УДК 543.423:621.387.143
DOI: 10.36979/1694-500X-2026-26-8-20-23

ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А. Чылымов, Т.Т. Султангазиева, Н.Ж. Жеенбаев

Аннотация. В медицинской практике знание и достоверное определение элементного состава конкрементов, извлеченных при хирургических вмешательствах, весьма важно для выявления причин камнеобразования и подбора терапии. В свою очередь для профилактики, диагностики и лечения заболеваний почек, печени и желчного пузыря знание элементного состава и структуры почечных, печеночных и желчных камней весьма важно для прогнозирования и определения методов и процедур их растворения. Методом атомно-эмиссионного спектрального анализа определены 18 элементов в пробах из желчных, печеночных и почечных камней, а также 15 элементов в составе человеческой крови. Для проведения исследования органических и биологических объектов была разработана оригинальная методика, позволяющая проводить полуколичественный анализ исследуемых проб. В качестве источника возбуждения спектров использовался двухструйный плазматрон. Разработанная методика эмиссионного спектрального анализа с использованием двухструйного плазматрона может быть применена для исследования других органических и биологических объектов.

Ключевые слова: спектральный анализ; плазматрон; интенсивность; тяжелые металлы; стандартный образец; спектрограмма; источник возбуждения; точность анализа; полуколичественный анализ.

ЖАРЫМ САНДЫК СПЕКТРАЛДЫК ЫКАМАСЫ МЕНЕН ОРГАНИКАЛЫК ЖАНА БИОЛОГИЯЛЫК АЙМАКТАРДАГЫ ЭЛЕМЕНТТЕРДИН КУРАМЫН АНЫКТОО

А. Чылымов, Т.Т. Султангазиева, Н.Ж. Жеенбаев

Аннотация. Медициналык практикада хирургиялык жол менен алынып салынган өттөгү, боордогу жана бөйрөктөгү таштардын элементтик курамын билүү таштын пайда болушунун себептерин аныктоо жана терапияны тандоо үчүн өтө маанилүү. Өз кезегинде бөйрөк, боор жана өт баштыкчасынын ооруларын алдын алуу, диагностикалоо жана дарылоо үчүн таштардын элементтик курамын жана түзүмүн билүү, аларды эритүү ыкмаларынын жардамы менен дарылоо жол-жоболорун аныктоо үчүн өтө зарыл. Атомдук-эмиссиялык спектрдик анализди колдонуу менен өттөгү, боордогу жана бөйрөктөгү таштардан алынган үлгүлөрдөгү 18 элемент, ошондой эле адамдын канындагы 15 элемент аныкталган. Үлгүлөрдүн жарым-сандык анализин жүргүзүү үчүн, уникалдуу ыкма иштелип чыккан. Спектрди дүүлүктүрүү булагы катары эки агымдуу плазматрон колдонулган. Эки агымдуу плазматронду колдонуу менен иштелип чыккан эмиссиялык спектралдык анализдин ыкмасы башка органикалык жана биологиялык үлгүлөрдү изилдөө үчүн колдонулушу мүмкүн.

Түйүндүү сөздөр: спектралдык анализ; плазматрон; интенсивдүүлүк; оор металлдар; стандарттык үлгү; спектрограмма, дүлүгүү булагы; талдоонун тактыгы; жарым сандык анализ.

SEMI-QUANTITATIVE METHODS OF SPECTRAL ANALYSIS OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF ORGANIC AND BIOLOGICAL OBJECTS

A. Chylymov, T.T. Sultangazieva, N.Zh. Zheenbaev

Abstract. In medical practice, knowledge and reliable determination of the elemental composition of stones removed during surgical procedures is essential for identifying the causes of stone formation and selecting therapy. In turn,

for the prevention, diagnosis, and treatment of kidney, liver, and gallbladder diseases, knowledge of the elemental composition and structure of kidney, liver, and gallstones is essential for prognostication and determining methods and procedures for their dissolution. Using atomic emission spectral analysis, 18 elements were identified in samples from gallstones, liver stones, and kidney stones, as well as 15 elements in human blood. To study organic and biological samples, a unique method was developed that allows for semi-quantitative analysis of the samples. A DGP-100 dual-jet plasmatron was used as the spectral excitation source. The developed method of emission spectral analysis using a two-jet plasmatron can be applied to the study of other organic and biological objects.

Keywords: spectral analysis; plasmatron; intensity; heavy metals; standard sample; spectrogram; excitation source; analysis accuracy; semi-quantitative analysis.

Атомно-эмиссионный спектральный анализ – один из высокоэффективных методов определения минерального состава почечных, печеночных и желчных камней, среди которых Ca, Mg, P, Fe и многие другие. В медицинской практике знание и достоверное определение элементного состава конкрементов, извлеченных при хирургических вмешательствах, весьма важно для выявления причин камнеобразования и подбора терапии. В свою очередь, для профилактики, диагностики и лечения заболеваний почек, печени и желчного пузыря знание элементного состава и структуры почечных, печеночных и желчных камней весьма важно для прогнозирования и определения методов и процедур их растворения. Общеизвестно [1], что именно неорганические соединения, образование которых в почках, печени и желчи связано с разными патологическими процессами, играют важную роль в возникновении и формировании камней.

В целом же, эмиссионный спектральный анализ позволяет не только исследовать биогенные образования, возникающие в результате метаболических нарушений, но и может использоваться для диагностики различных заболеваний. В частности, спектральный анализ обеспечивает возможность определения химического состава и концентрации биологических материалов [2]. Так, при спектральном анализе крови, метод позволяет оперативно выявить дисбаланс элементов, диагностировать нехватку жизненно важных (Zn, Mg, Fe) или избыток токсичных (Pb, Hg) веществ, т. е. используется для диагностики нарушений минерального обмена, оценки токсического воздействия на организм. Это не только помогает оценить состояние обмена микроэлементов, что критически важно при хронических заболеваниях и интоксикациях, но и является важным для неинвазивной диагностики и профилактики заболеваний.

Для методик, использующих спектральный анализ для исследования органических и биологических объектов, незаменимым инструментом является прямой атомно-эмиссионный анализ, реализуемый в двухструйном дуговом плазматроне. Отличительной особенностью использования дугового генератора плазмы, в качестве источника возбуждения спектра, является высокая скорость – экспресность возможность одновременного получения информации по широкому кругу элементов непосредственно в зоне разряда [3]. Особенно важно, что испытуемый образец подвергается в дуговом генераторе плазмы воздействию высоких температур (термическое возбуждение), из-за чего улучшается чувствительность и точность анализа [4], что выгодно отличает его от других источников возбуждения спектра. Также конструктивные особенности двухструйного плазматрона позволяют уменьшить загрязнение пробы, потерю аналитов при ее предварительной подготовке.

Разработанная методика определения химических элементов в конкрементах позволила на начальном этапе провести качественный, и затем полуколичественный атомно-эмиссионный спектральный анализ. Исследования проводились в потоке плазмы двухструйного плазматрона дугового генератора плазмы-100 для широкого спектра объектов. Республиканским экспериментальным научно-производственным центром курортологии и традиционной медицины в качестве проб были представлены камни, выведенные из человеческого организма лекарственными травами, а Кыргызская государственная медицинская академия предоставила человеческую кровь. Подготовка проб к анализу была проведена с учетом специфики каждого объекта.

Анализируемые камни измельчали в агатовой ступке с добавлением спирта до получения пудры. Затем полученную пробу разбавляли 5 раз углем марки ОСЧ-8-4, что было вызвано недостаточным

количеством исходной пробы. Приготовленную пробу помещали в контейнер, предназначенный для подачи порошков в плазму. Контейнер с пробой устанавливают в устройство подачи порошков [5]. С помощью аргона (расход ~ 1 л/мин) порошок вдувают в плазму двухструйного плазматрона [6] при силе тока – 80 А и расходе рабочего газа – 3 л/мин.

Спектрограммы получают при следующих условиях:

- освещение щели спектрографа – однолинзовая система с резкой проекцией изображения факела на щели спектрографа;
- аналитическая зона потока плазмы расположена на расстоянии 25 мм от среза сопел плазматрона;
- фотопластинка – ЭС с чувствительность 9 ед. ГОСТа;
- щель спектрографа – 0,018–0,02 мм;
- экспозиция сьемки в зависимости от регистрируемой области спектра составляет 20–45 сек.

После сьемки каждой пробы производят очистку системы подачи порошка путем вдувания чистого угольного порошка в течении 15–20 сек. На каждой фотопластинке снимают спектр железа, вдувая порошок Fe_2O_3, экспозиция сьемки –7 сек. Аналитические линии определяемых элементов и фон рядом с линией фотометрировали на микроденситометре МД-100 и находили значения интенсивности спектральных линий исследуемых элементов. Концентрация элементов в пробах устанавливается по условной шкале, общей для каждого порядка спектра.

Например, в интервале от 0,01 до 0,1 % содержание элемента может выражаться следующими округленными величинами: 0,01; 0,015; 0,02; 0,03; 0,05; 0,07; 0,10 %, что соответствует нестабильной шкале для каждого порядка концентрации элементов [7].

Таблица 1 – Результаты полуколичественного анализа исследуемых почечных, печеночных и желчных камней

№ п/п	Определяемый элемент	Содержание элементов в камнях, %		
		желчный	печеночный	почечный
1	Кальций	4,0	2,0	0,1
2	Железо	1,0	1,0	0,5
3	Кремний	1,0	0,12	0,15
4	Алюминий	0,1	0,05	0,01
5	Фосфор	0,1	0,1	0,001
6	Магний	0,1	0,1	0,05
7	Натрий	0,01	0,01	0,01
8	Марганец	0,01	0,02	0,001
9	Титан	0,01	0,002	0,002
10	Барий	0,05	0,007	0,0015
11	Стронций	0,007	0,001	0,0001
12	Бор	0,005	0,0002	0,0001
13	Цинк	0,005	0,005	0,002
14	Ванадий	0,001	0,001	0,001
15	Хром	0,0001	0,0001	0,0001
16	Молибден	0,0001	0,0001	следы
17	Серебро	0,00001	0,000001	отсутствует
18	Медь	0,00005	следы	следы

Как видно из таблицы 2, наибольшее содержание кальция наблюдается в пробах, подготовленных из желчных камней. Также анализ показал, что содержание элементов в желчных, печеночных и почечных камнях различно, более того, заметно существенное различие по содержанию в них органических соединений.

Таблица 2 – Результаты полуколичественного анализа человеческой крови

№ п/п	Определяемый элемент	Содержание элемента, %	№ п/п	Определяемый элемент	Содержание элемента, %
1	Калий	0,21	9	Цирконий	0,003
2	Магний	0,14	10	Кремний	0,004
3	Железо	0,08	11	Барий	0,002
4	Кальций	0,06	12	Медь	0,0015
5	Фосфор	0,05	13	Цинк	0,0015
6	Натрий	0,05	14	Марганец	0,0005
7	Титан	0,015	15	Ванадий	0,004
8	Алюминий	0,005			

Таким образом, методом атомно-эмиссионного спектрального анализа определены 18 элементов в пробах из желчных, печеночных и почечных камней, а также 15 элементов в составе человеческой крови. Разработанная методика эмиссионного спектрального анализа с использованием двухструйного плазматрона может быть применена для исследования других органических и биологических объектов.

Выводы.

1. Установлено, что в желчных печеночных и почечных камнях, выведенных из человеческого организма, присутствуют 18 химических элементов, а в человеческой крови – 15.

2. Проведены полуколичественные анализы (погрешность ~ 30 %) желчных и почечных камней и человеческой крови. Тем самым создана предпосылка для разработки методики определения элементов (погрешность ~ 20 %) в указанных выше объектах.

Поступила: 15.06.2026; рецензирована: 29.06.2026; принята: 01.07.2026.

Литература

1. *Тыналиев М.Г.* Анализ почечных камней при помощи плазматрона / М.Г. Тыналиев, К. Урманбетов // Фрунзе. Здавоохранение Киргизии. 1975. № 1. С. 12–16.
2. *Чылымов А.* Двухструйный плазматрон – источник возбуждения спектров: монография / А. Чылымов. Бишкек, 2026. 159 с.
3. *Доржуева Г.Ж.* Методы спектрального анализа для исследования жидких проб с использованием двухструйного плазматрона: монография / Г.Ж. Доржуева. Бишкек, 2024. 122 с.
4. *Доржуева Г.Ж.* Предел обнаружения и правильность в атомно-эмиссионном спектральном анализе / Г.Ж. Доржуева, А. Татыбеков // Физика. НАН КР. 2019. № 2. С. 53–57.
5. *Чылымов А.* Устройство для ввода порошковых проб в плазму дуги / Ж.Ж. Жеенбаев, К. Урманбетов, Б. Мамбетова // Авторское свиделельство № 1589731. СССР, 1990.
6. *Жеенбаев Ж.Ж.* Двухструйный плазматрон / Ж.Ж Жеенбаев, В.С. Энгельшт. Фрунзе, 1983. 202 с.
7. *Гречихин Л.И.* Применение спектрального анализа в народном хозяйстве и научных исследованиях / Л.И. Гречихин. Минск, 1964.