

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЛИСТЬЕВ ДИКОРАСТУЩЕГО  
ЖЕНЬШЕНЯ (*PANAX GINSENG* С.А. МЕУ.)

O.L. Burundukova, N.V. Polyakova,  
N.S. Shikhova, T.I. Muzarok

THE ELEMENTAL COMPOSITION OF THE WILD GINSENG LEAVES  
(*PANAX GINSENG* С.А. MEY.)

**О.Л. Бурундукова** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. биотехнологии Биолого-почвенного института ДВО РАН, г. Владивосток. E-mail: burundukova.olga@gmail.com

**Н.В. Полякова** – канд. хим. наук, ст. науч. сотр. лаб. молекулярного и элементного анализа Института химии ДВО РАН, г. Владивосток. E-mail: polyakova@ich.dvo.ru

**Н.С. Шихова** – канд. геогр. наук, ст. науч. сотр. сектора лесоведения Биолого-почвенного института ДВО РАН, г. Владивосток. E-mail: shikhova@ibss.dvo.ru

**Т.И. Музарок** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. биотехнологии Биолого-почвенного института ДВО РАН, г. Владивосток. E-mail: muzarok@ibss.dvo.ru

**O.L. Burundukova** – Cand. Biol. Sci., Senior Staff Scientist, Lab. of Biotechnologies, Biology and Soil Institute, FEB of Russian Academy of Sciences, Vladivostok. E-mail: burundukova.olga@gmail.com

**N.V. Polyakova** – Cand. Chem. Sci., Senior Staff Scientist, Lab. of Molecular and Element Analysis, Institute of Chemistry, FEB of Russian Academy of Sciences, Vladivostok. E-mail: polyakova@ich.dvo.ru

**N.S. Shikhova** – Cand. Geogr. Sci., Senior Staff Scientist, Sector of Forestry, Biology and Soil Institute, Russian Academy of Sciences, Vladivostok. E-mail: shikhova@ibss.dvo.ru <mailto:shikhova@ibss.dvo.ru>

**T.I. Muzarok** – Cand. Biol. Sci., Senior Staff Scientist, Lab. of Biotechnologies of Biology and Soil Institute, FEB of Russian Academy of Sciences, Vladivostok. E-mail: muzarok@ibss.dvo.ru

*Дикорастущий женьшень (*Panax ginseng* С.А. Меу., сем. *Araliaceae* Juss.) – крайне редкое лекарственное растение. Биохимический состав «корня жизни» исследован достаточно хорошо, в то время как данные по элементному составу остаются крайне ограниченными. Целью настоящего исследования было выявление видовой специфичности элементного состава женьшеня и первичная оценка уровня его пластичности. Изучение элементного состава листьев дикорастущего женьшеня было выполнено на основе фактического материала, полученного из природных местообитаний Спасского и Хасанского районов Приморского края. Химический анализ состава листьев выполнен энергодисперсионным рентгенофлуоресцентным методом. Обнаружены значительные различия между образцами листьев*

*из сравниваемых районов в содержании марганца, фосфора и цинка. Установлено, что в листьях растений Спасского района отсутствует титан. В то же время отличия между двумя выборками из Спасского района были незначительными, за исключением несколько большего содержания Mg (в 1,6 раза) в растениях охраняемого лесного участка. Элементный состав листьев дикорастущего женьшеня в сравнении с другими лекарственными растениями отличается высоким содержанием меди и цинка, низким содержанием марганца. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности дальнейших исследований по разработке элементного метода для идентификации происхождения образцов женьшеня и их медико-биологической оценки. Для более полной характеристики видовой специфики*

элементного состава женьшеня и его пластичности необходимы дальнейшие исследования с привлечением большей выборки образцов из различных частей ареала вида.

**Ключевые слова:** дикорастущий женьшень (*Panax ginseng*), природные популяции, Приморский край, элементный состав.

*Wild-growing ginseng (Panax ginseng C.A. Mey., Araliaceae Juss. Fam.) is an endangered medical plant. The biochemical composition of "root of life" is studied well enough; on the contrary, the elemental composition data remains extremely insufficient. The aim of this study was to identify the species specificity of the elemental composition of ginseng and to conduct an initial assessment of the level of its plasticity. The study of the elemental composition of wild ginseng leaves has been based on material obtained from the natural habitat of Spassk and Khasan district of Primorsky region. Leaf chemical composition analysis has been performed by energy-dispersive X-ray fluorescence method. A significant difference was found between the samples from the areas in comparison regarding the content of manganese, phosphorus, and zinc. Titanium has not been detected in Spassk region plant leaves. On the contrary, the difference between two samples from Spassk region was insignificant except for a slightly larger content of Mg (1.6 times) in the plants coming from the protected forest area. It was concluded that comparing to other medical plants the wild-growing ginseng's leaf elemental composition can be characterized by high copper and zinc and low manganese element content. The results indicate the necessity of further development of elemental method to identify the origin of ginseng samples and to conduct their medical and biological evaluation. Further research based on more representative sampling from different parts of the species' range is needed in order to conduct more detailed characterization of the species specificity of ginseng elemental composition and its plasticity.*

**Keywords:** wild-growing ginseng (*Panax ginseng*), natural populations, Primorsky region, elemental composition.

**Введение.** Дикорастущий женьшень, «корень-человек» (*Panax ginseng* C.A. Mey., сем. *Araliaceae* Juss.) – уникальное лекарственное

растение. Широкий спектр лекарственных свойств женьшеня обусловлен разнообразием биологически активных веществ, накапливающихся в его клетках: полиацетилены, пептиды, полисахариды, эфирные масла, витамины, слизи, смолы, пектин, аминокислоты [1]. Главными действующими веществами женьшеня считаются тритерпеновые гликозиды – гинзенозиды (сапонины) [1].

Известно, что лечебные свойства растений определяются не только их способностью синтезировать и накапливать в больших количествах биологически активные вещества, но и концентрировать целый ряд жизненно необходимых химических элементов. Многие лекарственные растения способны избирательно накапливать отдельные микроэлементы или группы из 5–10 элементов в количестве, значительно превышающем их средние (кларковые) величины и имеющем терапевтический эффект [2, 3]. Изучение содержания 20 элементов у более 200 видов лекарственных растений позволило выявить специфические особенности их накопления у трех групп видов, продуцирующих фенольные соединения, алкалоиды и сапонины [3, 4]. Исследование элементного состава лекарственных растений углубляет наши знания о природе их лечебных свойств, а также позволяет разрабатывать новые методы идентификации качества и происхождения лекарственного растительного сырья [3]. Особое значение имеет определение химических элементов-маркеров для идентификации географической принадлежности видов, рас и популяций редких и исчезающих растений, в том числе женьшеня. В случае нарушения целостности растений только химические или физические методы могут подтвердить незаконный сбор вида, занесенного в Красную книгу.

В настоящее время в научной литературе имеются некоторые данные по элементному составу корней растений женьшеня, культивируемых в России, Китае и Корее [4–6]. Сведения же по элементному составу растений дикорастущего женьшеня в литературе практически отсутствуют. Нашими исследованиями мы попытались в какой-то мере восполнить этот научный «пробел».

**Цель работы.** Выявление видовой специфичности элементного состава листьев дикорастущего женьшеня и первичная оценка уровня его пластичности.

**Объекты и методы.** Изучение элементного состава листьев женьшеня было выполнено на примере растений, полученных из природных местообитаний, находящихся в пределах Спасского и Хасанского административных районов Приморского края. Листья генеративных растений дикорастущего или таежного женьшеня были собраны в природных таежно-лесных местообитаниях Спасского (2009–2013 гг.) и Хасанского (1995 г.) районов Приморского края в ходе экспедиций лаборатории биотехнологии БПИ ДВО РАН. Кроме того, были отобраны образцы растений женьшеня на охраняемом участке типичного кедрово-широколиственного леса площадью 0,2 га (Protected forest area), расположенного на западном предгорье хребта Синий в Спасском районе. Здесь под пологом леса в продолжение 10–15 лет произрастает женьшень, перенесенный в молодом возрасте (5–7 лет) из природных таежных местообитаний. Мы называем его условно «лесным женьшенем» в отличие от «дикого, или таежного женьшеня» типичных природных местообитаний (*in situ*).

В исследовании использовали усредненную выборку гербарных образцов листьев генеративных четырехлистных лесных растений женьшеня возрастом 17–25 лет. Поскольку растения дикорастущего женьшеня сравнительно небольшие, а листья очень тонкие и легкие, то при отборе навески, необходимой для химического анализа, использовали усредненную пробу листьев 7–10 растений.

Элементный состав образцов определяли методом энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа. Пробы высушивали при 50°C, измельчали в планетарной мельнице, 0,3 г (минимально допустимая навеска) запрессовывали в таблетку-излучатель (основа – 1,5 г борной кислоты). Спектры измеряли на приборе Shimadzu EDX-800 HS, время экспозиции 100 секунд в каждом энергетическом канале. Расчет концентраций производили по методу фундаментальных параметров с помощью программного комплекса спектрометра. Контроль правильности результатов анализа проводили с

использованием стандартного образца состава травосмеси (Тр-1).

Использованный метод химического анализа позволил определить 16 макро- и микроэлементов в составе листьев опробованных растений.

**Результаты и обсуждение.** Содержание элементов в листьях обследованных популяций женьшеня. Полученные экспериментальные данные позволили установить следующие особенности элементного состава листьев дикорастущего женьшеня Приморского края (табл.). Состав проанализированных химических элементов в листьях женьшеня, произрастающего в его типичных таежных местообитаниях, изменяется среди макроэлементов от 0,03–0,04 % (Fe) до 3–4 % (K) и от 20 мг/кг (Rb) до 120–130 мг/кг (Sr) у микроэлементов. Общий состав элементов можно представить следующим убывающим ранжированным рядом:

$$K > Ca > Mg > S > P > (Na > Si) > Al > Cl > Fe > Sr > Ti > \\ > (Mn > Zn) > Cu > Rb.$$

Наблюдаются некоторые отличия в содержании элементов в листьях растений хасанской и спасской популяций. Так, в растениях спасской популяции не обнаружен титан, но отмечено 1,7–1,8-кратное превышение содержания марганца и фосфора и менее значимое (в 1,2–1,3 раза) – калия, натрия, кальция. В то же время в пробах растений хасанской популяции установлена очень высокая концентрация цинка (в 3,5 раза выше проб Спасского района), а также повышенное содержание железа (в 1,4 раза) и магния (в 1,2 раза). Высокие значения коэффициента корреляции получены при сравнении содержания в образцах листьев из Спасского и Хасанского районов макроэлементов ( $r=0,97$ ,  $p<0,05$ ), корреляция отсутствовала при сравнении содержания микроэлементов. Существенные различия в содержании ряда элементов в листьях территориально разграниченных популяций природного женьшеня одного географического района свидетельствуют о перспективности дальнейшего поиска «элементных маркеров» для идентификации географического происхождения растений женьшеня, в частности незаконно добытых на территории Приморья.

**Элементный состав листьев дикорастущего женьшеня в условиях природных местообитаний Хасанского и Спасского районов Приморского края и на охраняемом экспериментальном участке леса (Спасский район)**

Анализируемые химические элементы*	Концентрация микроэлементов в зрелых тканях листьев **	Таежный женьшень		Лесной женьшень (Спасский район)
		Хасанский район	Спасский район	
K, %		3.19 ±0.015	3.77 ±0.020	4.12 ±0.020
Ca, %		2.11 ±0.010	2.80 ±0.010	2.21 ±0.010
S, %		0.268 ±0.003	0.263 ±0.003	0.250 ±0.003
Mg, %		0.436 ±0.021	0.356 ±0.034	0.553 ±0.026
Al, %		0.098 ±0.015	0.104 ±0.017	0.078 ±0.018
P, %		0.191 ±0.003	0.352 ±0.005	0.248 ±0.004
Si, %		0.134 ±0.007	0.129 ±0.007	0.145 ±0.008
Fe, %		0.042 ±0.002	0.030 ±0.003	0.033 ±0.003
Na, %		0.132 ±0.088	0.153 ±0.101	0.169 ±0.099
Cl, %		0.067 ±0.005	0.074 ±0.006	0.076 ±0.006
Mn, ppm	20–300 нормальная	75 ±19	126 ±24	162 ±24
Zn, ppm	27–150 нормальная	142 ±9	37 ±10	41 ±10
Sr, ppm		130 ±5	124 ±6	114 ±6
Ti, ppm	50–200 токсичная	109 ±43	-	-
Rb, ppm		22 ±5	20 ±6	16±6
Cu, ppm	5–30 нормальная	45 ±12	61 ±15	79±15

\* – содержание в сухом веществе листьев; \*\* – [2].

Сравнение листьев дикого и лесного женьшеня из Спасского района свидетельствует об их близком химическом составе. Отмечено лишь незначительное повышение содержания P, Al, Ca и Rb (1,3–1,4 раза) в типичных таежных растениях, а также Mg (1,6 раза) и Mn (1,3 раза) в растениях охраняемого лесного участка. Сходство элементного состава листьев таежного и лесного женьшеня подтвердил и выполненный корреляционный анализ. Высокие значения коэффициентов корреляции в содержании макроэлементов ( $r=0,94$ ;  $p<0,05$ ) и микроэлементов ( $r=0,97$ ;  $p<0,05$ ) в листьях таежного и лесного женьшеня позволяют решить и некоторые методические подходы к изучению этого редкого реликтового растения. В частности, при организации и проведении глубоких эколого-физиологических исследований этого вида лес-

ной женьшень с охраняемого участка леса может быть использован вместо дикого женьшеня, что в условиях таежных местообитаний практически невозможно.

*Особенности элементного состава листьев женьшеня в сравнении с другими видами лекарственных растений.* Элементный состав лекарственных растений активно изучается учеными в различных аспектах. В частности, на основе большой выборки видов исследована специфика элементного состава лекарственных растений, синтезирующих алкалоиды, фенольные соединения, сапонины [4, 7–9]. Сравнение наших данных по элементному составу листьев дикорастущего женьшеня с имеющимися в литературе для сравниваемых групп лекарственных растений показало, что наибольшее сходство по содержанию пяти наиболее физиологи-

чески важных элементов (Al, Zn, Fe, Cu, Mn) женьшень проявляет с видами, продуцирующими сапонины. Женьшень, наряду с другими накопителями сапонинов, отличается от продуцентов алкалоидов и фенольных соединений более высоким содержанием Al, Zn, Fe и низким содержанием Mn. В то же время его специфика в группе видов, синтезирующих сапонины, проявилась в более высокой концентрации Cu (в 5 раз), а также Al, Zn, Mn (в 1,5–2 раза) при одновременно пониженном (до 2 раз) содержании Fe. Вместе с тем женьшень имеет близкое содержание Fe и Mn с алкалоидоносами. В целом же элементный состав листьев женьшеня по сравнению с данными, приведенными в работах М.Я. Ловковой с соавт. [4, 7, 8], отличается от других лекарственных растений более высоким содержанием Cu, и Zn, низким содержанием Mn.

Второе направление исследований элементного состава лекарственных растений – сравнительный анализ представителей различных семейств. В частности, сравнение содержания 7 элементов (B, Zn, Fe, Na, Mg, Ca, K) у 79 видов растений, относящимся к 5 семействам, показало достоверные количественные различия в их содержании [10]. Авторами обнаружены значительные различия в содержании рассматриваемых химических элементов между следующими семействами растений: Zn – между *Apiaceae* и *Fabaceae*; Fe и Na – *Asteraceae* и *Rosaceae*, Fe – *Apiaceae* и *Rosaceae*, а также *Rosaceae* и *Lamiaceae*; Ca – *Asteraceae* и *Fabaceae*, *Asteraceae* и *Lamiaceae*, а также *Rosaceae* и *Lamiaceae*. Женьшень как представитель сем. *Araliaceae* отличается, по нашим данным, от средних значений, приведенных в статье А. Arceusz с соавт. [10] для пяти сравниваемых семейств, более высоким содержанием железа (в 3–5 раз) и калия (в 1,5–2 раза).

*Специфика элементного состава женьшеня по сравнению с другими видами Приморского края.* Интересно отметить, что листья приморских популяций женьшеня более интенсивно накапливают Cu (в среднем в 9,5 раза), Fe и Zn (в 2,2 раза), а также K (до 1,5 раза) по сравнению с другими видами семейства аралиевых: (*Kalopanax septemlobus* (Thunb.) Koidz.), *Aralia elata* (Miq.) Seem., *Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim., *E. sessiliflorus* (Rupr. et Maxim.) S.Y.Hu), типичных для лесных расти-

тельных сообществ Южного Приморья [11]. В то же время содержание в них Mn почти в 2 раза ниже, чем в листьях указанных деревьев и кустарников. Близкие закономерности получены и при сравнении химического состава листьев женьшеня и лесного разнотравья природных фитоценозов Приморья. Листья «корня жизни» также обогащены Cu (до 10 раз), Zn (до 2 раз), Fe (до 1,5 раза) и несущественно (до 1,2 раза) – Mn и K [11]. Элементный состав листьев женьшеня резко отличается от такового у характерных представителей морских побережий Приморья. Сравнение с данными, приведенными в работе Н.М. Воронковой с соавт. [12], показало, что содержание Na у женьшеня в 10–35 раз ниже, а содержание K в 2–4 раза выше, чем у эугаллофитов (*Suaeda heteroptera* Kitag., *Salicornia europaea* L., *Salsola komarovii* Ilgin).

**Выводы.** Впервые получены данные по элементному составу листьев женьшеня из природных местообитаний Приморского края. Определено содержание 10 макро- и 6 микроэлементов у растений из двух частей ареала вида, территориально приуроченных к Спасскому и Хасанскому административным районам Приморья. Обнаружены существенные различия в содержании марганца, фосфора и цинка в листьях растений спасской и хасанской популяций, в то время как элементный состав листьев таежного и лесного женьшеня из Спасского района практически не отличался. В сравнении с другими лекарственными растениями элементный состав листьев дикорастущего женьшеня отличается высоким содержанием меди и цинка, низким содержанием марганца. Листья женьшеня более интенсивно накапливают медь, цинк и железо, чем другие аралиевые и представители лесного разнотравья природных фитоценозов Приморья.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности дальнейших исследований по разработке «элементных маркеров» для идентификации популяций, рас и разновидностей женьшеня. Для более полной характеристики видовой специфики элементного состава этого реликтового растения Приморья необходимы дальнейшие исследования с привлечением существенно большей выборки образцов из различных частей ареала вида.

## Литература

1. Журавлев Ю.Н., Коляда А.С. Женьшень и другие Araliaceae. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 280 с.
2. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
3. Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М. Почему растения лечат. – М.: Наука, 1990. – 256 с.
4. Избирательное накопление элементов растениями, синтезирующими сапонины / М.Я. Ловкова [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 1997. – Т. 35. – № 6. – С. 635–642.
5. Mineral composition of cultured Ginseng cells / Т.М. Sovetkina [et al.] // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2001. – Т. 37. – № 3. – С. 297-300.
6. A multianalytical approach for determining the geographical origin of ginseng using strontium isotopes, multielements, and 1H NMR analysis / A.R. Lee [et al.] // Journal of agricultural and food chemistry. – 2011. – V. 59(16). – P. 8560–8567.
7. Некоторые особенности элементного состава лекарственных растений, синтезирующих фенольные соединения / М.Я. Ловкова [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 1999. – Т. 35. – № 5. – С. 578–589.
8. Специфичность элементного состава лекарственных растений, синтезирующих алкалоиды / М.Я. Ловкова [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 1999. – Т. 35. – № 1. – С. 75–84.
9. Содержание гинзенозидов в листьях P. ginseng С.А. Мей в зависимости от возраста растений / В.В. Маханьков [и др.] // Растительные ресурсы. – 2007. – Т. 43. – № 3. – С.107–115.
10. Arceusz A., Radecka I., Wesolowski M. Identification of diversity in elements content in medicinal plants belonging to different plant families // Food chemistry. – 2010. – Т. 120. – №. 1. – С. 52–58.
11. Шихова Н.С. Аккумуляция тяжелых металлов древесными породами в условиях интенсивного техногенеза // Лесоведение. – 1997. – № 5. – С. 32–42.
12. Накопление макроэлементов морской воды листьями галофитов супралиторали Японского моря / Н.М. Воронкова [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 11. – С. 144–148.

## Literatura

1. Zhuravlev Ju.N., Koljada A.S. Zhen'shen' i drugie Araliaceae. – Vladivostok: Dal'nauka, 1996. – 280 s.
2. Kabata-Pendias A., Pendias H. Mikrojelementy v pochvah i rastenijah: per. s angl. – M.: Mir, 1989. – 439 s.
3. Lovkova M.Ja., Rabinovich A.M., Ponomareva S.M. Pochemu rastenija lechat. – M.: Nauka, 1990. – 256 s.
4. Izbiratel'noe nakoplenie jelementov rastenijami, sintezirujushhimi saponiny / M.Ja. Lovkova [i dr.] // Prikladnaja biohimija i mikrobiologija. – 1997. – Т. 35. – № 6. – S. 635–642.
5. Mineral composition of cultured Ginseng cells / Т.М. Sovetkina [et al.] // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2001. – Т. 37. – № 3. – S. 297-300.
6. A multianalytical approach for determining the geographical origin of ginseng using strontium isotopes, multielements, and 1H NMR analysis / A.R. Lee [et al.] // Journal of agricultural and food chemistry. – 2011. – V. 59(16). – P. 8560–8567.
7. Nekotorye osobennosti jelementnogo sostava lekarstvennyh rastenij, sintezirujushhih fenol'nye soedinenija / M.Ja. Lovkova [i dr.] // Prikladnaja biohimija i mikrobiologija. – 1999. – Т. 35. – № 5. – S. 578–589.
8. Specifichnost' jelementnogo sostava lekarstvennyh rastenij, sintezirujushhih alkaloidy / M.Ja. Lovkova [i dr.] // Prikladnaja biohimija i mikrobiologija. – 1999. – Т. 35. – № 1. – S. 75–84.
9. Soderzhanie ginzenozidov v list'jah P. ginseng C.A. Mey v zavisimosti ot vozrasta raste-nij / V.V. Mahan'kov [i dr.] // Rastitel'nye resursy. – 2007. – Т. 43. – № 3. – S.107–115.
10. Arceusz A., Radecka I., Wesolowski M. Identification of diversity in elements content in medicinal plants belonging to different plant families // Food chemistry. – 2010. – Т. 120. – №. 1. – S. 52–58.
11. Shihova N.S. Akkumuljacija tjazhelyh metallov drevesnymi porodami v uslovijah intensiv-nogo tehnogeneza // Lesovedenie. – 1997. – № 5. – S. 32–42.
12. Nakoplenie makrojelementov morskoy vody list'jami galofitov supralitorali Japonskogo morja / N.M. Voronkova [i dr.] // Vestnik KrasGAU. – 2013. – № 11. – S. 144–148.