

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В БИООБЪЕКТАХ МЕТОДАМИ ПЛАМЕННОЙ АТОМНО-АБСОРБЦИОННОЙ И ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

В.И. Барсуков<sup>1</sup>, А.И. Истомина<sup>2</sup>

Кафедры: «Физика» (1), «Биомедицинская техника» (2),  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; njurashka@mail.ru

**Ключевые слова и фразы:** биообъекты; газовое пламя; калибровочные и стандартные растворы; лампы с полым катодом; методы спектрометрии; насадки; характеристическая концентрация.

**Аннотация:** Разработаны методики определения ряда макро- и микроэлементов в биологических объектах методами пламенной спектрометрии.

---

При разработке методик определения макро- и микроэлементов в биологических объектах (внутренние органы животных: сердце, легкие, кишечник; мышечные ткани; кожа и кожные покровы и др.) использовали оборудование с применением серийного спектрометра в совокупности с интегрирующим вольтметром и цифропечатающим устройством [1–4].

Подготовку биообъектов к анализу проводили следующим образом. Отвешивали на аналитических весах 0,5 г предварительно высушенной пробы и помещали ее в пробирку емкостью 20 мл, затем шприцем-дозатором добавляли 6 мл смеси азотной и хлорной кислот (смешанных в объемном отношении 1 : 2).

Залитые смесью кислот пробы оставляли на ночь минерализоваться, после чего их постепенно нагревали под вытяжкой на электрической плите до температуры порядка 200 °С до полного удаления бурых паров двуокиси азота. Для повышения производительности нагревание осуществляли с применением алюминиевого коллектора на 40–200 пробирок. После охлаждения пробы фильтровали через складчатый фильтр и доводили объем фильтрата до 15 мл дистиллированной водой.

**Калибровочные растворы.** Для приготовления калибровочных растворов вначале готовили концентрированные растворы каждого элемента (табл. 1) с концентрацией, равной 0,1 %; затем из них путем последовательного разбавления получали комплексные рабочие калибровочные растворы. Содержание различных элементов в комплексных растворах показано в табл. 2.

### **Определение хрома, марганца, железа, кобальта, никеля, кальция, меди, магния и цинка методом атомно-абсорбционной спектрометрии**

**1. Определение хрома.** При определении хрома использовали аналитическую линию с длиной волны  $\lambda_{Cr} = 357,9$  нм; щелевую насадку к горелке с длиной щели  $l = 110$  мм; пламя смеси «воздух – ацетилен» в нормальном режиме горения.

Таблица 1

**Условия приготовления концентрированных растворов\***

Элемент	Исходный реагент	Навеска, г	Растворитель
Алюминий	Металлическая фольга	1,000	25 мл конц. HCl + конц. HNO <sub>3</sub> **
Железо	Металл АРМКО	1,000	20 мл 5М HCl + 5 мл конц. HNO <sub>3</sub>
Калий	KCl (осушенный)	1,905	Вода
Кальций	CaCO <sub>3</sub>	2,497	100 мл 1М HCl
Кобальт	Металл	1,000	50 мл 6М HNO <sub>3</sub>
Литий	LiCl	9,215	Вода
Магний	Металлическая лента	1,000	50 мл 5М HCl
Марганец	Металл	1,000	50 мл конц. HCl
Медь	Металл	1,000	50 мл 5М HNO <sub>3</sub>
Натрий	(осушенный)	2,542	Вода
Никель	Металл	1,000	50 мл 5М HNO <sub>3</sub>
Стронций	SrCO <sub>3</sub>	1,684	20 мл 1М HCl
Хром	Металл	1,000	50 мл конц. HCl
Цинк	Металл	1,000	50 мл 5М HCl

\* Получаемые растворы имеют концентрацию 0,1 %.

\*\* Несколько капель концентрированной HNO<sub>3</sub>.

Таблица 2

**Содержание элементов в комплексных растворах при определении их в биологических объектах**

Элемент	Содержание, мкг/мл	Содержание при определении K, Na, Ca, Mg, мкг/мл
Железо	10,0	–
Калий	400	10,0
Кальций	400	10,0
Кобальт	10,0	–
Литий	0,1	1,0
Магний	50,0	1,0
Марганец	10,0	–
Медь	10,0	–
Натрий	400	10,0
Никель	10,0	–
Стронций	2,0	–
Хром	10,0	–
Цинк	1,0	–
Лантан	–	1000

Показания ротаметров газораспределительного блока: ацетилен – 8 дел., воздух – 60 дел. Угол разворота насадки относительно оптической оси  $\alpha = 0^\circ$ . Высота просвечиваемой зоны относительно плоскости насадки  $h = 3,5$  мм. Ток через лампу с полым катодом типа ЛСП-1  $I = 20$  мА. Напряжение питания фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-39А  $U = 800 \dots 850$  В. Величина раскрытия щелей монохроматора – 0,010 мм. Градуировку измерительного блока и цифрового интегрирующего вольтметра [1] производили по комплексному стандарту с содержанием хрома 10 мкг/мл, приготовленному на основе смеси кислот, используемых для растворения проб. В качестве холостой пробы использовали раствор смеси кислот. После каждого 5–10-го измерения производили промывку распылительной системы горелки дистиллированной водой.

Калибровочные стандартные растворы готовили в день проведения анализа из комплексного стандарта. Для чего в четыре мерные колбы по 100 мл вносили 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 мл стандартного раствора, доводили до метки 40%-м раствором смеси азотной и хлорной кислот (в объемном отношении 1 : 2). Полученные растворы содержали 0,1; 0,2; 0,5 и 1 мкг/мл Cr, что соответствует с учетом разбавления при «мокром» озолении проб 3; 6; 15 и 30 мг /кг Cr в образцах биологического происхождения.

Характеристическая концентрация хрома в биообъектах – 0,50 мг/кг. Относительное стандартное отклонение результатов измерений на уровне содержания 2 мг/кг хрома не превышает 6,5 %.

**2. Определение марганца.** При определении марганца использовали аналитическую линию с длиной волны  $\lambda_{Mn} = 279,5$  нм; щелевую насадку к горелке с длиной щели  $\ell = 110$  мм; пламя смеси «воздух – ацетилен» в нормальном режиме горения. Показания ротаметров газораспределительного блока: ацетилен – 8 дел., воздух – 60 дел. Угол разворота насадки относительно оптической оси  $\alpha = 0^\circ$ . Высота просвечиваемой зоны относительно плоскости насадки  $h = 3,5$  мм. Ток через лампу с полым катодом типа ЛСП-1  $I = 15$  мА. Напряжение питания фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-39А  $U = 850$  В. Величина раскрытия щелей монохроматора – 0,008 мм. Градуировку измерительного блока и цифрового интегрирующего вольтметра [1] производили по комплексному стандарту с содержанием марганца 10 мкг/мл, приготовленному на основе смеси кислот, используемых для растворения проб. В качестве холостой пробы использовали раствор смеси кислот. После каждого 5–10-го измерения производили промывку распылительной системы горелки дистиллированной водой.

Калибровочные стандартные растворы готовили в день проведения анализа из комплексного стандарта. Для чего в четыре мерные колбы по 100 мл вносили 0,2; 0,4; 1,0; 2,0 мл стандартного раствора, доводили до метки 40%-м раствором смеси азотной и хлорной кислот (в объемном отношении 1 : 2). Полученные растворы содержали 0,02; 0,04; 0,10 и 0,20 мкг/мл Mn, что соответствует с учетом разбавления при «мокром» озолении проб 0,6; 1,2; 3,0 и 6,0 мг/кг Mn в образцах биологического происхождения.

Характеристическая концентрация марганца в биообъектах – 0,03 мг/кг. Относительное стандартное отклонение результатов измерений на уровне содержания 0,2 мг/кг хрома не превышает 5,9 %.

**3. Определение железа.** При определении железа использовали аналитическую линию с длиной волны  $\lambda_{Fe} = 278,3$  нм; щелевую насадку к горелке с длиной щели  $\ell = 110$  мм; пламя смеси «воздух – ацетилен» в нормальном режиме горения. Показания ротаметров газораспределительного блока: ацетилен – 8 дел., воздух – 60 дел. Угол разворота насадки относительно оптической оси  $\alpha = 0^\circ$ . Высота просвечиваемой зоны относительно плоскости насадки  $h = 3,5$  мм. Ток через лампу

с полым катодом типа ЛСП-1  $I = 20$  мА. Напряжение питания фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-39А  $U = 450 \dots 520$  В. Величина раскрытия щелей монохроматора – 0,011 мм. Градуировку измерительного блока и цифрового интегрирующего вольтметра [1] производили по комплексному стандарту с содержанием железа 10 мкг/мл, приготовленному на основе смеси кислот, используемых для растворения проб. В качестве холостой пробы использовали раствор смеси кислот. После каждого 5–10-го измерения производили промывку распылительной системы горелки дистиллированной водой.

Калибровочные стандартные растворы готовили в день проведения анализа из комплексного стандарта. Для чего в четыре мерные колбы по 100 мл вносили 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 мл стандартного раствора, доводили до метки 40%-м раствором смеси азотной и хлорной кислот (в объемном отношении 1:2). Полученные растворы содержали 0,1; 0,2; 0,5 и 1 мкг/мл Fe, что соответствует с учетом разбавления при «мокром» озолении проб 3; 6; 15 и 30 мг/кг Fe в образцах биологического происхождения.

Характеристическая концентрация железа в биообъектах – 0,50 мг/кг. Относительное стандартное отклонение результатов измерений на уровне содержания 5 мг/кг железа не превышает 6,1 %.

**4. Определение кобальта.** При определении кобальта использовали аналитическую линию с длиной волны  $\lambda_{Co} = 240,7$  нм; щелевую насадку к горелке с длиной щели  $\ell = 110$  мм; пламя смеси «воздух – ацетилен» в нормальном режиме горения. Показания ротаметров газораспределительного блока: ацетилен – 8 дел., воздух – 60 дел. Угол разворота насадки относительно оптической оси  $\alpha = 0^\circ$ . Высота просвечиваемой зоны относительно плоскости насадки  $h = 3,5$  мм. Ток через лампу с полым катодом типа ЛСП-1  $I = 20$  мА. Напряжение питания фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-39А  $U = 800$  В. Величина раскрытия щелей монохроматора – 0,010 мм. Градуировку измерительного блока и цифрового интегрирующего вольтметра [1] производили по комплексному стандарту с содержанием кобальта 10 мкг/мл, приготовленному на основе смеси кислот, используемых для растворения проб. В качестве холостой пробы использовали раствор смеси кислот. После каждого 5–10-го измерения производили промывку распылительной системы горелки дистиллированной водой.

Калибровочные стандартные растворы готовили в день проведения анализа из комплексного стандарта. Для чего в четыре мерные колбы по 100 мл вносили 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 мл стандартного раствора, доводили до метки 40%-м раствором смеси азотной и хлорной кислот (в объемном отношении 1:2). Полученные растворы содержали 0,1; 0,2; 0,5 и 1 мкг/мл Co, что соответствует с учетом разбавления при «мокром» озолении проб 3; 6; 15 и 30 мг/кг Co в образцах биологического происхождения.

Характеристическая концентрация кобальта в биообъектах – 0,24 мг/кг. Относительное стандартное отклонение результатов измерений на уровне содержания 3 мг/кг кобальта не превышает 6,5 %.

**5. Определение никеля.** Определение никеля проводили по аналитической линии с длиной волны  $\lambda_{Ni} = 232,0$  нм; щелевую насадку к горелке с длиной щели  $\ell = 55$  мм; пламя смеси «воздух – ацетилен» в нормальном режиме горения. Показания ротаметров газораспределительного блока: ацетилен – 40 дел., воздух – 65 дел. Угол разворота насадки относительно оптической оси  $\alpha = 0 \dots 25^\circ$ . Высота просвечиваемой зоны относительно плоскости насадки  $h = 15$  мм. Ток через лампу с полым катодом типа ЛСП-1  $I = 200$  мА. Напряжение питания фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-39А  $U = 500$  В. Величина раскрытия щелей монохроматора – 0,008 мм. Градуировку измерительного блока и цифрового интегрирующего

щего вольтметра [1] производили по комплексному стандарту с содержанием кобальта 10 мкг/мл, приготовленному на основе смеси кислот, используемых для растворения проб. В качестве холостой пробы использовали раствор смеси кислот. После каждого 5–10-го измерения производили промывку распылительной системы горелки дистиллированной водой.

Калибровочные стандартные растворы готовили в день проведения анализа из комплексного стандарта. Для чего в четыре мерные колбы по 100 мл вносили 2,0; 4,0; 10,0; 20,0 мл стандартного раствора, доводили до метки 40%-м раствором смеси азотной и хлорной кислот (в объемном отношении 1:2). Полученные растворы содержали 0,2; 0,4; 1,0 и 2,0 мкг/мл Ni, что соответствует с учетом разбавления при «мокром» озолении проб 6; 12; 30 и 60 мг/кг Ni в образцах биологического происхождения.

Характеристическая концентрация никеля в биообъектах – 0,4 мг/кг. Относительное стандартное отклонение результатов измерений на уровне содержания 5 мг/кг никеля не превышает 5,8 %.

**6. Определение кальция.** Определение кальция проводили по аналитической линии с длиной волны  $\lambda_{Ca} = 422,7$  нм; шелевую насадку к горелке с длиной щели  $\ell = 55$  мм; пламя смеси «закись азота – ацетилен» в обогащенном режиме горения. Показания ротаметров газораспределительного блока: ацетилен – 60 дел., закись азота – 50 дел. Угол разворота насадки относительно оптической оси  $\alpha = 0 \dots 20^\circ$ . Высота просвечиваемой зоны относительно плоскости насадки  $h = 12 \dots 15$  мм. Ток через лампу с полым катодом типа ЛСП-1  $I = 20$  мА. Напряжение питания фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-39А  $U = 500 \dots 620$  В. Величина раскрытия щелей монохроматора – 0,1 мм. Градуировку измерительного блока и цифрового интегрирующего вольтметра [1] производили по комплексному стандарту с содержанием кальция 10 мкг/мл, приготовленному на основе смеси кислот, используемых для растворения проб. В качестве холостой пробы использовали раствор смеси кислот. После каждого 5–10-го измерения производили промывку распылительной системы горелки дистиллированной водой. Перед анализом проводили предварительное разбавление проб в объемном отношении 1:30.

В пробы и стандарт вводили лантан в количестве 0,1 % для предотвращения ионизации и устранения влияний.

Калибровочные стандартные растворы готовили в день проведения анализа из комплексного стандарта. Для чего в четыре мерные колбы по 100 мл вносили 2,0; 4,0; 10,0; 20,0 мл стандартного раствора, доводили до метки 40%-м раствором смеси азотной и хлорной кислот (в объемном отношении 1:2). Полученные растворы содержали 0,2; 0,4; 1,0 и 2,0 мкг/мл Ca.

**7. Определение меди.** При определении меди использовали аналитическую линию с длиной волны  $\lambda_{Cu} = 324,7$  нм; шелевую насадку к горелке с длиной щели  $\ell = 55$  мм; пламя смеси «воздух – ацетилен» в нормальном режиме горения. Показания ротаметров газораспределительного блока: ацетилен – 8 дел., воздух – 60 дел. Угол разворота насадки относительно оптической оси  $\alpha = 0^\circ$ . Высота просвечиваемой зоны относительно плоскости насадки  $h = 0$  мм. Ток через лампу с полым катодом типа ЛСП-1  $I = 20$  мА. Напряжение питания фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-39А  $U = 800 \dots 850$  В. Величина раскрытия щелей монохроматора – 0,10 мм. Градуировку измерительного блока и цифрового интегрирующего вольтметра [1] производили по комплексному стандарту с содержанием меди 10 мкг/мл, приготовленному на основе смеси кислот, используемых для растворения проб. В качестве холостой пробы использовали раствор смеси кислот. После каждого 5–10-го измерения производили промывку распылительной системы горелки дистиллированной водой.

Калибровочные стандартные растворы готовили в день проведения анализа из комплексного стандарта. Для чего в четыре мерные колбы по 100 мл вносили 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 мл стандартного раствора, доводили до метки 40%-м раствором смеси азотной и хлорной кислот (в объемном отношении 1:2). Полученные растворы содержали 0,1; 0,2; 0,5 и 1 мкг/мл Cu, что соответствует с учетом разбавления при «мокром» озолении проб 3; 6; 15 и 30 мг/кг Cu в образцах биологического происхождения.

Характеристическая концентрация меди в биообъектах – 0,21 мг/кг. Относительное стандартное отклонение результатов измерений на уровне содержания 3 мг/кг меди не превышает 6,1%.

**8. Определение магния.** Аналитическая линия с длиной волны  $\lambda_{Mg} = 285,2$  нм; щелевая насадка к горелке с длиной щели  $\ell = 55$  мм; пламя смеси «закись азота – ацетилен» в обогащенном режиме горения. Показания ротаметров газораспределительного блока: ацетилен – 65 дел., закись азота – 48 дел. Угол разворота насадки относительно оптической оси  $\alpha = 0...30^\circ$ . Высота просвечиваемой зоны относительно плоскости насадки  $h = 15...20$  мм и находится непосредственно над вершиной красного конуса горения. Ток через лампу с полым катодом типа ЛСП-1  $I = 14$  мА. Напряжение питания фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-39А  $U = 400...480$  В. Величина раскрытия щелей монохроматора – 0,005 мм. Градуировку измерительного блока и цифрового интегрирующего вольтметра [1] производили по комплексному стандарту с содержанием магния 1 мкг/мл, приготовленному на основе смеси кислот, используемых для растворения биологических проб. В качестве холостой пробы использовали раствор смеси кислот с добавлением калия, кальция, стронция и лантана. После каждого 5–10-го измерения производили промывку распылительной системы горелки дистиллированной водой и перекалибровку прибора. Перед анализом проводили предварительное разбавление проб в объемном отношении 1:30.

Стандартные растворы, которые готовили в день проведения анализа из комплексного стандарта, содержали 1,0; 2,5; 5,0 и 10 мкг/мл Mg.

**9. Определение цинка.** При определении цинка использовали аналитическую линию с длиной волны  $\lambda_{Zn} = 213,8$  нм; щелевую насадку к горелке с длиной щели  $\ell = 110$  мм; пламя смеси «воздух – ацетилен» в нормальном режиме горения. Показания ротаметров газораспределительного блока: ацетилен – 8 дел., воздух – 60 дел. Угол разворота насадки относительно оптической оси  $\alpha = 0^\circ$ . Высота просвечиваемой зоны относительно плоскости насадки  $h = 3...5$  мм. Ток через лампу с полым катодом типа ЛСП-1  $I = 20$  мА. Напряжение питания фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-39А  $U = 800...850$  В. Величина раскрытия щелей монохроматора – 0,010 мм. Градуировку измерительного блока и цифрового интегрирующего вольтметра [1] производили по комплексному стандарту с содержанием цинка 1 мкг/мл, приготовленному на основе смеси кислот, используемых для растворения проб. В качестве холостой пробы использовали раствор смеси кислот. После каждого 5–10-го измерения производили промывку распылительной системы горелки дистиллированной водой.

Калибровочные стандартные растворы готовили в день проведения анализа из комплексного стандарта. Для чего в четыре мерные колбы по 100 мл вносили 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 мл стандартного раствора, доводили до метки 40%-м раствором смеси азотной и хлорной кислот (в объемном отношении 1:2). Полученные растворы содержали 0,1; 0,2; 0,5 и 1 мкг/мл Zn, что соответствует с учетом разбавления при «мокром» озолении проб 3; 6; 15 и 30 мг/кг Zn в образцах биологического происхождения.

Характеристическая концентрация цинка в биообъектах – 0,005 мг/кг. Относительное стандартное отклонение результатов измерений на уровне содержания 0,5 мг/кг цинка не превышает 4,6 %.

## Определение калия, лития, натрия и стронция в биологических объектах методом пламенной эмиссионной спектроскопии

**1. Определение калия.** Аналитическая линия с длиной волны  $\lambda_K = 766,5$  нм; щелевая насадка к горелке с длиной щели  $\ell = 55$  мм; пламя смеси «воздух – ацетилен» в нормальном режиме горения. Показания ротаметров газораспределительного блока: ацетилен – 5 дел., воздух – 70 дел. Угол разворота насадки относительно оптической оси  $\alpha = 20...50^\circ$ . Напряжение питания фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-39А  $U = 700...800$  В. Величина раскрытия щелей монохроматора – 0,018 мм. Перед выходной щелью устанавливается красный светофильтр. Градуировку измерительного блока и цифрового интегрирующего вольтметра [1] производили по комплексному стандарту с содержанием калия 10 мкг/мл, приготовленному на основе смеси кислот, используемых для растворения биологических проб. В качестве холостой пробы использовали раствор смеси кислот с добавлением калия, кальция, стронция и лантана. После каждого 5–10-го измерения производили промывку распылительной системы горелки дистиллированной водой и перекалибровку прибора. Перед анализом проводили предварительное разбавление проб в объемном отношении 1 : 30.

Стандартные растворы, которые готовили в день проведения анализа из комплексного стандарта, содержали 50; 100 и 200 мкг/мл калия.

**2. Определение лития.** Аналитическая линия с длиной волны  $\lambda_{Li} = 670,8$  нм; щелевая насадка к горелке с длиной щели  $\ell = 55$  мм; пламя смеси «воздух – ацетилен» в нормальном режиме горения. Показания ротаметров газораспределительного блока: ацетилен – 5 дел., воздух – 40 дел. Угол разворота насадки относительно оптической оси  $\alpha = 0^\circ$ . Напряжение питания фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-39А  $U = 650...700$  В. Величина раскрытия щелей монохроматора – 0,020 мм. Перед выходной щелью устанавливается красный светофильтр. Градуировку измерительного блока и цифрового интегрирующего вольтметра [1] производили по комплексному стандарту с содержанием лития 0,1 мкг/мл, приготовленному на основе смеси кислот, используемых для растворения биологических проб. В качестве холостой пробы использовали раствор смеси кислот с добавлением калия, кальция, натрия и магния. После каждого 5–10-го измерения производили промывку распылительной системы горелки дистиллированной водой и перекалибровку прибора. Перед анализом проводили предварительное разбавление проб в объемном отношении 1 : 30.

Стандартные растворы, которые готовили в день проведения анализа из комплексного стандарта, содержали 0,2; 0,5; 1,0 и 2,0 мкг/мл лития.

**3. Определение натрия.** Аналитическая линия – дуплет с длиной волны  $\lambda_{Na} = 589,0...589,6$  нм; щелевая насадка к горелке с длиной щели  $\ell = 55$  мм; пламя смеси «воздух – ацетилен» в нормальном режиме горения. Показания ротаметров газораспределительного блока: ацетилен – 5 дел., воздух – 40 дел. Угол разворота насадки относительно оптической оси  $\alpha = 20...30^\circ$ . Напряжение питания фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-39А  $U = 670...720$  В. Величина раскрытия щелей монохроматора – 0,015 мм. Градуировку измерительного блока и цифрового интегрирующего вольтметра [1] производили по комплексному стандарту с содержанием натрия 10 мкг/мл, приготовленному на основе смеси кислот, используемых для растворения биологических проб. В качестве холостой пробы использовали раствор смеси кислот с добавлением калия, кальция и магния. После каждого 5–10-го измерения производили промывку распылительной системы горелки дистиллированной водой и перекалибровку прибора. Перед анализом проводили предварительное разбавление проб в объемном отношении 1 : 30.

Стандартные растворы, которые готовили в день проведения анализа из комплексного стандарта, содержали 2; 5; 10 и 20 мкг/мл натрия.

**4. Определение стронция.** При определении стронция использовали молекулярную полосу SrO с максимумом 460,7 нм; щелевая насадка к горелке с длиной щели  $\ell = 55$  мм; пламя смеси «закись азота – ацетилен» в обогащенном режиме горения. Показания ротаметров газораспределительного блока: ацетилен – 60 дел., закись азота – 45 дел. Угол разворота насадки относительно оптической оси  $\alpha = 0^\circ$ . Напряжение питания фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-39А  $U = 600 \dots 650$  В. Величина раскрытия щелей монохроматора – 0,020 мм. Перед выходной щелью устанавливается красный светофильтр. Градуировку измерительного блока и цифрового интегрирующего вольтметра [1] производили по комплексному стандарту с содержанием стронция 1,0 мкг/мл, приготовленному на основе смеси кислот, используемых для растворения биологических проб. В качестве холостой пробы использовали раствор смеси кислот с добавлением калия, кальция, натрия, магния и лантан. После каждого 5–10-го измерения проводили промывку распылительной системы горелки дистиллированной водой и перекалибровку прибора. Перед анализом проводили предварительное разбавление проб в объемном отношении 1 : 30.

Стандартные растворы, которые готовили в день проведения анализа из комплексного стандарта, содержали 1,0; 5,0 и 10,0 мкг/мл стронция.

#### *Список литературы*

1. Барсуков, В.И. Пламенно-эмиссионные и атомно-абсорбционные методы анализа и инструментальные способы повышения их чувствительности / В.И. Барсуков. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 172 с.
2. Барсуков, В.И. Интегрирование аналитического сигнала как способ повышения чувствительности и точности атомно-абсорбционной пламенной фотометрии / В.И. Барсуков // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 1998. – Т. 4, № 4. – С. 564–569.
3. Барсуков, В.И. Исследование зависимости чувствительности методов пламенной атомной спектроскопии от выбора схемы регистрации аналитического сигнала / В.И. Барсуков // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2001. – Т. 7, № 2. – С. 279–282.
4. Барсуков, В.И. Исследование спектроаналитических характеристик прибора для определения цинка, магния и меди в сточных водах методом атомно-абсорбционной спектроскопии / В.И. Барсуков, Б.Н. Иванов, Ю.П. Ляшенко // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2001. – Т. 7, № 4. – С. 641–650.

---

### **Determination of Macro- and Microelements in Biological Objects by Flame Atomic Absorption and Emission Spectrometry**

**V.I. Barsukov<sup>1</sup>, A.I. Istomina<sup>2</sup>**

*Departments: “Physics” (1), “Biomedical Equipment” (2), TSTU;  
njurashka@mail.ru;*

**Key words and phrases:** biological objects; calibration and standard solutions; characteristic concentration; gas flames; hollow cathode lamps; nozzle; spectrometry methods.

**Abstract:** A method for determining a number of macro- and microelements in biological objects by flame spectrometry has been developed.

**Bestimmung der Makro- und Mikroelementen in den Bioobjekten  
durch die Methoden der atomabsorbtionen  
und emissionen Plasmaspektrometrie**

**Zusammenfassung:** Es sind die Methodiken der Bestimmung der Reihe der Makro- und Mikroelementen in den biologischen Objekten durch die Methoden der Plasmaspektrometrie erarbeitet.

---

**Définition des macro- et micro-éléments dans les objets biologiques  
par les méthodes de la spectrométrie atomique d'absorption  
et d'émission à flamme**

**Résumé:** Sont élaborées les méthodes de la définition des macro- et micro-éléments dans une série des objets biologiques par les méthodes de la spectrométrie à flamme.

---

**Авторы:** *Барсуков Владимир Иванович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика»; *Истомина Анна Игоревна* – магистрант кафедры «Биомедицинская техника», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Попов Николай Сергеевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Природопользование и защита окружающей среды», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

---