

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ

Н. Ж. Жеенбаев*, А. Чылымов, Р. А. Таштанов, Г. Д. Доржуева, Рыскул кызы Гульзат

УДК 543.423:546.3

Институт физики имени академика Ж. Жеенбаева НАН Кыргызской Республики,
Бишкек, Кыргызстан; e-mail: las.if-2011@mail.ru

(Поступила 25 мая 2022, в окончательной редакции — 2 февраля 2023)

Для мониторинга уровня экологической безопасности измерено содержание тяжелых металлов в почвенном покрове г. Бишкека. Для исследования пробных образцов, содержащих тяжелые металлы, применен метод атомно-эмиссионного спектрального анализа. Количественный анализ проб проведен в потоке плазмы двухструйного плазматрона ДГП-50М. Отбор проб осуществлен на основе районирования городской территории с учетом выбросов ТЭЦ, автотранспорта, частного сектора. В пробах, отобранных на трех участках г. Бишкека в летний и зимний периоды, определено содержание восьми элементов группы тяжелых металлов. Содержание тяжелых металлов в пробах не превышает экологические нормы, устанавливаемые параметрами предельно допустимой концентрации и предельно допустимого превышения.

Ключевые слова: тяжелый металл, спектральный анализ, почвенный покров.

In order to monitor the level of environmental safety, the content of heavy metals in the soil cover of Bishkek was measured. To study test samples containing heavy metals, the method of atomic emission spectral analysis was used. The quantitative analysis of the samples was carried out in the plasma flow of a DGP-50M two-jet plasmatron. Sampling was carried out on the basis of zoning of the urban area, taking into account emissions from thermal power plants, vehicles, and the residential area of the city. In samples taken at three sites in Bishkek in summer and winter, the content of 8 elements of the group of heavy metals was determined. The content of heavy metals in samples did not exceed the environmental standards established by the parameters of the maximum permissible concentration and the maximum permissible excess.

Keywords: heavy metal, spectral analysis, soil cover.

Введение. Актуальность определения степени загрязненности почвенного покрова в крупных городах и мегаполисах во многом обусловлена неконтролируемым поступлением в атмосферу, последующим оседанием и накоплением в почве токсичных, опасных для жизнедеятельности человека химических веществ. Следует выделить работы, направленные на измерения содержания в почве микроэлементов, прежде всего тяжелых металлов, которые в определенных концентрациях являются опасными токсикантами. Именно тяжелые металлы служат индикаторными показателями степени загрязненности почвенного покрова выбросами, которые в виде газов и аэрозоля, промышленного и автомобильного дыма поступают в атмосферу, оседая, быстро переходят в почву, растения и другие природные объекты, ухудшая экологическую обстановку в городах. Аэрозоли при этом выполняют функцию ядра конденсации металлов [1].

Известно [2], что тяжелые металлы чрезвычайно токсичны даже в следовых количествах, являются особо опасными загрязнителями природной среды и уже в малых концентрациях способны вызывать различные патологии в развитии живых организмов. Превышение содержания тяжелых металлов может привести к многочисленным физическим, химическим и биологическим изменениям в окружающей среде. Характер и степень таких изменений зависят от содержания и форм находде-

HEAVY METALS CONTENT IN THE SOIL COVER MEASURED BY SPECTRAL ANALYSIS

N. J. Jeenbaev*, A. Chylymov, R. A. Tashtanov, G. D. Dorjueva, Ryskul kyzы Gulzat (Academician J. Jeenbaev Institute of Physics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan; e-mail: las.if-2011@mail.ru)

ния тяжелых металлов в природных объектах [3]. Чаще всего к группе тяжелых металлов относят 19 химических элементов: Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Mo, Cd, Sn, Sb, Te, W, Hg, Tl, Pb, Bi. Наиболее типичные тяжелые металлы-загрязнители: Pb, Cd, Hg, Zn, Mo, Ni, Co, Sn, Cu, V, Sb, As [4].

Согласно Концепции экологической безопасности Кыргызской Республики [5], основными источниками загрязнения атмосферного воздуха в Кыргызстане, в том числе г. Бишкеке, являются предприятия энергетики, выпуска стройматериалов, коммунального хозяйства, горнодобывающей и перерабатывающей отраслей, частные домовладения, а также автотранспорт. По объему выбросов Бишкек входит в список объектов с высоким уровнем загрязнения атмосферы и почвенного покрова. Особенно актуальны такие источники загрязнения, как выбросы ТЭЦ, автотранспорта, частного (жилого) сектора, которые являются причиной образования в атмосфере повышенного количества вредного смога и, следовательно, могут рассматриваться в качестве основных при изучении содержания тяжелых металлов в почвенном покрове г. Бишкека. Степень загрязненности зависит от мощности источника, условий выбросов и метеорологической обстановки.

Эксперимент. Для решения экологических задач, связанных с проведением мониторинга загрязненности окружающей среды, в том числе определения содержания тяжелых металлов в почвенном покрове, экспрессным, экономичным и эффективным методом исследования является высокочувствительный атомно-эмиссионный спектральный анализ (АЭСА). В настоящей работе объектом исследования служил почвенный покров г. Бишкека. Методика определения элементного состава почвы заключается в испарении анализируемой пробы в смеси с угольным порошком в плазме дуги двухструйного плазматрона и измерении интенсивности излучения спектральных линий фотографическим способом. Использование двухструйного плазматрона позволяет более полно испарять труднолетучие, трудновоздушимые элементы из частиц анализируемой пробы, что существенно уменьшает влияние состава пробы на результаты анализа.

Исследование состава проб на содержание тяжелых металлов проводилось методом АЭСА при силе тока $I = 60$ А и расходе плазмообразующего газа $G_{a/k} = 2.5$ л/мин. Анализируемую смесь вводили в плазменную струю плазматрона вдуванием. Несущий и транспортирующий газ — аргон, его расход $G_{tr} = 0.2$ л/мин. Угол наклона катодной и анодной головок двухструйного плазматрона ДГП-50М варьировался в диапазоне 60—65°. Время экспозиции $t = 20$ с. Излучение от приосевых участков разряда через однолинзовую систему освещения фокусировалось на всю высоту щели ($H = 15$ мм) спектрографа шириной 12 мкм. Общая схема измерений представлена на рис. 1.

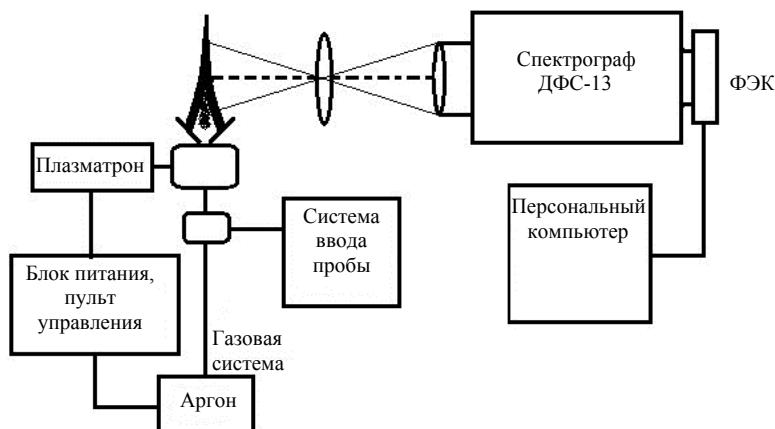


Рис. 1. Схема измерений концентрации микроэлементов

Предложенная конструкция отвечает требованиям полного испарения анализируемой пробы и надежного измерения интенсивности излучения спектральных линий, необходимых для успешного проведения спектральных исследований классическими методами АЭСА. Отметим, что количественный эмиссионный спектральный анализ является относительным методом. Для наглядности и удобства сравнения результаты представлены в процентном содержании. Содержание элементов примеси в анализируемой пробе определяется сравнением с содержанием в пробах с известными концентрациями — эталонами. Содержание элементов в эталонах должно быть точно установлено химическими анализами или расчетом при изготовлении искусственных образцов [6].

Определение тяжелых металлов проведено по методу трех эталонов. Элементом сравнения служит фон рядом с аналитической линией. На рис. 2 показаны типичные зависимости в координатах $[I_{\text{л+ф}}; C\%]$. В первоначально найденные интенсивности линий $I_{\text{л+ф}}$ вносятся поправки на интенсивность фона $I_{\text{ф}}$. Без внесения указанных поправок на фон градуировочные графики изгибаются в областях малых концентраций элементов, при которых интенсивность линий мала и приближается к интенсивности фона. Построение зависимостей в этих координатах не устраивает опасности уменьшения наклона графиков в областях высоких содержаний элементов, когда появление большого количества атомов в плазме приводит к реабсорбции спектральных линий.

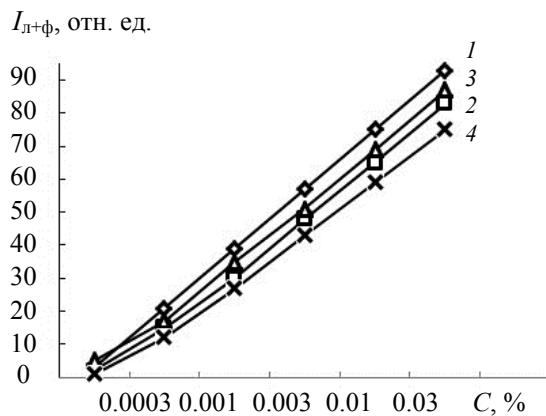


Рис. 2. Зависимости интенсивности спектральной линии $I_{\text{л+ф}}$ от концентрации $C, \%$ для Sb (1), Pb (2), Cr (3) и Sn (4)

Пробы отбирались как вдали от проезжей части дороги, так и рядом с дорожным полотном для оценки влияния микроэлементов, образованных в результате движения автотранспортных средств и осаждения твердых частиц ТЭЦ. Для определения точек отбора проб проведено районирование, позволяющее в определенной мере локализовать выбросы от различных источников, а именно ТЭЦ, автотранспорта, частных домовладений. Для выбранных трех точек отбора проб принималось во внимание расположение городской ТЭЦ в восточной части, наибольшее скопление автотранспорта в центре и большой массив застройки частного сектора в западной части г. Бишкека. Таким образом, выбрано следующее районирование (по одной точке отбора на участке): восточная часть г. Бишкека (место расположения ТЭЦ, участок 1); центральная часть г. Бишкека (проспект Чуй/проспект Манаса, участок 2); западная часть г. Бишкека (крупный жилой сектор Ак-Орго, участок 3). По результатам исследования тяжелых металлов в пробах, отобранных на территории трех участков г. Бишкека в летний и зимний периоды, определено содержание восьми элементов (табл. 1). Усреднение полученных результатов проводилось по трем измерениям.

Т а б л и ц а 1. К о л и ч е с т в е н н ы й спектральный анализ почвы г. Бишкека (мг/кг)

№ участка	Период времени	Sb	Pb	Cr	Mn	Ni	V	Zn	Cu
<i>Восточная часть г. Бишкека (место расположения ТЭЦ)</i>									
1	Лето	0.19	0.02	0.06	0.062	0.11	0.038	0.34	0.02
	Зима	1.501	0.02	0.019	0.51	0.028	0.057	0.36	0.05
<i>Центральная часть г. Бишкека (проспект Чуй/проспект Манаса)</i>									
2	Лето	0.81	0.053	0.036	0.32	0.028	0.019	0.36	0.02
	Зима	2.8	0.085	0.07	0.58	0.47	0.16	1.026	0.058
<i>Западная часть г. Бишкека (крупный жилой сектор Ак-Орго)</i>									
3	Лето	0.74	0.049	0.87	0.047	0.068	0.047	0.26	0.47
	Зима	1.5	0.047	0.03	0.68	0.62	0.019	0.49	0.13
ПДК/ПДП		4.5	32	6.0	700	4.0	150	23.0	3.0

Результаты и их обсуждение. Методом АЭСА определены концентрации тяжелых металлов Sb, Pb, Cr, Mn, Ni, V, Zn, Cu в почвенном покрове г. Бишкека. На рис. 3 результаты измерений представлены в виде гистограмм. Следует отметить, что концентрации тяжелых металлов во всех проанализированных пробах, взятых с различных участков в летние и зимние периоды, не превышают экологических норм, устанавливаемых параметрами предельно допустимой концентрации и предельно допустимого превышения (ПДК/ПДП) в почве [4, 7].

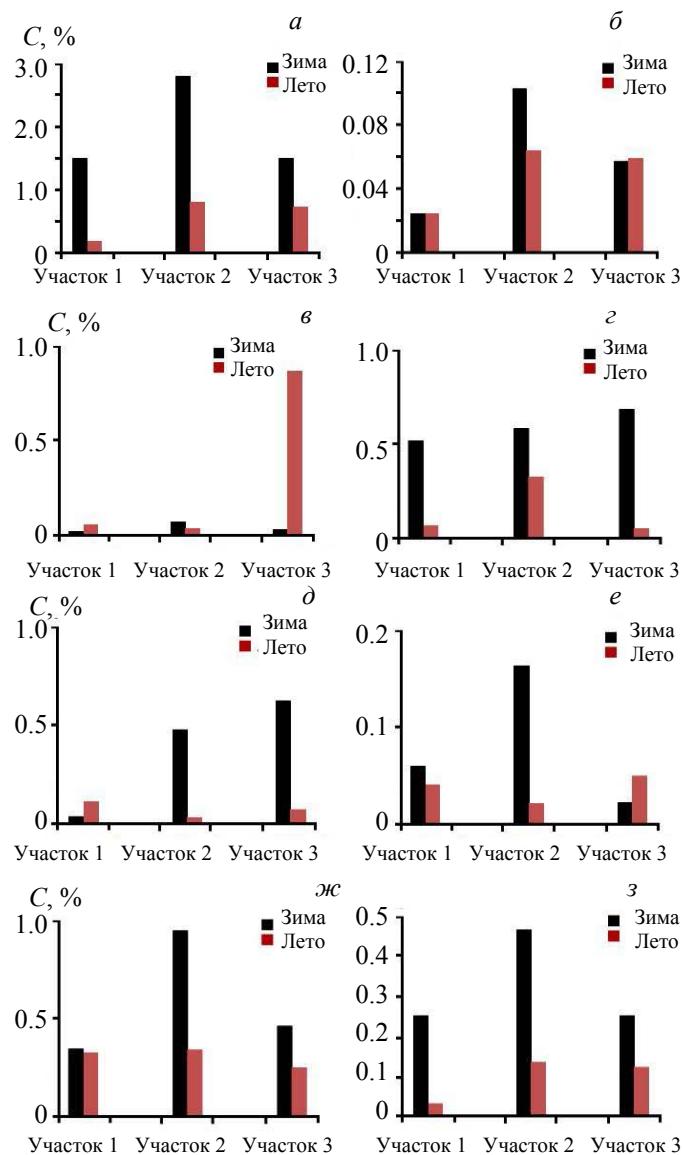


Рис. 3. Гистограммы содержания Sb (а), Pb (б), Cr (в), Mn (г), Ni (д), V (е), Zn (ж) и Cu (з) в пробах, отобранных на трех участках г. Бишкека в летний и зимний периоды

В целом, показатели содержания микроэлементов в пробах в зимний период (за исключением Cr, V, Cu на участке 3 и Ni на участке 1) существенно превышают аналогичные значения для летнего периода. Это можно объяснить скоплением больших масс загрязняющих веществ в виде газов или аэрозоля в воздушной среде, затрудненностью их рассеяния в атмосфере из-за температурного градиента в зимний период и сложившейся неэффективной продуваемости городской территории, что способствует более интенсивному осаждению в почве тяжелых металлов. В летний период наблюдается

иная ситуация: повышение температуры приводит к более интенсивному вертикальному градиенту воздушных масс и, соответственно, увеличивает дальность распространения частиц, находящихся в дымовой среде, и их рассеяния на поверхности земли. Предлагаемый анализ результатов подразумевает преобладающее в городской черте движение воздушных масс с запада на восток.

В пробах, отобранных в центральной части города, особенно в зимний период, заметно превышение содержания свинца, сурьмы, цинка, никеля. Содержание свинца максимально на участке 2, т. е. в центральной части города с большими потоками автотранспорта. Отметим, что свинец рассматривается в качестве главного показателя выбросов автомобилей. Повышенное содержание Zn, Ni можно объяснить тем, что среди загрязнителей, которые образуются при эксплуатации автотранспорта, имеют место не только свинец, но и медь, кадмий, цинк, никель, хром, железо. Например, никель и хром — продукты износа покрытий кузовов.

Заключение. Для решения задачи мониторинга и контроля содержания тяжелых металлов в экологических объектах перспективно применение атомно-эмиссионного спектрального анализа с использованием двухструйного плазматрона ДГП-50 в качестве источника возбуждения спектров. Полученные результаты количественного содержания восьми микроэлементов в почве показывают, что при прямом введении анализируемой пробы между струями плазмы ДГП-50 реализуется экспресс-анализ с низкими пределами обнаружения и высокими метрологическими характеристиками.

- [1] Н. Н. Глущенко, И. П. Ольховская. Изв. РАН. Энергетика, **1** (2014) 20—27 [N. N. Glushenko, I. P. Olhovskaya. Izvestiya RAN. Energetika, **1** (2014) 20—27]
- [2] Ю. Н. Делигодина, О. Л. Захарова, И. Н. Савельева, Е. В. Шанина. Успехи совр. естествознания, **7** (2017) 71—75 [Yu. N. Deligodina, O. L. Zaharova, I. N. Savel'eva, E. V. Shanina. Uspehi Sovremennoego Estestvoznania, **7** (2017) 71—75]
- [3] Н. П. Заксас. Зав. лаборатория. Диагностика материалов, **78**, № 1, ч. II (2012) 34—38
- [4] Ю. Н. Водяницкий. Почвоведение, № 3 (2012) 368—375 [Yu. N. Vodyanickii. Pochvovedenie, N 3 (2012) 368—375]
- [5] Концепция экологической безопасности Кыргызской Республики. Указ Президента Кыргызской Республики № 506 (2007)
- [6] Г. Доржуева, Т. Султангазиева, Рыскул кызы Гульзат, А. Татыбеков, Н. Ж. Жеенбаев. Физика, **1** (2021) 68—73
- [7] Гигиенические нормативы. Постановление правительства Кыргызской Республики № 201 (2016)