

МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В СЫРЬЕ НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ© Ц.-Д. Д. Батомункуева^{1*}, С. Р. Самбуева¹, В. Г. Ширеторова²¹Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В. Р. Филиппова
Россия, Республика Бурятия, 670010 г. Улан-Удэ, ул. Пушкина, 8.²Байкальский институт природопользования СО РАН
Россия, Республика Бурятия, 670047 г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8.

*Email: bcyrendulma@mail.ru

Определен элементный состав в сырье и золе растений на атомно-абсорбционном спектрофотометре Solaar Мб. Показано, что содержание элементов в золе превышало таковое в растительном сырье в 3.3–3.8 раз для чеснока и в 6.2–7.5 раз для остальных растений. Наиболее богата минеральными компонентами полынь Гмелина (*Artemisia gmelinii*), далее по убыванию княжик сибирский (*Atragene sibirica*), шлемник байкальский (*Scutellaria baicalensis*), рододендрон Адамса (*Rhododendron adamsii*), чеснок (*Allium sativum*). По макроэлементам максимальное содержание калия отмечено в золе полыни Гмелина и княжика сибирского. По количеству микроэлементов в золе выделялись наибольшим содержанием железом рододендрон Адамса и шлемник байкальский, марганца – Княжик сибирский и полынь Гмелина, цинка – княжик сибирский, полынь Гмелина и рододендрон Адамса. Данные по элементному составу растений необходимы при составлении нормативной документации и для определения экологической безопасности.

Ключевые слова: элементный состав, полынь Гмелина, княжик сибирский, шлемник байкальский, рододендрон Адамса, чеснок.

Введение

Растения флоры Забайкалья, применяемые в тибетской медицине, активно изучаются в России: в научных центрах РАН, отдельных лабораториях вузов, колледжах, – а также за рубежом. В настоящее время опубликован «Библиографический указатель научных трудов ...» [1], где приведены все основные научные публикации (статьи, монографии и др.) начиная с 30-х гг. прошлого века. Среди них наиболее значимыми являются публикации по химическому и элементному составу растений. Это ранние публикации исследователей Ленинградского фармацевтического института, пробудившие интерес к тибетской медицине и растениям флоры Забайкалья [2], и цикл современных исследований по химии природных соединений.

При анализе «Библиографии ...» оказалось, что большая часть публикаций посвящена изучению химического состава и фармакологической активности не только отдельных растений, но и многокомпонентных составов из растительного сырья. Экспериментальные и клинические данные, полученные отечественными и зарубежными исследователями, свидетельствуют о том, что тибетские многокомпонентные лекарства обладают широким спектром действия [3]. Их активность проявляется на разных уровнях организма: от системного уровня до органов, тканей, клеток и субклеточных компонентов, таких как гены и сети метаболических путей [4–5]. Некоторые сложные по составу композиции прошли клинические испытания. Очевидно, что дальнейшее экспериментальное исследование биологически активных веществ и элементного состава лекарственных растений, входящих в состав тибетских препаратов, актуально, поскольку в состав тибетских лекарств часто включается зола растений. Число публикаций, посвященных определению содержания микро- и макроэлементов в растениях, в последние годы значительно увеличилось. Роль минеральных веществ растений хорошо известна: микроэлементы не только обладают определенным физиологическим действием, но также могут усиливать действие биологически активных веществ (аскорбиновой кислоты, каротиноидов, флавоноидов и др.) и представляют интерес для разработки препаратов комбинированного действия [7]. С другой стороны, данные по элементному анализу дают возможность оценить экологическую безопасность лекарственного сырья [8–9].

Цель настоящей статьи – изучение макро- и микроэлементов растений, зола которых наиболее часто используется в тибетских лекарствах.

Экспериментальная часть

Объекты исследований: шлемник байкальский (*Scutellaria baicalensis*) – корень, рододендрон Адамса (*Rhododendron adamsii*) – надземная часть, княжик сибирский (*Atragene sibirica*) – надземная часть, полынь Гмелина (*Artemisia gmelinii*) – все растение, чеснок (*Allium sativum*) – все растение. Эти растения включаются в виде золы в сложные составы тибетских лекарств, приготовленные по особой технологии, краткое изложение которой есть в «Чжуд-ши» [10] и более подробное в сочинении Данзин Пунцога «Кунсал-нанзод» [11].

Определение элементного состава было выполнено с использованием оборудования Центра коллективного пользования БИП СО РАН. Точную навеску растительного сырья сжигали в муфельной печи. В процессе озоления температуру постепенно увеличивали до 450 °С и продолжали минерализацию до получения золы. Затем

золу измельчили до пудрового состояния в фарфоровой ступке для дальнейшего проведения анализа. Определение количественного содержания элементов в растительном сырье проводилось на атомно-абсорбционном спектрофотометре Solaar M6 (Thermo Scientific, США) после предварительного разложения образцов с концентрированной азотной кислотой в микроволновой системе MARS 6 (СЕМ, США) с использованием специальных сосудов из фторполимерных материалов XP-1500 Plus. При разложении образцов к точной навеске 0.5 г сырья, помещенной в тефлоновый сосуд, добавляли 10 мл концентрированной азотной кислоты (осч), далее сосуды закрывали и помещали в микроволновую систему. Обработку реакторов проводили по стандартной программе для растительных образцов с автоматическим контролем температуры и давления (нагрев до температуры 200 °С 15 мин., выдержка при 200 °С 15 мин.; давление при выдержке составляло 2.7 МПа). По окончании программы разложения сосудов с минерализованной пробой охлаждали в вытяжном шкафу до комнатной температуры. Минерализат был прозрачным. После охлаждения минерализат количественно переносили в мерную колбу на 50 мл и доводили дистиллированной водой до метки. В полученном растворе определяли содержание элементов на атомно-абсорбционном спектрофотометре Solaar M6 (Thermo Scientific, США) с атомизацией в воздушно-ацетиленовом пламени. Содержание калия и натрия определяли в режиме эмиссии. Для калибровки использовали ГСО соответствующих элементов. Определение элементов в растительных образцах проводили в 3-кратной повторности. Погрешность определения составила 5–10%. Результаты изучения элементного состава растений, которые наиболее часто используются в зольных составах, приведены в таблице (табл. 1).

Таблица 1

Содержание элементов в сырье и золе растений

Элемент	Шлемник байкальский		Рододендрон Адамса		Княжик сибирский		Польнь Гмелина		Чеснок	
	Сырье	Зола	Сырье	Зола	Сырье	Зола	Сырье	Зола	Сырье	Зола
К. г/кг	11.19	76.71	0.87	5.51	30.34	193.19	32.94	203.63	16.59	62.15
Na. г/кг	0.49	3.37	0.09	0.55	0.08	0.49	0.05	0.30	0.52	1.94
Ca. г/кг	6.72	46.05	9.16	57.86	9.81	62.48	13.79	85.25	1.68	6.28
Mg. г/кг	8.32	56.99	2.90	18.31	3.24	20.65	3.99	24.68	1.66	6.22
Fe. мг/кг	191.2	1310.34	351.67	2222.19	89.90	572.50	112.10	692.94	29.99	112.37
Mn. мг/кг	34.73	237.97	78.20	494.12	134.18	854.51	138.67	857.20	9.23	34.57
Zn. мг/кг	21.75	149.04	34.75	219.60	40.58	258.46	40.13	248.09	20.48	76.70
Cu. мг/кг	10.01	68.57	8.81	55.64	8.08	51.45	14.59	90.17	4.12	15.43
Ni. мг/кг	1.51	10.36	2.09	13.22	2.21	14.05	0.85	5.27	0.29	1.10
Cr. мг/кг	1.21	8.26	2.19	13.86	0.80	5.07	0.85	5.28	1.04	3.91
Co. мг/кг	0.05	0.35	0.10	0.63	0.02	0.15	0.16	1.01	0.03	0.10
Pb. мг/кг	0.13	0.90	0.63	3.96	0.18	1.13	н. о.*	н. о.	н. о.	н. о.
Cd. мг/кг	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	0.68	4.33	0.15	0.95	н. о.	н. о.
Сумма. г/кг	26.98	184.91	13.50	85.25	43.75	278.57	51.08	315.76	20.52	76.83

* н. о. – ниже предела обнаружения (для свинца – 0.05 мг/кг, для кадмия – 0,01 мг/кг).

Из сравнения полученных данных о содержании элементов в пяти образцах установлена изменчивость концентрирования в широких пределах (рис. 1). С учетом коэффициента вариации кальций, цинк, медь и хром отличаются низким уровнем вариации в растительном сырье и минерализованной золе.

Результаты и их обсуждение

На основании анализа результатов исследуемых растений по 13 макро- и микроэлементам установлено, что содержание элементов в золе значительно превышало таковое в соответствующем растительном сырье (табл. 1). Наиболее богата минеральными компонентами польнь Гмелина (315.76 г/кг), далее, по убыванию их содержания, следуют княжик сибирский (278.57 г/кг), шлемник байкальский (184.91 г/кг), и значительно меньше минеральных компонентов содержат рододендрон Адамса (85.25 г/кг) и чеснок (76.83 г/кг). Химические элементы накапливаются в различных концентрациях. По уровню содержания в золе растений были составлены ряды накопления (табл. 2), анализ которых показал, что все исследуемые растения имеют индивидуальные особенности.

Таблица 2

Ряды накопления элементов в золе растений

Наименование растения	Ряд накопления
Шлемник байкальский	K > Mg > Ca > Na > Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Cr > Pb > Co > Cd
Рододендрон Адамса	Ca > Mg > K > Fe > Na > Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Co > Pb > Cd
Княжик сибирский	K > Ca > Mg > Mn > Fe > Na > Zn > Cu > Ni > Cr > Cd > Pb > Co
Польнь Гмелина	K > Ca > Mg > Mn > Fe > Na > Zn > Cu > Cr > Ni > Co > Cd > Pb
Чеснок	K > Ca > Mg > Na > Fe > Zn > Mn > Cu > Cr > Ni > Co > Pb > Cd

Изученные растения обладают различной способностью накопления химических элементов и характером их распределения в ряду накопления. Накопление элементов имеет зависимость от состава почвы и условий про-

израстания. Лекарственные растения – это доступная и усвояемая форма получения комплекса макро- и микро-элементов, обладающих высокой биологической активностью и участвующих в разных биохимических процессах, благодаря чему они оказывают многостороннее влияние на организм человека. [10–11].

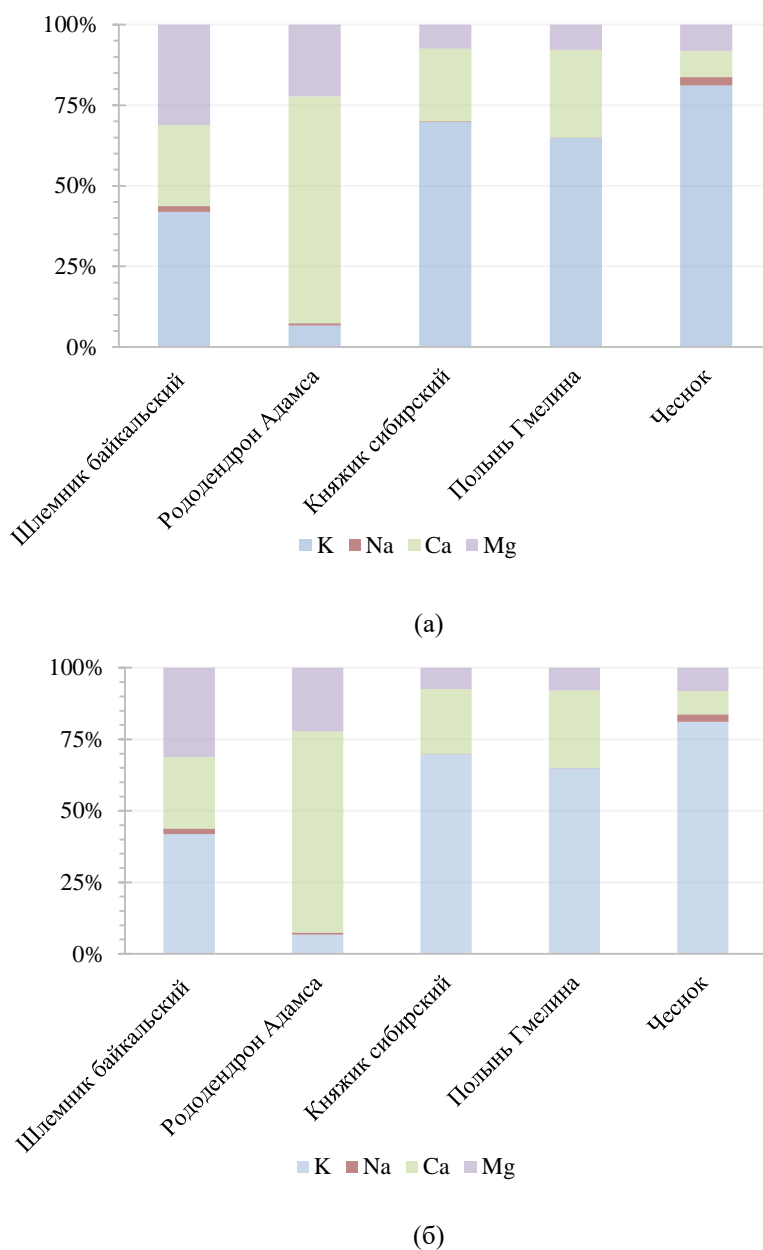
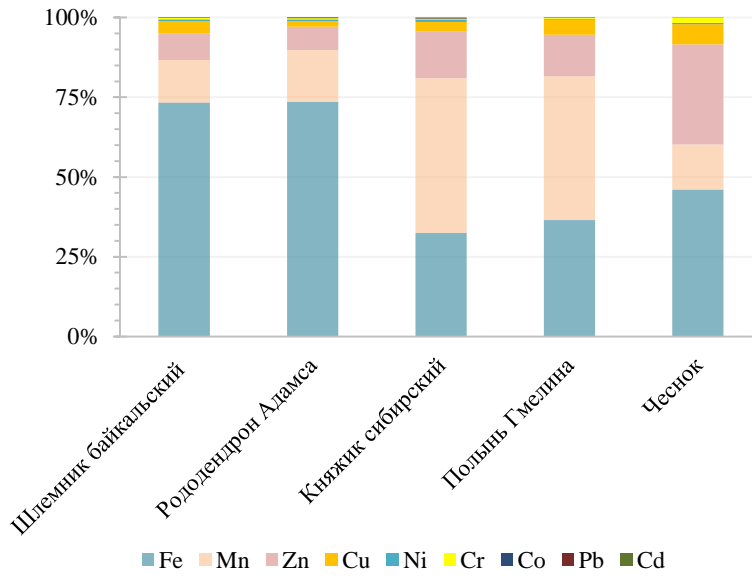


Рис. 1. Элементный профиль макроэлементов образцов: (а) в растительном сырье; (б) в золе.

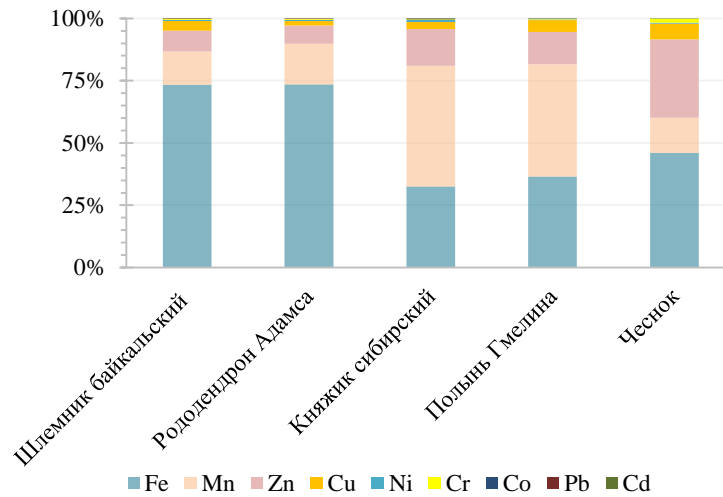
Анализ минерального состава по макроэлементам (рис. 1) показал диапазон варьирования элемента для каждого растения: для калия – от 0.87 г/кг до 203.63 г/кг; натрия – от 0.05 г/кг до 3.37 г/кг; кальция – от 1.68 г/кг до 85.25 г/кг; магния – от 1.66 г/кг до 56.99 г/кг. Активный накопитель натрия – шлемник байкальский. Коэффициенты вариации элементов пяти образцов представлены на рис. 3.

Элементный состав золы полыни Гмелина отличился максимальным содержанием калия (203.63 г/кг) и кальция (85.25 г/кг). Характер накопления элементов минерализованной золы в сравнении с исходной формой образца показал минимальные различия (рис. 1). Микроэлементный профиль (рис. 2) установил преобладание марганца в большей степени. Высокотоксичные микроэлементы (Co, Pb, Cd) в большинстве случаев содержатся в меньшем количестве по сравнению с Cr и Ni.

Тенденция накопления ряда элементов (K, Mg, Fe, Mn, Zn и др.) в княжике сибирском идентична вышеописанному растению. В исследованиях В. Ю. Дорофеева и др. [12] динамика концентрирования согласуется с полученными нами результатами. Княжик сибирский в значительном количестве содержит магний, железо, марганец, никель.

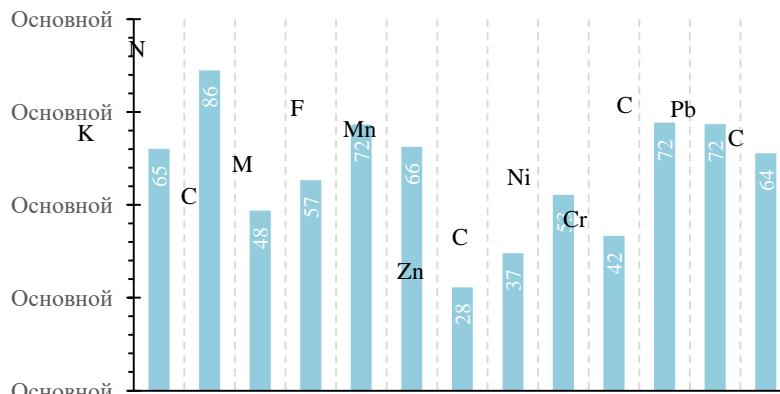


(a)



(б)

Рис. 2. Элементный профиль микроэлементов образцов: (а) в растительном сырье; (б) в золе.



(a)

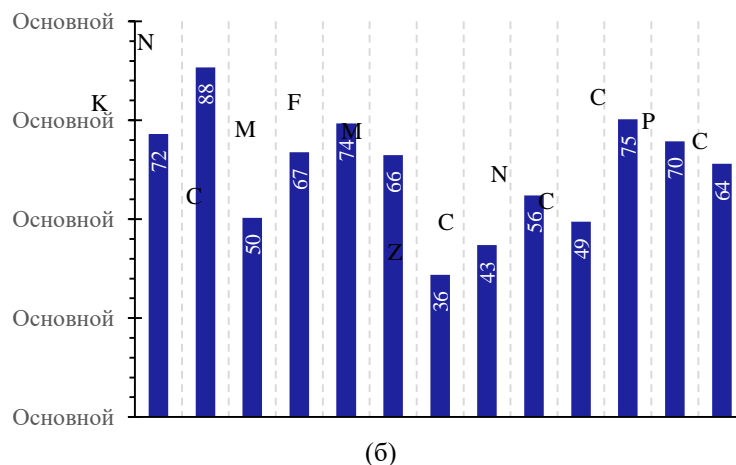


Рис. 3. Коэффициент вариации (v , %) содержания элементов пяти образцов: (а) в растительном сырье; (б) в золе.

Аккумуляция макро- и микроэлементов шлемника байкальского и рододендрона Адамса отличается от двух рассмотренных образцов. Важным показателем элементного состава является повышенное содержание железа, необходимого элемента для переноса кислорода и участия в обеспечении иммунных функций. В исследованиях Д. Н. Оленникова и др. для подземной части была выявлена отличительная особенность – сверхконцентрирование Cr (в 17–71 раз) и Fe (в 10–21 раз). Указанные элементы участвуют в биосинтезе фенольных соединений как компоненты ферментных систем, следовательно, для данных элементов накопление закономерно. Регрессионный анализ результатов исследования элементного состава шлемника байкальского обнаружил высокую корреляционную зависимость ($r^2 > 0.5$) между отдельными парами элементов для подземной части – Co–Fe, Cr–Fe, Co–Cu, т.е. для элементов, представленных в ферментных системах фенольного биосинтеза [13].

Содержание элементов в рододендроне Адамса было изучено Н. С. Фурсом и др. Анализ результатов показал, что содержание элементов в рододендроне Адамса по мере убывания распределяется следующим образом: макроэлементы, мг/г – Ca > Mg > P > Si > Na, микро- и ультрамикроэлементы, мг/г – Mn > Fe > Ba > Rb > B > Zn > Cr > Sr > Br > Cu > Mo > Ti > Co > Ga > V > Pb > Se > As > Cs > Zr > Eu > Ce > Li > I > Ge > La > Sn > W > Nd > Y > Sb > Th > Hg > Pr > Nb > Ag > Gd > Cd > Bi > Sm > Dy > Tl > Hf > Er > U > Yb > Tb > Ho > Lu > Ta > T [8]. Результаты проведенных исследований согласуются с данными других авторов. Особенностью концентрации элементов в рододендроне Адамса является повышенное содержание кальция – 57.86 г/кг. Из полученных данных выявлено меньшее накопление других макроэлементов. Содержание магния составило 18.31 г/кг, калия – 5.51 г/кг, натрия – 0.55 г/кг. Из микроэлементов: содержание железа – 2 222.19 мг/кг, марганца – 494.12 мг/кг, цинка – 219.6 мг/кг.

Санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами регламентируются допустимые уровни токсичных элементов в БАД на растительной основе. Они должны быть: свинца – не более 6.0 мг/кг, мышьяка – 0.5 мг/кг, кадмия – 1.0 мг/кг, ртути – 0.1 мг/кг [6]. Содержание особо токсичных элементов в большинстве образцов не превышало допустимых уровней, регламентируемых СанПиН 2.3.2.1078-01. Однако необходимо отметить превышение допустимого уровня кадмия в золе княжика сибирского, что требует дальнейших исследований.

Заключение

Полученные результаты дают расширенное представление о лечебной ценности пяти растений в растительной форме и золе в качестве источника минеральных веществ.

Исследован химический состав неорганического сырья, используемого в виде минерализованной золы. Макро- и микроэлементы обладают определенным физиологическим действием, усиливают действие биологически активных веществ и представляют интерес для разработки препаратов комбинированного действия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецова Н. А. и др. Библиографический указатель научных трудов по тибетской медицине / Министерство науки и высшего образования РФ, Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения РАН, Бурятский научный центр Сибирского отделения РАН. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2022. 368 с.
2. Тибетская медицина: технология, фармакология, фармакогнозия, терапия, анатомия, хирургия. (Библиотека тибетской медицины). М.: Фонд содействия буддийскому образованию и исследований, 2023. 315 с.
3. Асеева Т. А., Дашиев Д. Б., Кудрин А. Н. и др. Лекарствоведение в тибетской медицине. Новосибирск: Наука, 1989. 192 с.
4. Николаев С. М., Барганов А. И., Матышов Д. Л. Тибетская медицина / Вопросы и ответы, 2-е доп. изд.-е. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2004. 61 с.
5. Швабль Г., ван дер Валк Я. Оспаривание биомедицинского понятия «активное вещество»: Ботаническая пластичность тибетских медицинских формул // HIMALAYA, Журнал Ассоциации Непальских и Гималайских исследований. 2019. Т. 39. №1. Ст. 1. С. 208–218.

6. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности продуктов / Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Минздрав России, 2002.
7. Фармакогнозия. Лекарственное сырье растительного и животного происхождения: учебное пособие / под ред. Г. П. Яковлева. 2 изд. испр. и доп. СПб.: Спец. лит, 2010. С. 96–99.
8. Фурса Н. С., Жаворонкова М. Е., Мазепина Л. С. И др. Масс-спектрометрическое определение макро, микро- и ультрамикроэлементов в листьях трех видов вересковых и двух видов грушанковых // Вестник фармации №2(40), 2008. С. 66–70.
9. Шелепов О. В., Пименова М. Е. Содержание микроэлементов в плодах и соцветиях некоторых таежных лекарственных растений // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. 2004. №1. С. 182–183.
10. Ильин В. Б. Элементный химический состав растений. Новосибирск: Наука, 1985. 130 с.
11. Кисличенко В. С. Лекарственные растения источники минеральных веществ // Провизор. 1999. №20. 29 с.
12. Дорофеев В. Ю., Карначук Р. А., Шилова И. В. Элементный состав клеток каллусной культуры княжика сибирского (*Atragene speciosa* Weinm.) *in vitro* // Биология. Вестник Томского гос. ун-та, 2008. №2(3).
13. Оленников Д. Н., Чирикова Н. К., Танхаева Л. М. Химический состав шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis* Georgi) // Химия растительного сырья. №2. 2010. С. 77–84.

Поступила в редакцию 25.04 2024 г.

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2024.2.5

MACRO- AND MICROELEMENTS IN RAW MATERIALS OF INORGANIC NATURE

© Ts.-D. D. Batomunkueva^{1*}, S. R. Sambueva¹, V. G. Shiretorova²

¹*Buryat State Agricultural Academy named after V. Philippov
8 Pushkin St., 670010 Ulan-Ude, Republic of Buryatia, Russia.*

²*Baikal Institute of Natural Resources Management, Siberian Branch of RAS
8 Sakhyanova St., 670047 Ulan-Ude, Republic of Buryatia, Russia.*

*Email: bcyrendulma@mail.ru

The reliability of sources information about medicinal raw materials of inorganic nature of Tibetan medicines has been experimentally verified. The elemental composition in raw materials and plant ashes was determined on Solaar M6 atomic-absorption spectrophotometer. It is shown that the content of elements in ashes exceeded that in plant raw material by 3.3–3.8 times for garlic and by 6.2–7.5 times for other plants. *Artemisia gmelinii* is the richest in mineral components, then in descending order *Atragene sibirica*, *Scutellaria baicalensis*, *Rhododendron adamsii*, and garlic (*Allium sativum*). In terms of macroelements, the maximum content of potassium was observed in the ashes of *Artemisia gmelinii* and *Atragene sibirica*. In terms of trace elements in the ash, the highest content of iron was observed in *Rhododendron adamsii* and *Scutellaria baicalensis*, manganese – *Atragene sibirica* and *Artemisia gmelinii*, zinc – *Atragene sibirica*, *Artemisia gmelinii* and *Rhododendron adamsii*. The study of raw materials of Tibetan medicines is important for understanding solid-phase chemical reactions in technological processes in the manufacture of medicines.

Keywords: elemental composition, *Artemisia gmelinii*, *Atragene sibirica*, *Scutellaria baicalensis*, *Rhododendron adamsii*, garlic.

Received 25.04.2024 г.