

DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-1-II-60-66

ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ СИБИРИ МЕТОДОМ ДУГОВОЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ С МНОГОКАНАЛЬНЫМ АНАЛИЗАТОРОМ ЭМИССИОННЫХ СПЕКТРОВ

© Владимир Ильич Отмахов¹, Евгения Сергеевна Рабцевич¹,
Елена Васильевна Петрова¹, Инесса Владимировна Шилова^{1,2},
Екатерина Сергеевна Шелег¹, Денис Евгеньевич Бабенков¹

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия;
e-mail: otmahov2004@mail.ru

² Научно-исследовательский институт фармакологии и регенеративной медицины им. Е. Д. Гольдберга ТНИМЦ РАН,
г. Томск, Россия; e-mail: inessashilova@mail.ru

*Статья поступила 25 сентября 2018 г. Поступила после доработки 2 октября 2018 г.
Принята к публикации 25 ноября 2018 г.*

Исследован макро- и микроэлементный состав золы растительного сырья: выявлены преобладающие матричные элементы, установлены их химическая форма и содержание. Показано, что прямое определение примесей в минеральных остатках методом дуговой атомно-эмиссионной спектроскопии с многоканальным анализатором эмиссионных спектров (ДАЭС с МАЭС) осложнено влиянием макрокомпонента и его химической формы. Доказана возможность устранения этого влияния путем введения корректирующей добавки. Предложена методика определения макро- и микроэлементов в золе растений и проведена ее метрологическая аттестация.

Ключевые слова: методика спектрального анализа; зола растений; макроэлементы; микроэлементы; показатели качества измерений.

ELEMENTAL ANALYSIS OF SIBERIAN MEDICINAL PLANTS USING ARC ATOMIC EMISSION SPECTROMETRY WITH A MULTICHANNEL ANALYZER OF EMISSION SPECTRA

© Vladimir I. Otmakhov¹, Evgeniya S. Rabtsevich¹, Elena V. Petrova¹,
Inessa V. Shilova^{1,2}, Ekaterina S. Sheleg¹, Denis E. Babenkov¹

¹ National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia; e-mail: otmahov2004@mail.ru

² Goldberg Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine, Tomsk National Research Medical Center of Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia; e-mail: inessashilova@mail.ru

Received September 25, 2018. Revised October 2, 2018. Accepted November 25, 2018.

Study of macro- and microelement composition of the ash of plant raw materials revealed the prevailing matrix elements, their chemical form and content. It is shown that direct determination of the impurities in mineral residues by the method of arc atomic emission spectroscopy with a multichannel analyzer of emission spectra (MAES) is complicated by the impact of the macro component and its chemical form on the intensity of the spectral lines of the impurities. Introduction of a corrective additive is proved to eliminate this effect. A technique for measuring the mass fraction of macro elements and trace elements in plant ash is proposed and metrological certification of the procedure is carried out.

Keywords: technique of spectral analysis; plant ash; macroelements; trace elements; quality measurement indicators.

Макро- и микроэлементы играют важную роль в биогенезе биологически активных веществ. Элементный состав следует рассматривать как важную составляющую часть лекарственных средств, полученных из растительного сырья [1 – 3]. Кроме того, растения являются индикато-

рами экологического состояния района их произрастания. Поэтому задача определения микроэлементов, тяжелых и токсичных элементов в растительных образцах является актуальной.

Макро- и микроэлементы в концентратах растений определяли методом дуговой атомно-

Таблица 1. Содержание элементов основы (мкг/г) в зольном остатке растения *Agrimonia pilosa* (место сбора — Томская область) ($n = 10$; $P = 0,95$)

Элемент	Метод анализа				
	ДАЭС	ИСП-МС	ААС	ПАЭС	СФ
К	$(1,9 \pm 0,3) \cdot 10^5$	—	—	$(1,8 \pm 0,2) \cdot 10^6$	—
Ca	$(4,2 \pm 0,5) \cdot 10^4$	$(3,9 \pm 0,3) \cdot 10^4$	—	—	—
Mg	$(2,2 \pm 0,3) \cdot 10^4$	$(2,5 \pm 0,3) \cdot 10^4$	—	—	—
P	$(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^4$	—	—	—	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^4$
Si	$(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^4$	—	—	—	—
Na	—	—	—	$(2,2 \pm 0,2) \cdot 10^3$	—
Zn	$(1,9 \pm 0,3) \cdot 10^3$	$(2,1 \pm 0,2) \cdot 10^3$	$(1,7 \pm 0,1) \cdot 10^3$	—	—

эмиссионной спектрометрии (ДАЭС) с использованием спектрального комплекса производства предприятия «ВМК-Оптоэлектроника», который включает спектрометр «Гранд» с многоканальным анализатором эмиссионных спектров (МАЭС) и спектроаналитический генератор «Везувий-3» со штативом УШТ-4 [4 – 7]. Для исследования состава зольных остатков растений, устранения матричных влияний на стадии пробоподготовки и проведения сличительных испытаний при оценке правильности использовали методы атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС) (атомно-абсорбционный спектрометр Solarar S производства Thermoelectron, США), ИК-спектроскопии (Фурье-спектрометр Nicolet 6700 производства ThermoFisher Scientific, США), рентгенофазового анализа (РФА) (дифрактометр Rigaku MiniFlex 600 (CuK — излучение) производства Rigaku, Япония), термического анализа (дериватограф STA 409 PC Luxx производства Netzsch, Германия), масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) (квадрупольный ИСП-масс-спектрометр низкого разрешения Agilent 7500 производства Agilent Technologies, США).

Определение элементов основы и их форм в золе растений. На начальной стадии создания методики спектрального анализа растений проведено определение макрокомпонентов [8]. Для этого навески предварительно высушенных растительных образцов массой 1,0000 – 5,0000 г озоляли в муфельной печи при температуре 450 – 500 °С в течение 1,5 – 2 ч, пока остатки проб не приобретали серовато-белый цвет. Полученные зольные остатки взвешивали, растирали в агатовой ступке до однородного порошкообразного состояния и разбавляли графитовым порошком в 100 раз. Градуировочную зависимость для определения основных компонентов строили с использованием комплекта государственных стандартных образцов состава графитового коллектора микропримесей СОГ-37 (ГСО 8487–2003) [9].

Спектры анализируемых проб и стандартных образцов регистрировали с помощью спектрометра «Гранд» с МАЭС. Щелочные элементы (К, Na) определяли в растворе зольного остатка растений методом атомно-эмиссионной спектрометрии с атомизацией в пламени (ПАЭС) с использованием спектрометра Solaar. В этом же растворе определяли содержание ряда элементов методами ИСП-МС (Ca, Mg, Zn) и ААС (Zn). Фосфор определяли в тех же растворах методом абсорбционной спектрофотометрии (СФ) в виде фосфорномолибденовой гетерополикислоты, восстановленной аскорбиновой кислотой в присутствии тартрата калия-антимонилла (спектрофотометр ПЭ-5400 УФ). Результаты на примере растения *Agrimonia pilosa* представлены в табл. 1.

Как следует из данных таблицы, зола растений состоит преимущественно из следующих элементов (в порядке убывания содержания в пробах): $K > Ca > Mg > P > Si > Na > Zn$, причем содержание калия и кальция значительно (на порядок величины и более) выше, чем других элементов.

Правильность определения основных компонентов в золе растений с предлагаемым способом пробоподготовки была проверена при анализе стандартного образца листа березы ЛБ-1 [10] как близкого аналога лекарственных растений (табл. 2). Видно, что расхождение аттестованного значения с найденным результатом незначимо на фоне случайного разброса, что подтверждает правильность выбранной пробоподготовки при определении основных (матричных) элементов.

Определение микроэлементов методом ДАЭС в зольном остатке растений возможно при его небольшом (не более чем 5 – 10-кратном) разбавлении графитовым порошком. При большем разбавлении содержание некоторых микроэлементов оказывается ниже предела обнаружения. Учитывая результаты определения основных (матричных) элементов в золе растений (см. табл. 1), можно ожидать мешающее влияние с их

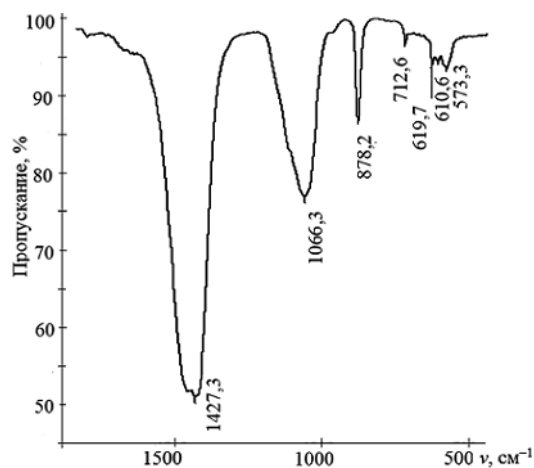


Рис. 1. ИК-спектры пропускания золы *Agrimonia pilosa* в диапазоне 2000 – 450 см⁻¹

стороны на результаты определения примесей, особенно со стороны калия и кальция — элементов с низкими потенциалами ионизации. Для учета или устранения влияний макрокомпонентов необходимо установить молекулярный и фазовый состав зольного остатка растений.

Результаты установления анионного состава зольного остатка растений на примере растения *Agrimonia pilosa* методом ИК-спектроскопии представлены на рис. 1.

Основная полоса пропускания (1450 – 1410 см⁻¹) принадлежит карбонат-анионам CO₃²⁻, им также соответствуют полосы пропускания 878 и 712 см⁻¹. Полоса пропускания 1100 – 1000 см⁻¹ принадлежит фосфат-ионам PO₄³⁻ [11]. Таким образом, можно предположить, что зольный оста-

Таблица 2. Результаты определения (мкг/г) основных элементов в стандартном образце ЛБ-1 методом ДАЭС ($n = 10, P = 0,95, t_{\text{табл}} = 2,28$)

Элементы	Аттестованное значение	Найдено	$t_{\text{эксп}}$
K	7100	7650 ± 550	2,27
Ca	16000	14700 ± 1200	2,47
Mg	4400	4650 ± 400	1,43
P	1540	1870 ± 360	2,09
Si	4000	3600 ± 500	1,82
Na	180	163 ± 24	1,62
Zn	94	110 ± 20	1,82

ток растений состоит из карбонатов калия и кальция с примесями фосфатов. В такой же форме, предположительно, находятся все остальные элементы.

Дифференциальный термический анализ (ДТА) подтверждает присутствие карбонатов в составе золы растений, определенное методом ИК-спектроскопии (рис. 2).

Эндотермический эффект, наблюдаемый при температуре 813,5 °С, может быть обусловлен началом разложения CaCO₃: CaCO₃ → CaO + CO₂, поскольку температура разложения карбоната кальция составляет 850 °С, а эндотермический эффект при $T = 938,6$ °С — процессом K₂CO₃ → K₂O + CO₂, поскольку $T_{\text{разл}}(\text{K}_2\text{CO}_3) > 891$ °С.

Фазовый состав зольного остатка на примере растения *Bergenia crassifolia*, определенный методом рентгенофазового анализа (рис. 3), указы-

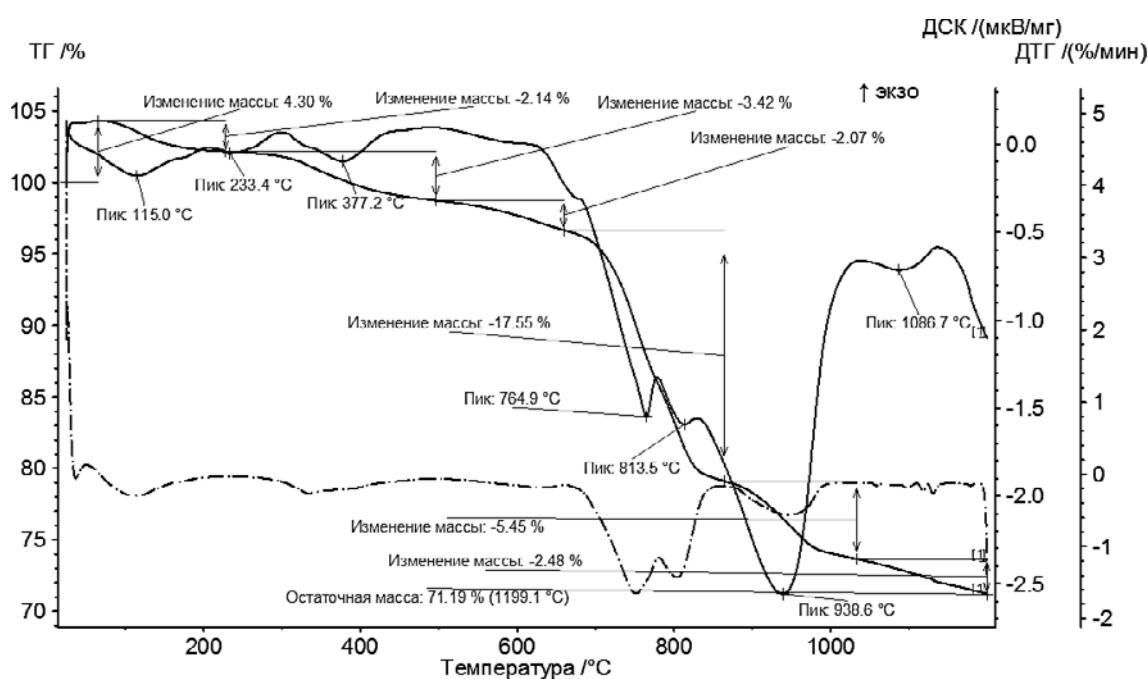


Рис. 2. Дериватограмма золы *Agrimonia pilosa*

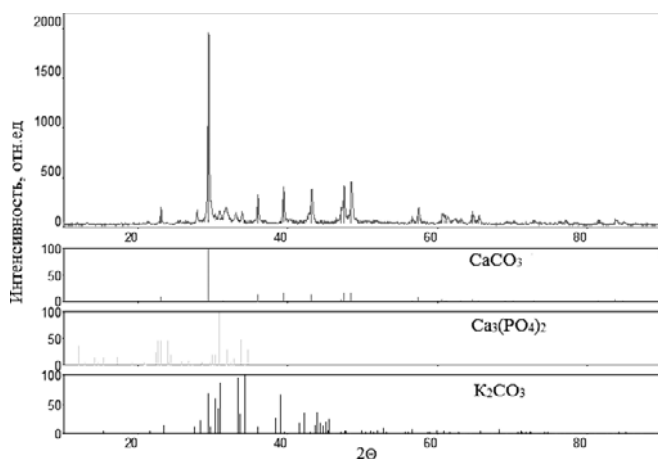


Рис. 3. Дифрактограмма золы *Bergenia crassifolia*

вают на присутствие в пробе карбонатов калия и кальция с примесями фосфатов.

Таким образом, на основании физико-химических исследований можно сделать вывод о том, что зольные остатки растений в основном состоят из карбонатов калия и кальция.

Влияние макрокомпонентов на результаты анализа. Исследование влияния матрицы проводили путем анализа модельных смесей, содержащих одинаковое количество примесей (их вводили путем добавки к графитовому порошку определенного количества стандартного образца СОГ-37-2). В образец 2 добавляли K_2CO_3 , а в образец 3 — $CaCO_3$ в количествах, соответствующих содержанию указанных веществ в реальной золе *Agrimonia pilosa*, разбавленной графитовым порошком в 10 раз. Образец 1 являлся контрольным и не содержал макрокомпонентов. На рис. 4 в виде кривых «испарения – возбуждения» представлена кинетика поступления атомов в зону разряда из этих проб.

Как видно из рис. 4, кривые «испарения – возбуждения», полученные путем развертки спектра во времени, имеют сложный характер. В большинстве случаев процесс поступления атомов в зону разряда носит ступенчатый характер, в особенности для проб, в которых матрица отсутствует. Такой вид кривых обусловлен тем, что в первые секунды горения дуги происходит взрывоподобный выброс анализируемого вещества (обусловленный электрическим пробоем разрядного промежутка), затем горение дуги стабилизируется, и появляется второй кинетический максимум, обусловленный равномерным поступлением атомов в зону разряда. С введением матрицы кинетические максимумы уменьшаются и сглаживаются, что может быть обусловлено протеканием высокотемпературных термохимических реакций матрицы с графитом, входящим в состав пробы. Что касается калия, то благодаря

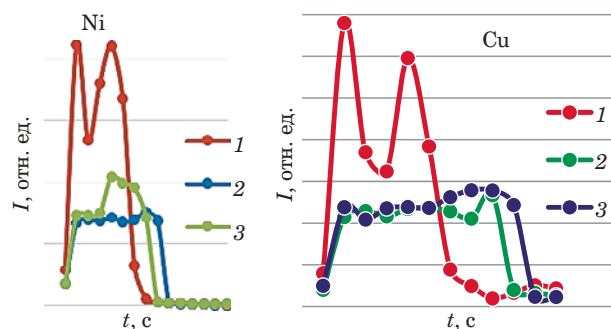


Рис. 4. Зависимость процессов «испарения – возбуждения» от состава пробы: 1 — СОГ-37-2; 2 — СОГ-37-2 + K_2CO_3 ; 3 — СОГ-37-2 + $CaCO_3$

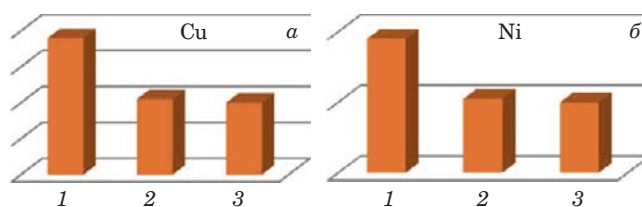


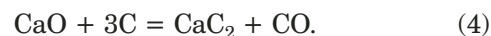
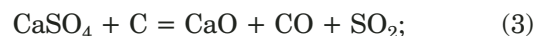
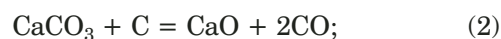
Рис. 5. Диаграммы зависимости накопления аналитического сигнала от состава пробы: 1 — СОГ-37-2; 2 — СОГ-37-2 + K_2CO_3 ; 3 — СОГ-37-2 + $CaCO_3$

низкому потенциалу ионизации (4,1 эВ) он понижает температуру плазмы дуги в результате эмиссии электронов в зону разряда



Снижение температуры приводит к уменьшению количества атомов, участвующих в формировании аналитических сигналов.

Кальций способен участвовать в протекании высокотемпературных термохимических реакций с графитом, входящим в состав пробы, с образованием тугоплавких соединений. Предположительно механизм образования высокотемпературных форм, удерживающих элементы примесей в кратере электродов и занижающих их аналитические сигналы, можно описать с помощью следующих реакций:



Из этого следует, что в присутствии компонентов основы (K_2CO_3 и $CaCO_3$) аналитический сигнал контролируемых примесей уменьшается. Это можно видеть на зависимостях накопления аналитического сигнала меди и никеля от состава пробы (рис. 5).

Поскольку содержание калия в наземной части растений (за исключением семян и плодов)

Таблица 3. Содержание микроэлементов в стандартном образце ЛБ-1 с учетом введения корректирующей добавки K_2CO_3 ($n = 10$; $P = 0,95$; $t_{\text{табл}} = 2,28$)

Элемент	Аттестованное содержание, мкг/г	Найдено, мкг/г			
		Без добавки K_2CO_3	$t_{\text{эксп}}$	С добавкой K_2CO_3	$t_{\text{эксп}}$
Al	830	640 ± 150	2,88	910 ± 130	1,4
B	50	28 ± 4	12,6	57 ± 8	2,00
Ba	230	200 ± 25	2,74	250 ± 30	1,52
Be	0,050	0,027 ± 0,005	10,5	0,044 ± 0,006	2,28
Cd	0,16	0,24 ± 0,03	6,09	0,15 ± 0,02	1,14
Co	0,79	0,65 ± 0,09	3,55	0,72 ± 0,09	1,77
Cr	4,3	3,6 ± 0,3	5,32	4,5 ± 0,5	0,91
Cu	7,3	9,9 ± 1,3	4,57	7,8 ± 0,8	1,44
Fe	730	630 ± 150	1,52	790 ± 130	1,05
Mo	0,16	0,12 ± 0,02	4,57	0,16 ± 0,02	0,14
Mn	930	700 ± 110	4,78	990 ± 110	1,25
Ni	5,8	4,7 ± 0,4	6,27	6,3 ± 0,5	2,28
Pb	3,7	3,2 ± 0,4	2,85	3,3 ± 0,4	2,28
Ti	59	46 ± 4	7,42	66 ± 8	1,99
V	2,1	1,6 ± 0,4	2,85	2,5 ± 0,4	2,28
W	0,30	0,25 ± 0,07	1,63	0,34 ± 0,05	1,83
Zr	5,5	4,1 ± 0,5	6,40	5,1 ± 0,4	2,28

Таблица 4. Результаты метрологической аттестации методики анализа золы лекарственных растений методом ДАЭС ($P = 0,95$)

Элемент	Диапазон, мкг/г	$\Delta_{\text{с}}$, мкг/г	σ_{Rm} , мкг/г	Δ , мкг/г	δ , %
Al	500 – 1000	56	24	73	8,0
Ba	100 – 500	14	15	32	13
Ca	1000 – 20000	н.з.**	1018	1995	13
Fe	500 – 1000	8,9	9,0	20	2,5
Mg	2500 – 7500	372	204	546	12
Mn	600 – 1200	н.з.	26	51	5,0
P	1500 – 2000	149	94	237	13
Si	100 – 5000	232	153	379	13
B	30 – 70	н.з.	3,5	7,0	12
Cd	0,1 – 0,5	0,02	0,010	0,020	13
Co	0,5 – 1	0,09	0,020	0,090	14
Cr	1 – 5	0,50	0,20	0,60	13
Cu	5 – 10	1,1	0,14	1,1	15
Mo	0,1 – 0,5	0,020	0,010	0,030	13
Ni	3 – 7	0,80	0,30	1,0	15
Pb	1 – 5	0,20	0,10	0,30	12
Ti	30 – 70	4,7	4,5	10	15
V	1 – 5	0,27	0,10	0,33	13
W	0,1 – 0,5	0,020	0,01	0,040	10
Zn	80 – 130	н.з.	3,4	6,7	5,0
Zr	3 – 7	0,25	0,18	0,40	8,0
K (ПФ)*	5000 – 20000	н.з.	471	923	13
Na (ПФ)	150 – 250	н.з.	10	20	11
Li (ПФ)	0,5 – 1,5	н.з.	0,030	0,05	4,0

* Щелочные элементы определяли методом АЭС с атомизацией в пламени.

** н.з. — незначимость систематической составляющей погрешности.

преобладает, а в сумме его содержание в зольных остатках, десятикратно разбавленных графитовым порошком, не превышает 5 % масс., доказана возможность устранения матричного влияния путем введения корректирующей добавки (спиртовой раствор K_2CO_3 , 5 % масс. по катиону) непосредственно в кратер электродов со стандартными образцами СОГ-37. Предлагаемый способ устранения матричного влияния при определении микропримесей проверен при анализе стандартного образца листа березы ЛБ-1 (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что предлагаемый способ корректировки (введение в стандартные образцы спиртового раствора K_2CO_3 , 5 % масс. по катиону) при определении микропримесей, входящих в состав растений, может быть использован для устранения матричных влияний.

Метрологическая аттестация атомно-эмиссионной методики анализа золы растений. В соответствии с нормативным документом (РМГ-61-2010) [12] проведена предварительная

метрологическая аттестация предложенной методики (табл. 4).

Результаты анализа ряда лекарственных растений по разработанной методике представлены в табл. 5.

Таким образом, методами ДАЭС, ААС, ИСП-МС, ПФ, СФ определен элементный состав зольного остатка лекарственного растения *Agri-
monia pilosa*. Показано, что преобладающими элементами золы растений являются К и Са, причем содержание калия значительно превосходит содержание кальция и других элементов основы. Методами ИК-спектроскопии, рентгенофазового и термогравиметрического анализа показано, что зольный остаток растений состоит главным образом из карбонатов калия и кальция с примесями фосфатов. Исследовано влияние карбонатов калия и кальция на процессы «испарения – возбуждения» контролируемых примесей и на их аналитический сигнал. Доказана возможность устранения матричного влияния путем введения корректирующей добавки (спиртовой рас-

Таблица 5. Элементный состав некоторых лекарственных растений, установленный методом ДАЭС по разработанной методике ($n = 5$; $P = 0,95$)

Элемент	Мелисса	Лист эвкалипта	Шалфей	Ромашка	Лабазник
Массовая доля в сухом образце, %					
К	3,2 ± 0,4	1,9 ± 0,2	2,2 ± 0,2	4,2 ± 0,4	1,8 ± 0,2
Са	1,20 ± 0,16	0,98 ± 0,14	1,5 ± 0,2	0,58 ± 0,07	0,50 ± 0,06
Mg	0,42 ± 0,05	0,20 ± 0,03	0,43 ± 0,05	0,16 ± 0,02	0,20 ± 0,03
Si	0,19 ± 0,04	0,16 ± 0,03	1,0 ± 0,2	0,12 ± 0,03	0,13 ± 0,03
P	0,20 ± 0,04	0,74 ± 0,02	0,18 ± 0,04	0,22 ± 0,05	0,16 ± 0,03
Содержание, мкг/г сухого образца					
Na	420 ± 50	430 ± 45	160 ± 20	5400 ± 540	130 ± 15
Fe	510 ± 60	340 ± 40	1500 ± 120	360 ± 40	64 ± 7
Al	410 ± 35	230 ± 18	1140 ± 90	320 ± 25	50 ± 4
Mn	67 ± 5	70 ± 6	90 ± 7	53 ± 4	42 ± 3
Ti	30 ± 5	11 ± 2	170 ± 25	37 ± 6	4,0 ± 0,7
Ba	24 ± 3	40 ± 6	40 ± 5	1,2 ± 0,2	17 ± 2
Zn	30 ± 2	15 ± 1	103 ± 8	28 ± 3	24 ± 2
B	16 ± 2	22 ± 3	62 ± 7	23 ± 3	18 ± 2
Cu	5,9 ± 0,9	3,1 ± 0,5	21 ± 3	6,8 ± 0,9	4,1 ± 0,6
Mo	1,1 ± 0,1	0,13 ± 0,02	0,18 ± 0,02	0,37 ± 0,05	0,060 ± 0,007
Ni	1,6 ± 0,3	5,2 ± 0,7	5,5 ± 0,9	1,4 ± 0,3	0,55 ± 0,11
Cr	1,5 ± 0,3	0,56 ± 0,09	5,6 ± 1,2	0,91 ± 0,17	0,003 ± 0,001
Zr	1,2 ± 0,1	0,44 ± 0,04	17 ± 2	1,4 ± 0,2	0,042 ± 0,003
Pb	0,60 ± 0,03	0,17 ± 0,02	1,6 ± 0,1	0,38 ± 0,02	0,076 ± 0,009
V	0,40 ± 0,05	0,25 ± 0,03	0,92 ± 0,12	0,52 ± 0,07	0,060 ± 0,007
W	0,11 ± 0,01	0,033 ± 0,005	0,055 ± 0,008	0,022 ± 0,002	0,022 ± 0,003
Cd	0,17 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,20 ± 0,03	0,19 ± 0,02	0,079 ± 0,010
Co	0,060 ± 0,008	0,090 ± 0,012	0,31 ± 0,04	0,060 ± 0,008	0,040 ± 0,005
Be	0,031 ± 0,005	0,033 ± 0,006	0,030 ± 0,004	0,019 ± 0,003	0,015 ± 0,003

твор K_2CO_3 , 5 % масс. по катиону) непосредственно в кратер электродов со стандартными образцами СОГ-37. На основании проведенных исследований предложена методика определения макро- и микроэлементов в зольном остатке лекарственных растений методом ДАЭС с многоканальным анализатором эмиссионных спектров (МАЭС), позволяющая учесть матричное влияние. После метрологической аттестации методика применена для анализа ряда лекарственных растений Сибири.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Anke M.** Mengen- und Spurenelemente, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena (1998).
2. **Ноздрюхина Л. Р., Гринкевич Н. И.** Нарушение микроэлементного обмена и пути его коррекции. — М.: Наука, 1980. — 168 с.
3. **Шилова И. В.** Фармакологические аспекты изучения химических элементов в растениях / Матер. межд. молод. школы-семинара, посвящ. 150-лет. со дня рожд. В. И. Вернадского «Геохимия живого вещества». — Томск, 2013. С. 111 – 115.
4. **Лабусов В. А.** Приборы и комплексы компании «ВМК-Оптоэлектроника» для атомно-эмиссионного спектрального анализа. Современное состояние / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81. № 1. Ч. II. С. 12 – 21.
5. **Пушпшев А. А., Суриков В. Т.** Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой. Образование ионов. — Екатеринбург: УрО РАН, 2006. — 114 с.
6. **Отмахов В. И.** Методологические особенности создания методики атомно-эмиссионного анализа различных объектов / Аналитика и контроль. 2005. Т. 9. № 3. С. 245 – 249.
7. **Отмахов В. И., Петрова Е. В.** Оптимизация условий проведения атомно-эмиссионного спектрального анализа порошковых проб сложного состава на графитовой основе / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. № 1. Ч. 2. С. 82 – 85.
8. **Отмахов В. И., Петрова Е. В., Шилова И. В. и др.** Дуговой атомно-эмиссионный спектральный анализ лекарственных растений / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81. № 1. Ч. II. С. 145 – 148.
9. ГСО 8487–2003. Стандартные образцы состава графитового коллектора микропримесей. Комплект СОГ-37. — Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2003.
10. ГСО 8923 – 2007 (ЛБ-1). Стандартный образец состава листа березы. — Иркутск: Институт геохимии им. А. П. Вернадского СО РАН. 2007.
11. **Накамото К.** ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. — М.: Мир, 1991. — 54 с.
12. РМГ 61–2010. ГСИ. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки. — М.: Стандартинформ, 2012. — 58 с.

REFERENCES

1. **Anke M.** Mengen- und Spurenelemente, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena (1998).
2. **Nozdryukhina L. R., Grinkevich N. I.** Disturbance of microelement exchange and ways of its correction. — Moscow: Nauka, 1980. — 168 p. [in Russian].
3. **Shilova I. V.** Pharmacological aspects of the study of chemical elements in plants / Materials of the international youth school-seminar devoted to the 150th anniversary of V. I. Vernadsky “Geochemistry of living matter”. — Tomsk, 2013. P. 111 – 115 [in Russian].
4. **Labusov V. A.** Devices and systems for atomic emission spectroscopy produced by “VMK-Optoelektronika”: state-of-the-art / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2015. Vol. 81. N 1. Part II. P. 12 – 21 [in Russian].
5. **Pupyshev A. A., Surikov V. T.** Mass spectrometry with inductively coupled plasma. Ions formation. — Yekaterinburg: UrO RAN, 2006. — 114 p. [in Russian].
6. **Otmakhov V. I.** Methodological features of creation of atomic-emission techniques for various objects / Analit. Kontrol'. 2005. Vol. 9. N 3. P. 245 – 249 [in Russian].
7. **Otmakhov V. I., Petrova E. V.** Optimization of conditions for atomic-emission spectral analysis of graphite-based powder samples of complex composition / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2012. Vol. 78. N 1. Part II. P. 82 – 85 [in Russian].
8. **Otmakhov V. I., Petrova E. V., Shilova I. V., et al.** Arc atomic emission analysis of medicinal herbs / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2015. Vol. 81. N 1. Part II. P. 145 – 148 [in Russian].
9. GSO 8487–2003. Certified reference materials of trace impurities in graphite collector composition. Set SOG-37. — Yekaterinburg: USTU-UPI, 2003 [in Russian].
10. GSO 8923 – 2007 (LB-1). Certified reference material of birch leaf composition. — Irkutsk: Institut geokhimmii im. A. P. Vernadskogo SO RAN. 2007.
11. **Nakamoto K.** IR spectra and Raman spectra of inorganic and coordination compounds. — Moscow: Mir, 1991. — 54 p. [Russian translation].
12. RMG 61–2010. State system for ensuring the uniformity of measurements. Accuracy, trueness and precision measures of the procedures for quantitative chemical analysis. Methods of evaluation. — Moscow: Standartinform, 2012. — 58 p. [in Russian].