburg State University.* 12 (Appendices): 217–219. http://vestnik.osu.ru/2006_12_1/69.pdf (In Russian)
25. *Kluchnikova N.F., Golubkina N.A., Senkevich O.A., Kluchnikov P.F.* 2009. Selenium in medicinal plants of Khabarovskii krai. — *Bulletin of the Botanical Garden Institute.* 4: 37–40.
http://botsad.ru/media/oldfiles/journal/number4/number4_37-40.pdf (In Russian)
26. *Kashin V.K.* 2010. Microelement composition of some medicinal plants from Transbaikalia. — *Rastitelnye Resursy.* 46 (3): 73–85. (In Russian)
27. *Kashin V.K.* 2011. Conditionally essential microelements in the medicinal herbs of Transbaikalia— *Chemistry for Sustainable Development.* 19(3): 237–244. <http://sibran.ru/upload/iblock/6c7/6c7415b81ea49a17ac78b2007f2a2c40.pdf>
28. *Fedko I.V., Kolomyets A.D., Kalinkina G.I., Barchuk A.D.* 2013. Natural microelements for prevention and treatment of pulmonary tuberculosis. — *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 15(3–6): 1976–1979. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2013/2013_3_1976_1979.pdf (In Russian)
29. *Ivanenko N.V., Kovekovdova L.T.* 2014. Trace element composition of medicinal plants of Primorsky territory. — *Pacific Medical Journal.* 2(56): 18–21. <https://elibrary.ru/item.asp?id=22002279> (In Russian)
30. *Igamberdieva P.K., Danilova E.A., Osinskaya N.S.* 2016. Study of chemical elements content in medical herbs from Southern Ferghana and possibilities of their usage in treatment of diseases. — *Trace Elements in Medicine.* 17(3): 48–53. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2016-17-3-48-53> (In Russian)
31. *State Pharmacopoeia of the Russian Federation.* 2015. 13 ed. Moscow. Vol. 2. 1004 p. (In Russian)