

Из формулы (3) выразим центральный угол

$$\angle MON = 2 \arcsin\left(\frac{MN}{2R}\right). \quad (4)$$

Подставляя выражение (4) в формулу (1), учитывая равенство (2), получим

$$\angle BMN = \arcsin\left(\frac{MN}{2R}\right) = \arcsin(0,6) = 36^\circ$$

Тогда максимальный угол поворота луча относительно измеряемой детали будет равен

$$\angle ETL = \angle BMN - \angle LCK = 36^\circ - 9^\circ = 27^\circ,$$

где $\angle LCK = 9^\circ$ – это угол падения луча на сферическую поверхность измеряемой детали, известный из оптической схемы.

Таким образом максимальный угол поворота луча, который необходимо конструктивно обеспечить $\alpha = 27^\circ$.

Литература

1. Производственная компания ООО «МакроОптика». Россия. Москва. Буклет. – 20 с. <https://macrooptica.ru/f/macrooptica.pdf>.
2. ООО «ЭссентОптикс». Беларусь. Минск. Буклет. – https://www.essentoptics.com/f/file/LINZA_rus_092019.pdf.

УДК 621.3.038.825.2

АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ВОЛОС МЕТОДОМ ЛАЗЕРНО-ИСКРОВОЙ ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Шор Р.В.¹, Ясюкевич А.С.²

¹ООО «СОЛ инструментс»

Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Волосы человека несут информацию о метаболических изменениях концентраций химических элементов в организме за продолжительное время и содержат следы протекавших в нем биохимических процессов. Измерение концентраций химических элементов в волосах делает возможным диагностику дисбаланса витаминов и минералов, определение превышения допустимых норм токсичных веществ, а также установления причин различного рода загрязнений организма и выявление их источников. К примеру, значительное превышение свинца в организме может приводить к спазмам и болям в конечностях, поражению органов кроветворения и почек, бериллия – к угнетению многих ферментов и появлению аутоиммунных заболеваний многих ферментов и появлению аутоиммунных заболеваний. Недостаток или переизбыток какого-либо химического элемента говорит о необходимости коррекции не только рациона питания, но и множества других факторов [2]. Именно поэтому данное направление анализа так перспективно как в диетологии, так и в медицине вообще.

Лазерноискровая эмиссионная спектроскопия (ЛИСП) – метод спектрального элементного анализа, в котором анализируют спектры плазмы лазерной искры с поверхности исследуемого образца. Лазер создает на поверхности материала облако плазмы, свечение которой направляется оптической системой в спектрометр для последующего анализа. Преимущество данного метода для анализа волос человека перед другими заключается в том, что в настоящее время он позволяет определять массовое содержание 26 хи-

мических элементов в образце менее чем за 30 минут. Достаточно 50 мг волос для проведения анализа. Сложная пробоподготовка, как в методе индуктивно-связанной плазмы, не требуется. Так же безусловным плюсом можно считать возможность определения характера изменения концентраций химических элементов от корней пучка волос до их кончиков, производя последовательный ряд измерений на разной длине пряди. Это возможно благодаря малой зоне анализа, в то время как в рентгенофлуоресцентном методе, к примеру, можно получить только усредненное значение содержания элементов.

В методе ЛИСП спектры излучения исследуемого образца сравниваются со спектрами излучения эталонов (стандартных образцов), имеющих аттестованные значения концентраций химических элементов. В данной работе использовались международные сертифицированные стандартные образцы серий NCS DC 73347 и NCS ZC 81002.

Нами были проведены исследования волос мужчины в возрасте 40 лет без видимых патологий. Спектральная область, исследовании составила около 400 нм. Для железа, например, было выбрано 6 характеристических линий, нм: 258,5876, 259,9396, 261,1874, 261,3825, 302,0639, 404,5813. Увеличение количества характеристических спектральных линий для анализа повышает точность и уменьшает ошибку определения содержания элементов. Режим возбуждения плазмы – двухимпульсный, это позволяет значительно повысить интенсивность спектральных линий.

Таблица 1 – Результаты элементного анализа волос

№	Химический элемент	Допустимые значения (мужчина), мг/г [1]	Результат, мг/г (среднее по длине пряди ± погрешность, P = 0,95)
1	Ag (серебро)	0,02–4,0	0,040 ± 0,007
2	Al (алюминий)	0,5–25	4,6 ± 1,6
3	Ba (барий)	0,1–6,0	2,8 ± 0,7
4	B (бор)	0,1–3,5	2,4 ± 0,7
5	Be (бериллий)	0,005–0,1	0,037 ± 0,007
6	Ca (кальций)	300–1200	807 ± 210
7	Cr (хром)	0,2–2,0	0,52 ± 0,19
8	Cu (медь)	7,5–50	50 ± 8
9	Fe (железо)	10–30	17 ± 5
10	F (фтор)	10–100	11 ± 2
11	K (калий)	40–250	365 ± 66
12	Mg (магний)	25–130	60 ± 11
13	Mn (марганец)	0,2–2,0	0,85 ± 0,24
14	Mo (молибден)	0,02–2,0	< 0,1 –
15	Li (литий)	0,01–0,25	0,16 ± 0,03
16	Na (натрий)	50–600	158 ± 24
17	Ni (никель)	0,1–1,0	0,35 ± 0,15
18	P (фосфор)	100–200	108 ± 32
19	Pb (свинец)	0,05–5,0	< 3 –
20	Rb (рубий)	0,1–2,0	0,55 ± 0,10
21	Si (кремний)	10–70	158 ± 41
22	Sn (олово)	до 2,0	0,20 ± 0,05
23	Sr (стронций)	0,2–10	3,3 ± 0,8
24	Ti (титан)	0,1–4,0	1,4 ± 0,3
25	Y (итрий)	нет данных	< 1 –
26	Zn (цинк)	100–300	133 ± 21

Результаты исследования представлены в таблице. Полученные результаты, в совокупности с данными других исследований, позволят лечащему врачу дать рекомендации по корректирующему лечению и диете для поддержания здоровья пациента.

Далее планируется доработка математических моделей обработки полученных результа-

тов, а также увеличение числа анализируемых элементов.

Литература

2. Barrett, S. Commercial hair analysis: Science or scam. J Am. Med. Assoc. 1985, 254:1041–1045.

1. Скальный А.В. Химические элементы в физиологии человека. М.: Издательский дом «Оникс 21 век»: Мир, 2004. – 216 с.

УДК 528.716

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ВАРИАНТ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ ВИДЕОСПЕКТРАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ «СОВА-2-426»

Голубев Ю.В.¹, Щербаков Н.Г.¹, Ломако А.А.¹, Хомищев А.Д.¹, Беляев М.Ю.², Сармин Э.Э.²

¹Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко БГУ
Минск, Республика Беларусь

²Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева
Королев, Московская область, Российская Федерация

В рамках космического эксперимента (КЭ) по исследованию оптических характеристик Земли «Ураган» на борту Международной космической станции (МКС) используются различные приборы наблюдения, включающие фото- и видеоспектральную аппаратуру, наводимую на исследуемые объекты экипажем вручную через иллюминаторы. Однако на планирование таких экспериментов налагаются сильные ограничения, прежде всего связанные с необходимостью учета

распорядка дня экипажа и наличия у него времени, выделенного на проведение научных экспериментов. Решением, позволяющим расширить возможности по исследованию наземных объектов, является использование специальных автоматизированных платформ наведения (ПН).

По контракту с ПАО РКК «Энергия» НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ начал разработку автоматизированной системы ориентации видеоспектральной аппаратуры (СОВА) [1]. Си-