

К вопросу методического обеспечения определения содержания редкоземельных элементов для производственного контроля

© 2022. Т. С. Уланова, д. б. н., зав. отделом, М. В. Волкова, н. с., Г. А. Вейхман, к. фарм. н., в. н. с., А. В. Недошитова, н. с., Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, 614045, Россия, г. Пермь, ул. Монастырская, д. 82, e-mail: volkova@fcrisk.ru

Представлены новые методические разработки для определения редкоземельных элементов (РЗЭ) в воздухе рабочей зоны и цельной крови в широком диапазоне концентраций методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Предложено использовать разработанные методики для производственного контроля на предприятиях добывающей и металлургической промышленности. Для оценки достаточности мероприятий по организации безопасности и снижению вредных производственных факторов, наряду с контролем качества воздуха рабочей зоны, рекомендуется использовать тест на определение РЗЭ в крови рабочих. Методики внесены в Федеральный реестр измерений: ФР.1.31.2018.31642 для цериевой группы; ФР.1.31.2018.31641 для иттриевой группы в воздухе рабочей зоны, получен патент № 2697479; ФР.1.31.2019.32618 для определения РЗЭ в крови, патент № 2696011.

Разработанные методики соответствуют современным требованиям стандартизации и метрологической аттестации, обладают высокой чувствительностью и селективностью. Методики успешно апробированы на металлургическом предприятии при определении концентраций РЗЭ в крови рабочих и воздухе рабочей зоны.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, токсичность, воздух рабочей зоны, кровь, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой.

To the question of methodological support for determination of rare earth elements for industrial inspection

© 2022. T. S. Ulanova ORCID: 0000-0002-9238-5598*
M. V. Volkova ORCID: 0000-0002-0600-4075*
G. A. Veikhman ORCID: 0000-0002-8490-7624*
A. V. Nedoshitova ORCID: 0000-0001-6514-7239*

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82, Monastyrskaya St., Perm, Russia, 614045, e-mail: volkova@fcrisk.ru

The purpose of the study is the development of methodological support for the determination of rare earth elements (REE) in workplace air and biological media (blood) of workers. New methodical guidelines for the determination of REE in the workplace air and whole blood in a wide range of concentrations by the method of inductively coupled plasma mass spectrometry are presented. It is proposed to use these methods for production control at the enterprises of mining and metallurgical industries. Also it is recommended to use the test for the determination of REE in biological media (blood) of workers to assess the sufficiency of measures for organizing safety and reducing harmful production factors, along with monitoring the air quality of the working area. The methods are included in the Federal Register of Measurements: FR.1.31.2018.31642 for the cerium group; FR.1.31.2018.31641 for the yttrium group in the air of the working area, patent No. 2697479; FR.1.31.2019.32618 for the determination of REE in blood, patent No. 2696011.

The developed methods meet the modern requirements of standardization and metrological certification, they have high sensitivity and selectivity. The methods have been successfully approbate at a metallurgical enterprise for determining the concentrations of REE in the blood of workers and in the workplace air.

Keywords: rare earth elements, toxicity, workplace air, blood, mass spectrometry with inductively coupled plasma.

В связи с возрастающим интересом к редкоземельным элементам (РЗЭ), наращиванием темпов добычи, получения чистых металлов и производства продукции с их использованием растёт нагрузка на работников, связанных с редкоземельной отраслью промышленности [1–3]. Токсичность РЗЭ изучена недостаточно, также мало сведений об их биологической роли в организме человека [4, 5]. Ряд зарубежных авторов выдвигают предположения, что РЗЭ могут вызывать окисление липидов, обладать гепатотоксичностью, вызывать анемию, а также имеют склонность к биоаккумуляции [6–14].

В Российской Федерации (РФ) установлены нормативы по содержанию некоторых РЗЭ и их соединений в воздухе рабочей зоны в СанПиН 1.2.3685-21 в виде показателей предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ). Максимально разовые ПДК в воздухе рабочей зоны установлены для Се, Sm (5 мг/м³), Y (2 мг/м³). Для прочих РЗЭ установлены ОБУВ: La, Pr, Nd – 6 мг/м³; Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu – 4 мг/м³.

В России существуют утверждённые методики измерения содержания РЗЭ в воздухе рабочей зоны, основанные на методах спектрографии (МУ № 2240-80), фотометрии (МУК № 2250-80), пламенной фотометрии (МУ № 2011-79), атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС) (ГОСТ Р ИСО 15202-2-2014). Значительная часть методик не отвечает современным требованиям по достоверности, селективности и чувствительности. Действующие методики измерения концентрации РЗЭ в воздухе рабочей зоны позволяют определять только отдельные элементы, в настоящее время в РФ не существует ни одной методики, позволяющей из одной пробы определить весь ряд РЗЭ с использованием высокочувствительного селективного метода анализа. В РФ отсутствуют утверждённые методики определения РЗЭ в биологических средах и нормативы их содержания.

В настоящее время по аналитическим возможностям одним из ведущих методов определения элементов в различных объектах является масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Метод позволяет определять в одной пробе несколько элементов одновременно, селективно и в широком диапазоне концентраций. Чувствительность метода соответствует задаче по определению широкого диапазона значений содержания элементов.

Таким образом, необходима разработка методик по определению РЗЭ для оценки эффективности и достаточности мероприятий по снижению воздействия вредных производственных факторов в рамках производственного контроля.

Цель исследования – разработка методического обеспечения определения РЗЭ в воздухе рабочей зоны и крови рабочих.

Объекты и методы исследования

Результаты исследований содержания РЗЭ в воздухе рабочей зоны не представлены в научной литературе, что может быть связано с некоторой закрытостью производств. Для определения РЗЭ в аэрозолях воздуха в зарубежных и отечественных исследованиях чаще всего используют метод ИСП-МС. В качестве процедуры подготовки проб в подавляющем числе работ используется разложение в микроволновой системе с использованием различных смесей кислот и разных условий подготовки [12–17]. Перечень и характеристика действующих в РФ методик по определению РЗЭ в воздухе рабочей зоны приведены в таблице 1.

Следует отметить, что пределы обнаружения различных спектральных методов анализа имеют большие отличия. Спектрография и фотометрия могут быть использованы для определения лишь высоких концентраций элементов в пробах, кроме того обладают высокой погрешностью измерения. Процедура подготовки проб для осуществления используемых методик отличается длительностью и потребностью в большом количестве реактивов. Чувствительности метода ИСП-АЭС зачастую бывает недостаточно, что усложняет пробоподготовку за счёт стадии концентрирования пробы.

К недостаткам метода также следует отнести высокий расход газа, высокую стоимость оборудования, частое техническое обслуживание и замену деталей при рутинном анализе сред со сложной матрицей, наличие спектральных интерференций. Для получения низких пределов обнаружения целесообразнее использовать метод ИСП-МС. Этот метод, наряду с ИСП-АЭС, применим при анализе большого количества проб. ГОСТ Р ИСО 30011-2017 регламентирует использование метода ИСП-МС для анализа воздуха рабочей зоны, однако в перечень металлов включён только иттрий.

В зарубежных исследованиях для анализа крови также в основном используется метод ИСП-МС [18–20]. Данные по исследованию крови представлены в таблице 2.

Таблица 1 / Table 1

Действующие методики определения РЗЭ в воздухе рабочей зоны
Current methods for the determination of REE in the workplace air

№ п/п No.	РЗЭ и их соединения REE and their compounds	Условия пробоподготовки Sample preparation conditions	Метод анализа, методика Analysis method, technique	Метрологические характеристики Metrological characteristic
1	Оксиды Oxides La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu	Фильтр растворяют в 10 мл царской водки (смесь HCl + HNO ₃ 3 : 1), упаривают досуха, сухой остаток прокалывают в муфельной печи	Спектрография МУ № 2240-80	Предел обнаружения: 1 мг/м ³ Погрешность определения: ±40% Диапазон измеряемых концентраций: 1–20 мг/м ³
2	Оксид иттрия Yttrium Oxide	Озоление в муфельной печи	Пламенная фотометрия МУ № 2011-79	Чувствительность определения: 5 мкг в 1 мл раствора
3	Sm	Фильтр растворяют в 10 мл 15% азотной кислоты, выпаривают на водяной бане, приливают 5 мл 10% уксусной кислоты, выдерживают до растворения осадка, добавляют 0,4 мл 0,05% раствора арсеназоIII	Фотометрия МУК № 5913-91	Диапазон измеряемых концентраций от 1,0 до 60 мг/м ³ Погрешность измерения не превышает ±20%
4	Ce	Растворение в HCl и добавление 0,5 мл 10% H ₂ O ₂	Фотометрия МУ № 2250-80	Диапазон измеряемых концентраций от 0,5 до 10 мг/м ³ Граница суммарной погрешности измерения не превышает ±20%
5	Y	Растворение проб в смеси азотной и хлорной кислот, или азотной и соляной с применением нагрева на электрической плитке. Возможно растворение в термоблоке при 95 °С	ИСП-МС ИСО 30011:2010	Погрешность определения от 0,5 до 2 ПДК < 30%, при 0,1–0,5 ПДК < 50%
6	Y	Различные смеси кислот в зависимости от способа пробоподготовки (нагревание на плитке, микроволновое разложение проб, разложение в термоблоке)	ИСП-АЭС ГОСТ Р ИСО 15202-2-2014	Погрешность определения от 0,5 до 2 ПДК < 30%, при 0,1–0,5 ПДК < 50% Предел обнаружения: 0,6 мкг/л, предел определения: 2,1 мкг/л

Как следует из таблицы 2, применение метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой позволяет определять весь спектр РЗЭ, в том числе и их следовые количества [21].

Результаты и обсуждение

На базе ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» нами разработаны методики определения РЗЭ в воздухе рабочей зоны (ФР.1.31.2018.31642 «Методика измере-

ний массовых концентраций редкоземельных элементов цериевой группы в воздухе рабочей зоны методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой»; ФР.1.31.2018.31641 «Методика измерений массовых концентраций редкоземельных элементов иттриевой группы в воздухе рабочей зоны методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой», патент № 2697479), а также в крови (ФР.1.31.2019.32618 «Методика измерений массовых концентраций РЗЭ в крови методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой»). Диапазоны измерения и показа-

тели точности разработанных методик приведены в таблице 3.

Для определения разовой концентрации РЗЭ пробу воздуха аспирировали через фильтры АФА-ХП-20 или АФА-ХА-20 аспиратором ПУ-3Э («12», ТУ 4215-000-11696625-2003, Россия) в объеме около 100 дм³ в зоне дыхания рабочего при характерных производственных условиях. Время отбора проб воздуха 15 мин.

При разложении фильтров АФА-ХП и АФА-ВП в муфельной печи ПДП-18М (ТУ 3443-001-3630408, Россия) их помещали в кварцевые стаканчики (ТУ 21-23-238, Россия), приливали 0,1 мл этилового спирта (ГОСТ Р 51652-2000, Россия), добавляли 0,2 мл 20% раствора аммония сульфата (х. ч., ГОСТ Р 51652-2000, Россия) в деионизиро-

ванной воде. Выдерживали в муфельной печи при температуре около 100 °С 40–60 мин, далее при температуре 250 °С 40–60 мин, далее озоляли при температуре 450–500 °С 3–3,5 ч. Образовавшуюся золу смачивали 0,3–0,5 мл концентрированной азотной кислоты (плотность 1,415 г/см³), нагревали на песчаной бане и упаривали до состояния влажных солей. Остаток растворяли в 5 мл 1% азотной кислоты, доводили объем до 10 мл 1% азотной кислотой.

Микроволновое разложение фильтров проводили в системе микроволнового разложения SW-4. Разложение проводили во фторопластовых автоклавах. Фильтры АФА-ХА помещали во фторопластовые стаканы, добавляли 10 мл концентрированной азотной кислоты (плотностью 1,415 г/см³), выдерживали

Таблица 2 / Table 2

Методики определения РЗЭ в крови человека
Methods for determining REE in human blood

Определяемые элементы и предел обнаружения, мкг/л Elements and detection limit, µg/L	Анализируемый образец Analyzed sample	Способ пробоподготовки Sample preparation method	Литература References
Y 0,006 La 0,008 Ce 0,008	цельная кровь	500 мкл крови разводят 100 мкл 0,1% Triton-X-100 и 500 мкл раствора внутреннего стандарта (ВС). Полученную пробу доводят до 5 мл 0,5% раствором NH ₄ OH	[18]
Ce 0,0006 Dy 0,0002 Er 0,0002 Eu 0,0005 Gd 0,0004 Ho 0,0001 La 0,0009 Lu 0,0002	Pr 0,0003 Sc 0,005 Sm 0,0004 Tb 0,0001 Tm 0,0002 Y 0,001 Yb 0,0006 Nb 0,0007	К 1 мл пробы приливают 1,5 мл HNO ₃ , разбавленной бидистиллированной водой, разложение в течение 30 мин при 300 Вт. Доводят до 10 мл бидистиллированной водой. В пробы добавляют раствор ВС (In, 20 нг/мл)	[19]
La 0,013 Ce 0,016 Pr 0,008 Nd 0,013 Sm 0,012 Eu 0,006 Gd 0,011	Tb 0,006 Dy 0,011 Ho 0,003 Er 0,014 Tm 0,002 Yb 0,006 Lu 0,002	К 1 мл крови приливают 2 мл 70% HNO ₃ и 1 мл 30% перекиси водорода, выдерживают в печи 1 ч при 120 С. После охлаждения раствор доводят до 50 мл 5% HNO ₃	[8]
Ce 0,0006–0,0052 Dy 0,0002–0,0007 Er 0,0002–0,0004 Eu 0,0005–0,0006 Gd 0,0004–0,0017 Ho 0,0001–0,0002 La 0,0009–0,0028 Lu 0,00017–0,00025	Nb 0,0007–0,0034 Pr 0,0003–0,0007 Sc 0,002–0,006 Sm 0,0004–0,001 Tb 0,0001–0,0002 Tm 0,0002–0,0003 Y 0,001–0,003 Yb 0,0006–0,0008	сыворотка крови К 1 мл образца добавляют 9 мл 0,14 моль/л HNO ₃ в деионизированной воде. К образцу добавляют ВС 20 мкг/л (In)	[20]

Таблица 3 / Table 3

Характеристики методик измерения РЗЭ в воздухе рабочей зоны и крови
Characteristics of methods for determination REEs in workplace air and blood

Элементы Elements	Воздух рабочей зоны / Workplace air		Кровь / Blood	
	диапазон измерения, мг/м ³ range of measured concentrations, mg/m ³	погрешность измерения, % determination error, %	диапазон измерения, мкг/л range of measured concentrations, µg/L	погрешность измерения, % determination error, %
La	0,00003–25	23	0,2–50	21–35
Ce	0,00003–10		0,2–50	19–33
Pr	0,00003–10		0,015–50	17–39
Nd	0,00003–100		0,1–50	21–36
Sm	0,000007–100		0,025–50	17–37
Eu	0,000007–50		0,015–50	15–30
Y	0,00001–25		21	0,1–50
Gd	0,000007–100	0,025–50		15–33
Tb	0,000007–10	0,025–50		15–30
Dy	0,00001–50	0,025–50		19–39
Ho	0,000007–50	0,015–50		17–30
Er	0,000007–50	0,025–50		17–34
Tm	0,000007–10	0,015–50		15–30
Yb	0,000007–100	0,015–50		23–31
Lu	0,000007–25	0,015–50		15–27

10 мин при комнатной температуре, после чего минерализовали пробы в микроволновой системе при температуре 150 °С и давлении 40 бар 5 мин, затем ещё 5 мин при температуре 170 °С и давлении 40 бар. После остывания в течение 20 мин объём пробы доводили до 10 мл деионизированной водой. Перед измерением проводили дополнительное разбавление в 10 раз.

Кислотное растворение проводили в термоблоке для разложения фильтров АФА-ХП, АФА-ХА, АФА-ВП. Фильтр помещали в пробирку для термоблока, добавляли 4,0 мл концентрированной азотной кислоты, выдерживали 2,5–3 ч при температуре 95 °С. После охлаждения объём доводили до 10 мл деионизированной водой. Перед измерением проводили дополнительное разбавление в 10 раз.

При сравнении различных способов пробоподготовки для фильтров с известной концентрацией элементов (1 мкг/л) получены результаты, погрешность которых не превышает 14% для всех способов пробоподготовки. Для определения разовой концентрации пробу воздуха аспирировали на фильтры АФА-ХА-20 аспиратором ПУ-3Э в течение 15 мин в зоне дыхания рабочего при характерных производственных условиях. Общий объём отобранной пробы около 1500 дм³. В качестве холостой пробы использовали не-

экспонированные фильтры из той же партии. Измерения осуществляли на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7500cx (Agilent Technologies, USA) с октопольной реакционно-столкновительной ячейкой (ORS).

Подготовку проб крови для определения содержания РЗЭ проводили способом кислотного растворения в пробирочном нагревателе HotBlock™ (№ 2015CECW4259, Environmental Express, New Hampshire, USA). Пробу крови объёмом 0,1 (0,2) мл дозатором вносили в конические градуированные пробирки из полипропилена вместимостью 15 мл, добавляли 0,5 (1,0) мл концентрированной азотной кислоты плотностью 1,415 г/см³, закрывали крышкой, взбалтывали и нагревали 25–30 мин в пробирочном нагревателе при температуре 65–70 °С до гомогенного состояния. Готовый для анализа раствор объёмом 0,5 мл переносили в пробирку автоматического пробоотборника, добавляли 0,05 мл раствора внутреннего стандарта и 4,45 мл 1% раствора азотной кислоты. Для внутренней стандартизации использовали раствор ¹¹⁵In (Single Analyte Mass Spec Solution, MSIN-10PPM, Lot K2-INO1117, INORGANIC VENTURES, USA) с концентрацией 10 мкг/мл в 2% водном растворе HNO₃ при определении содержания РЗЭ. Измерения осуществляли на квадрупольном

масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7500сх.

Необходимо отметить, что при кислотном растворении пробы полное разрушение структуры матрицы исследуемого образца не происходит, однако существенно экономится время, затрачиваемое на проведение подготовки образцов, и реактивы. Важным аспектом является то, что необходимый для анализа объём пробы сокращается до 0,1 мл и при использовании данного способа разложения проб значение холостого опыта сводится к минимуму, что также даёт преимущество использованию кислотного растворения.

Для контроля результатов анализа использовали стандартные образцы крови SERONORM L2 и L3 (Sero AS, Billingstad, Norway) с добавкой. Перед проведением анализа сертифицированные контрольные материалы подвергали той же процедуре подготовки, что и рабочие пробы.

Методики успешно апробированы на металлургическом предприятии при определении концентраций РЗЭ в воздухе рабочей зоны и в крови [22].

Апробация методики определения РЗЭ в воздухе рабочей зоны была осуществлена на

металлургическом предприятии, занимающемся, в том числе, производством соединений РЗЭ. Обследовано 4 рабочих места, непосредственно связанных с получением РЗЭ. Обнаружены следующие элементы (в мг/м³): La 0,0003–0,019, Ce 0,00065–0,0036, Pr 0,00006–0,00034, Nd 0,00002–0,0009, Sm 0,00001–0,00006, Eu 0,000007–0,00001, Gd 0,00002–0,000034.

Для оценки эффективности и достаточности мероприятий по производственному контролю выполнены исследования крови работников этого предприятия на содержание в ней РЗЭ. Данные по определению содержания РЗЭ в крови жителей неэкспонированных и экспонированных территорий приведены в таблице 4. Во всех указанных в таблице работах использовали метод ИСП-МС.

Полученные результаты определения содержания РЗЭ в крови работников металлургического предприятия Пермского края соответствуют опубликованным данным.

Заключение

Разработанные методики определения РЗЭ в воздухе рабочей зоны и в крови от-

Таблица 4 / Table 4

Содержание редкоземельных элементов в крови экспонируемых и неэкспонируемых взрослых, мкг/л*
The content of rare earth elements in the blood of exposed and unexposed adults, µg/L*

Элемент Element	Пермский край Perm Krai 2018	Китай China 2014 [8]	Китай China 2003 [23]		Южная Африка South Africa 2017 [11]	Швеция (референтные значения) Sweden (reference value) 2001 [20]
	1	1	2	1	1	2
⁸⁹ Y	0,03–0,044	–	–	–	–	0,013–0,025
¹³⁹ La	0,029–0,105	17,07	0,66	1,71	0–0,03	0,008–0,046
¹⁴⁰ Ce	0,047–0,123	603,13	0,32	1,07	0–0,04	0,014–0,19
¹⁴¹ Pr	0,0076–0,013	1,57	0,04	0,14	0–0,04	0,002–0,02
¹⁴⁶ Nd	0,019–0,070	4,57	0,17	0,61	0–4,8	0,004–0,023
¹⁴⁷ Sm	0,004–0,012	0,67	0,05	0,22	0–0,42	< 0,001–0,015
¹⁵³ Eu	0,0004–0,0005	0,73	0,02	0,05	0–0,04	< 0,0005–0,002
¹⁵⁷ Gd	0,005–0,013	7,7	0,07	0,18	–	0,0013–0,0102
¹⁵⁹ Tb	0,0006–0,004	0,67	0,01	0,04	–	< 0,0002–0,0018
¹⁶³ Dy	0,0006–0,0008	1,17	0,06	0,13	–	< 0,0009–0,0035
¹⁶⁵ Ho	0,001–0,0012	0,43	0,02	0,03	–	0,0003–0,0009
¹⁶⁶ Er	0,0022–0,0047	5,4	0,04	0,08	0–0,02	< 0,0007–0,002
¹⁶⁹ Tm	0,0038–0,0056	0,33	0,01	0,03	–	< 0,0002–0,0005
¹⁷³ Yb	0,0024–0,0045	0,93	0,05	0,12	–	< 0,0008–0,0025
¹⁷⁵ Lu	0,0007–0,0009	0,3	0,02	0,94	–	< 0,0002–0,0005

Примечание: * 1 – кровь экспонируемых взрослых, 2 – кровь неэкспонируемых взрослых, «–» – нет данных.
Note: * 1 – blood of exposed adults, 2 – blood of unexposed adults, a dash indicates no data.

личаются от существующих возможностью определять целый ряд РЗЭ из одной пробы в широком диапазоне концентраций с применением единой схемы пробоподготовки. В связи с востребованностью в различных отраслях промышленности РЗЭ, а также недостаточностью информации об их токсичности и содержании в различных средах, разработанные методики могут быть использованы при оценке эффективности и достаточности мероприятий по производственному контролю. Для этой цели мы предлагаем, наряду с существующими методами контроля в рабочей зоне, проводить тест на содержание РЗЭ в крови работников металлургических и добывающих предприятий.

References

1. Gwenzi W., Mangori L., Danha C., Chaukura N., Dunjana N., Sanganyado E. Sources, behaviour, and environmental and human health risks of high-technology rare earth elements as emerging contaminants // *Science of the Total Environment*. 2018. No. 636. P. 299–313. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.235
2. Balaram V. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact // *Geoscience Frontiers*. 2019. V. 10. P. 1285–1303. doi: 10.1016/j.gsf.2018.12.005
3. Petrenko D.B., Erofeeva K.G., Okina O.I. Rare earth elements in the environment: concentrations, migration characteristics and methods of determination (review) // *Theoretical and Applied Ecology*. 2022. No. 1. P. 6–16 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-006-016
4. Pagano G., Aliberti F., Guida M., Oral R., Siciliano A., Trifuoggi M., Tommasi F. Rare earth elements in human and animal health: State of art and research priorities // *Environmental Research*. 2015. No. 142. P. 215–220.
5. Damian P.P. A literature review of the health and ecological effects of the rare earth elements // *Prepared for rare Element Resources*. 2014. 40 p.
6. Pałasz A., Czekaj P.P. Toxicological and cytophysiological aspects of lanthanides action // *Acta Biochimica Polonica*. 2000. No. 47. P. 1107–1114. doi: 10.18388/abp.2000_3963
7. Rim K.T., Koo K.H., Park J.S. Toxicological evaluations of rare earths and their health impacts to workers: a literature review // *Safety and Health at Work*. 2013. No. 4. P. 12–26. doi: 10.5491/SHAW.2013.4.1.12
8. Li X., Chen Z., Chen Z., Zhang Y. A human health risk assessment of rare earth elements in soil and vegetables from a mining area in Fujian Province, Southeast China // *Chemosphere*. 2013. No. 93. P. 1240–1246. doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.06.085
9. Pagano G., Guida M., Tommasi F., Oral R. Health effects and toxicity mechanisms of rare earth elements – knowledge gaps and research prospects // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015. No. 115. P. 40–48. doi: 10.1016/j.ecoenv.2015.01.030
10. Bai Y., Long C., Hu G., Zhou D., Gao X., Chen Z., Wang T., Yu S., Han Y., Yan L. Association of blood chromium and rare earth elements with the risk of DNA damage in chromate exposed population // *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2019. No. 72. Article No. 103237. doi: 10.1016/j.etap.2019.103237
11. Henríquez-Hernández L.A., Boada L.D., Carranza C., Pérez-Arellano J.L., González-Antuña A., Camacho M., Almeida-González M., Zumbado M., Luzardo O.P. Blood levels of toxic metals and rare earth elements commonly found in e-waste may exert subtle effects on hemoglobin concentration in sub-Saharan immigrants // *Journal of Environment International*. 2017. No. 109. P. 20–28. doi: 10.1016/j.envint.2017.08.023
12. Ermolin M.S., Fedotov P.S., Ivaneev A.I., Karandashev V.K., Fedyunina N.N. Isolation and quantitative analysis of road dust nanoparticles // *Zhurnal analiticheskoy himii*. 2017. V. 72. No. 5. P. 448–461 (in Russian). doi: 10.7868/S004445021705005X
13. Karandashev V.K., Zhernokleeva K.V., Baranovskaya V.B., Karpov Yu.A. Analysis of high-purity materials by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2012. No. 1. P. 17–30.
14. Celso V., Dabek-Zlotorzynska E., Mathieu D., Okonskaia I. Validation of a simple microwave – assisted acid digestion method using microvessels for analysis of trace elements in atmospheric PM in monitoring and fingerprinting studies // *The Open Chemical and Biomedical Methods Journal*. 2010. No. 3. P. 143–152. doi: 10.2174/1875038901003010143
15. Celso V., Dabek-Zlotorzynska E., Zhao J., Okonskaia I., Bowman D. An improved method for determination of lanthanoids in environmental samples by inductively coupled plasma mass spectrometry with high matrix introduction system // *Analitica Chimica Acta*. 2011. V. 706. P. 89–96. doi: 10.1016/j.aca.2011.08.024
16. Danadurai K.S.K., Chellam S., Lee C., Fraser M.P. Trace elemental analysis of airborne particulate matter using dynamic reaction cell inductively coupled plasma – mass spectrometry: Application to monitoring episodic industrial emission events // *Analytica Chimica Acta*. 2011. V. 686. P. 40–49. doi: 10.1016/j.aca.2010.11.037
17. Dai Q., Li L., Li T., Bi X., Zhang Y., Wu J., Liu B., Gao J., Gu W., Yao L., Feng Y. Atmospheric signature and potential sources of rare earth elements in size – resolved particulate matter in a megacity of China // *Aerosol and Air Quality Research*. 2016. V. 16. P. 2085–2095. doi: 10.4209/aaqr.2016.03.0108
18. Heitland P., Köster H.D. Biomonitoring of 37 trace elements in blood samples from inhabitants of northern Germany by ICP-MS // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2006. V. 4. P. 253–262. doi: 10.1016/j.jtemb.2006.08.001

19. Rodushkin I., Ödman F., Olofsson R., Axelsson M.D. Determination of 60 elements in whole blood by sector field inductively coupled plasma mass spectrometry // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. 2000. V. 15. P. 937–944. doi: 10.1039/b003561k
20. Rodushkin I., Ödman F., Olofsson R., Burman E., Axelsson M.D. Multi-element analysis of body fluids by double-focusing ICP-MS // Recent Research Developments in Pure & Applied Analytical Chemistry. 2001. V. 5. P. 51–66.
21. Gorbatenko A.A., Revina E.I. Instrumental methods for the determination of rare earth elements (review) // Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. 2014. V. 80. No. 4. P. 7–19 (in Russian).
22. Ulanova T.S., Volkova M.V., Stenno E.V., Nedoshitova A.V., Veikhman G.A. Determination of the content of rare earth elements in air aerosols of the workplace air of a metallurgical enterprise by the ICP-MS method // Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 2018. No. 10. P. 28–33 (in Russian). doi: 10.31089/1026-9428-2018-10-28-33
23. Yuan Z., Liu Y., Yu H. Study on relationship between rare earth level in blood and health condition of residents // Chin Publ Health. 2003. V. 19. P. 133–135.

Книжный фестиваль «Красная площадь»

3–6 июня 2022 г. в Москве состоялся VIII книжный фестиваль «Красная площадь». На главной площади страны свои книги представили более 400 отечественных издательств из 60 регионов. Кировскую область на фестивале неизменно с 2015 г. представляет издательство «О-Краткое».

В рамках крупнейшего форума российских книжников традиционно подводили итоги всероссийские книжные конкурсы, и книги вятского издательства в этом году получили награды сразу в двух из них. В 32-м сезоне конкурса Ассоциации книгоиздателей России «Лучшие книги года – 2021» в номинации «Лучшая книга в области гуманитарных наук» издательство «О-Краткое» стало дипломантом за книгу Бенедикта Дыбовского «О Сибири и Камчатке». Это международный проект, в результате которого впервые на русский язык с польского была переведена книга выдающегося учёного и исследователя, принадлежавшего сразу к трём культурам – белорусской, польской и русской. Кроме того, книга Ларисы Францек «Мир колокольчиков», рассказывающая о богатом мире декоративных колокольчиков и выпущенная издательством «О-Краткое», вошла в шорт-лист и удостоилась диплома финалиста в номинации «Культурное наследие» XVIII Всероссийского конкурса региональной и краеведческой литературы «Малая родина», проводимого Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

Поздравляем авторов книг-победителей выставки, сотрудников и директора издательства «О-Краткое» с очередными высокими оценками их труда и желаем дальнейших успехов в издательской деятельности во славу Вятского края!

*Редколлегия журнала
«Теоретическая и прикладная экология»*