

## Влияние способов пробоподготовки на фотометрическое определение содержания теллура и кобальта в образцах медных концентратов

<sup>1</sup>Бутенко В.В., <sup>2</sup>Яковлева Т.Н.,  
<sup>1</sup>Троеглазова А.В.\*, <sup>3</sup>Злобина Е.В.,  
<sup>3</sup>Коротков И.С., <sup>1</sup>Аубакирова Р.А.

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>2</sup>Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия

<sup>3</sup>Центр физико-химических методов исследования и анализа, г. Алматы, Казахстан

\*E-mail: troeglasovaa@mail.ru

Применяемые в заводских лабораториях методики определения кобальта и теллура в медных концентратах отличаются длительностью и трудоёмкостью. Лимитирующей стадией анализа является предварительная химическая подготовка проб. Проведение разложения промышленных образцов концентрированными минеральными кислотами в открытых системах не позволяет улучшить метрологические характеристики методик, поэтому усовершенствование способов пробоподготовки является актуальным и представляет практический интерес. Работа посвящена определению оптимальных условий предварительной химической подготовки образцов медных концентратов для последующего определения в полученных растворах кобальта и теллура спектрофотометрическим методом. Разложение образцов проводили кислотным растворением в индивидуальных минеральных кислотах и их смесях при нагревании в открытой системе, а также в закрытой системе при воздействии ультразвука и микроволнового излучения. Для выбора оптимальных условий разложения исследуемых образцов в закрытой системе варьировали время контакта фаз, мощность ультразвукового генератора. Интенсификация процессов разложения медных концентратов азотной кислотой (1:1) ультразвуком и микроволновым излучением позволила количественно перевести кобальт и теллур в раствор за 20 и 30 мин соответственно. При этом снизилось количество применяемых реагентов, и повысилась точность определения за счет проведения процесса в строго идентичных условиях.

**Ключевые слова:** медные концентраты; пробоподготовка; разложение; кобальт; теллур; кислотное растворение; ультразвуковое воздействие; микроволновое разложение.

## Мыс концентратының сынамаларындағы теллур және кобальт мөлшерін фотометриялық талдау әдісіне үлгі дайындаудың әсері

<sup>1</sup>Бутенко В.В., <sup>2</sup>Яковлева Т.Н.,  
<sup>1</sup>Троеглазова А.В.\*, <sup>3</sup>Злобина Е.В.,  
<sup>3</sup>Коротков И.С., <sup>1</sup>Әубәкірова Р.Ә.

<sup>1</sup>С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік университеті, Өскемен қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Алтай мемлекеттік университеті, Барнаул қ., Ресей

<sup>3</sup>Физико-химиялық зерттеу және талдау әдістері орталығы, Алматы қ., Қазақстан

\*E-mail: troeglasovaa@mail.ru

Зауыттық зертхана әдістері мыс концентратындағы кобальт және никельді анықтау ұзақ уақыт тұндыруымен ерекшеленеді. Талдаудың шекті кезеңі химиялық үлгі дайындау болып табылады. Өнеркәсіптік үлгілерді кеңейтуді ашық жүйеде минералдық қышқылдарда іске асыру метрологиялық әдістемелердің сипаттамаларын жақсартуға мүмкіндік бермейді, сондықтан сынама дайындау әдістерін жетілдіру өзекті болып табылады және практикалық қызығушылық тудырады. Бұл жұмыс спектрофотометриялық талдау әдісінен кейін алынған ерітіндідегі мыс концентратының сынамаларындағы теллур және кобальттың химиялық үлгілерін оңтайлы жағдайда дайындауға арналған. Үлгілердің ыдырауы ашық жүйеде қыздыру арқылы жеке минералды қышқылдары мен оның қоспаларында еріту және жабық жүйеде УДЗ және микротолқынды сәулелену әсеріне ұшыраған кезде жүреді. Жабық жүйеде үлгілердің ыдырауының қолайлы жағдайы ретінде әртүрлі фазалардың байланыс уақыты, қуаты ультрадыбыстық генераторынан алынды. Мыс концентратын азот қышқылында (1:1) ыдырау процестерін қарқынды ультрадыбыстық және толқынды сәуле береді, тиісінше, ерітіндідегі кобальт және теллурдың сандық мәні 20 және 30 мин болады. Бұл қолданылатын реагенттер мөлшерін төмендетіп, бірдей қатаң жағдайда процестің анықтау дәлдігін жақсартады.

**Түйін сөздер:** мыс концентраттары; үлгі дайындау; ыдырау; кобальт; теллур; қышқылды еріту; ультрадыбыстық тазарту; микротолқынды ыдырау.

## Effect of sample preparation methods on photometric determination of the tellurium and cobalt content in the samples of copper concentrates

<sup>1</sup>Butenko V.V., <sup>2</sup>Yakovleva T.N.,  
<sup>1</sup>Troeglazova A.V.\*, <sup>3</sup>Zlobina E.V.,  
<sup>3</sup>Korotkov I.S., <sup>1</sup>Aubakirova R.A.

<sup>1</sup>S. Amanzholov East Kazakhstan State University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

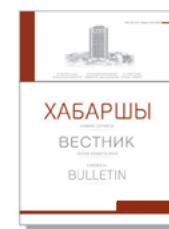
<sup>2</sup>Altai state University, Barnaul, Russia

<sup>3</sup>Center of Physical Chemical Methods of Research and Analysis, Almaty, Kazakhstan

\*E-mail: troeglasovaa@mail.ru

Methods of determination of cobalt and nickel in copper concentrates currently used in factory laboratories are very labor intensive and time consuming. The limiting stage of the analysis is preliminary chemical sample preparation. Carrying out the decomposition process of industrial samples with concentrated mineral acids in open systems does not allow to improve the metrological characteristics of the methods, for this reason improvement the methods of sample preparation is quite relevant and has a practical interest. The work was dedicated to the determination of the optimal conditions of preliminary chemical preparation of copper concentrate samples for the subsequent determination of cobalt and tellurium in the obtained solution using tellurium-spectrophotometric method. Decomposition of the samples was carried out by acid dissolving in individual mineral acids and their mixtures by heating in an open system as well as by using ultrasonification and microwave radiation in a closed system. In order to select the optimal conditions for the decomposition of the samples in a closed system the phase contact time and ultrasonic generator's power were varied. Intensification of the processes of decomposition of copper concentrates with nitric acid (1:1), ultrasound and microwave radiation allowed to transfer quantitatively cobalt and tellurium into solution spending 20 and 30 min respectively. This reduced the amount of reactants used and improved the accuracy of determination by running the process in strictly identical conditions.

**Keywords:** copper concentrates; sample preparation; decomposition; cobalt; tellurium; acid dissolving; ultrasonification; microwave decomposition.



## Влияние способов пробоподготовки на фотометрическое определение содержания теллура и кобальта в образцах медных концентратов

<sup>1</sup>Бутенко В.В., <sup>2</sup>Яковлева Т.Н., <sup>1</sup>Троеглазова А.В.\* , <sup>3</sup>Злобина Е.В.,  
<sup>3</sup>Коротков И.С., <sup>1</sup>Аубакирова Р.А.

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>2</sup>Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия

<sup>3</sup>Центр физико-химических методов исследования и анализа, г. Алматы, Казахстан

\*E-mail: troeglasovaa@mail.ru

### 1. Введение

Высокое содержание кобальта в земной коре (0,002%) наряду с высокой степенью его рассеяния, а также истощение большинства месторождений, делают рентабельным получение кобальта в качестве побочного продукта переработки медных концентратов [1,2]. Теллур относят к группе редких и рассеянных элементов, мировые запасы его в рентабельном сырье составляют 40-50 тыс. т. в медных и полиметаллических месторождениях. Теллур получают в результате комплексной переработки свинцово-цинковых концентратов [2].

Разнообразие, сложность состава и низкие содержания кобальта и теллура в промышленных образцах, а также длительность методик их определения наряду с необходимостью обеспечения в условиях заводских лабораторий экспрессности, ставят перед химиками-аналитиками задачу усовершенствования стадии пробоподготовки, лимитирующей весь процесс анализа. Аналитический контроль металлургических образцов включает количественное переведение аналита в раствор и, по возможности, максимальное отделение его от сопутствующих элементов, влияющих на аналитический сигнал [3-6].

Известные способы разложения образцов медных концентратов различаются в зависимости от цели анализа. Чаще всего для разложения применяют растворение индивидуальными кислотами и их смесями. Способ кислотного растворения удовлетворяет требованиям заводских лабораторий, поскольку он обеспечивает оптимальную кислотность фоновых растворов, не требует

применения дорогостоящих платиновых тиглей, как в случае щелочного сплавления, и является относительно простым и экспрессным способом [5]. Способы разложения проб медных концентратов, применяемые реактивы, а также методы дальнейшего определения кобальта и теллура в полученных растворах обобщены в таблице 1 [7].

Следует отметить, что регламентируемые в ГОСТ 3222127 [7] способы разложения образцов медных концентратов с целью перевода в раствор кобальта и теллура довольно продолжительны и занимают от 40 мин до 18 ч [1]. Для интенсификации процесса разложения образцов осуществляют в закрытой системе при ультразвуковом и микроволновом воздействии при варьировании природы реагента и времени контакта фаз. В работе [7] определение кобальта в различных типах почв осуществляли атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией в растворах, полученных после микроволнового разложения азотной кислотой. Предел обнаружения метода составляет 0,04 мкг/г. Ультразвуковое разложение применяется для определения концентрации кобальта, мышьяка, бария, меди, свинца, никеля, стронция, ванадия и цинка в почвах методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой [8]. Результаты анализа растворов после ультразвукового разложения сопоставимы с результатами, полученными при определении содержания аналитов в растворах после микроволнового облучения. Данные, описывающие определение кобальта и теллура в металлургических образцах, в том числе в медных концентратах, в литературе отсутствуют.

Цель настоящей работы состоит в исследовании различных способов интенсификации пробоподготовки образцов медных концентратов УК МК ТОО «Казцинк», позволяющих сократить время переведения в раствор кобальта и теллура для их дальнейшего фотометрического определения.

## 2. Эксперимент

Стандартные растворы кобальта с концентрацией основного компонента 2,7 г/л готовили растворением точной навески перекристаллизованного сульфата кобальта в дистиллированной воде по методике [9]. В работе применяли стандартный образец состава ионов теллура с концентрацией 1 г/л. Рабочие растворы меньших концентраций получали последовательным разбавлением исходных растворов. Для исследований применяли только свежеприготовленные растворы.

Для проведения исследований использован образец медного концентрата УК МК ТОО «Казцинк». Пробу медного концентрата предварительно измельчали, высушивали при температуре 105°C до постоянной массы. Полуколичественный анализ исследуемого образца проводили с использованием

рентгенофлуоресцентного спектрометра СРВ-1М (Техноаналит, Казахстан). Основные условия измерений, проводимых на рентгенофлуоресцентном спектрометре, представлены в таблице 2. Состав медного концентрата по результатам проведённого анализа приведен в таблице 3.

В большинстве случаев для переведения кобальта и теллура в раствор достаточной является обработка пробы кислотой-окислителем: соляная, серная, азотная кислоты. Для растворения оксида кремния и повышения степени переведения в раствор аналитов в систему вводили фтористоводородную кислоту, влияние которой устраняли путем добавления борной кислоты.

Поэтому в качестве реагентов для кислотного растворения применяли следующие реактивы:  $\text{HNO}_3$  (хч, ГОСТ 4461-77),  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (хч, ГОСТ 4204-77),  $\text{HCl}$  (хч, ГОСТ 3118-77),  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (ГОСТ 18704-78),  $\text{HF}$  (хч, ГОСТ 10484-78),  $\text{NaF}$  (чда, ГОСТ 4463-76).

Для разложения проб медных концентратов в закрытой системе использовали ультразвуковой технологический аппарат «АЛЕНА» УЗТА-0,15/22-0 (Россия) и микроволновую систему для Speed Wave Four Technology (Bergh of Products, Германия), оснащенную тефлоновыми автоклавами.

Таблица 1 – Способы разложения образцов медных концентратов [7]

Способ разложения	Реагенты для разложения	Аналит	Метод анализа	Диапазон определяемых содержаний, %
Кислотное растворение	$\text{HCl} + \text{HNO}_3$	Co	Фотометрический	-
		Te	Экстракционно-атомно-абсорбционный	0,0010 - 0,10
	$\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$	Te	Фотометрический	0,0005 - 0,1
	$\text{NaF} + 3\text{HCl} + \text{HNO}_3$	Co	Фотометрический	0,001 - 0,2
	$\text{NaF} + \text{HCl} + \text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$	Co	Атомно-абсорбционный	0,005 - 0,2
	$\text{HNO}_3 + \text{HCl} + \text{HF} + \text{HClO}_4$	Co	Атомно-абсорбционный	0,005 - 0,2
Сплавление	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	Co	Атомно-абсорбционный	0,005 - 0,2

Таблица 2 – Условия измерения на рентгенофлуоресцентном спектрометре СРВ-1М

Кристалл-анализатор	LiF200
Время экспозиции (в зависимости от концентрационного диапазона аналита)	30-50 с
Аналитическая линия	Co $\alpha$ 1, порядок 1 Te $\alpha$ 1, порядок 2
Длина волны	1788 нм (Co), 902 нм (Te)
Учет дрейфа	FeK $\beta$ 1, порядок 1
Учет фона	по двум точкам
Напряжение	40 кВ
Ток трубки	500 мкА

Содержание кобальта и теллура в растворах определяли спектрофотометрически по светопоглощению комплексного соединения кобальта (III) с нитрозо-Р-солью ( $\lambda=540$  нм) и комплекса теллура с хлоридом олова соответственно ( $\lambda=400-420$  нм) [7] на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ «Спектр», Россия). Влияние железа и меди на фотометрическое определение кобальта, устраняли кипячением раствора после добавления индикатора нитрозо-Р-соли. Матричные элементы не оказывают значительного влияния на аналитический сигнал определения теллура.

Разложение пробы медного концентрата проводили при нагревании образца с индивидуальными минеральными кислотами в открытой системе при температуре, не превышающей  $165^{\circ}\text{C}$  [7]. С целью интенсификации процесса разложение проводили в закрытых системах при воздействии на реакционную смесь

ультразвуковым (УЗ) и микроволновым облучениями (МВ). Для выбора оптимальных условий разложения исследуемых образцов в закрытой системе варьировали время контакта фаз, мощность ультразвукового генератора. При варьировании каждого фактора отбирали по три навески исследуемой пробы медного концентрата. Условия разложения представлены в таблице 4.

Для каждого раствора, полученного после разложения проб медных концентратов, выполняли по три единичных определения, а затем вычисляли среднее арифметическое значение оптической плотности, по которому находили массовую концентрацию аналита в растворе пробы, используя градуировочный график. За результат анализа ( $\hat{C}$ ) принимали среднее арифметическое трех параллельных определений, каждое из которых выполнено из отдельной навески.

**Таблица 3** – Состав исследуемой пробы медного концентрата

Наименование образца	Состав пробы, %					
Медный концентрат ЗГОК № 2139	Cu	9,5	As	0,029	S	0,21
	Pb	3,5	Sb	0,012	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,95
	Zn	2,79	CaO	0,2	MgO	0,95
	Fe	24,9	SiO <sub>2</sub>	13,09	Cd	0,012

**Таблица 4** – Условия кислотного растворения проб медных концентратов

№ способа разложения	Реагент	Время контакта фаз, мин	Условия	Физическое воздействие		
1	HNO <sub>3</sub> (1:1)	40	165°C	Термический нагрев		
2	3HCl+HNO <sub>3</sub>	90	165°C			
3	HNO <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1:1)	90	165°C			
4	NaF+HCl+HNO <sub>3</sub>	1440	165°C			
5-1	HNO <sub>3</sub> (1:1)	10	20 Гц	Ультразвуковое воздействие		
5-2		20				
5-3		30				
5-4		10	30 Гц			
5-5		20				
5-6		30				
5-7		10	50 Гц			
5-8		20				
5-9		30				
6-1		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1:1)	5		200°C; P=25 В	Микроволновое облучение
6-2			15			
6-3			30			
7			H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1:1)			
8-1	HNO <sub>3</sub> +HCl+HF		5			
8-2			15			
8-3			30			
9	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> +HCl+HF		30			

### 3. Результаты и обсуждение

Результаты анализа растворов, полученных после разложения проб медных концентратов в открытой системе при термическом нагреве (способы №1-4), представлены в таблице 5. Как следует из приведённых данных, максимальное вскрытие проб медных концентратов обеспечивает растворение образца в растворе азотной кислоты (1:1) в течение 40 мин при термическом нагреве системы (способ 1). Процесс, вероятно, сопровождается образованием нитратов матричных и примесных элементов, в том числе кобальта, а также теллуристой кислоты.

Результаты разложения образцов в закрытых системах под действием ультразвука и микроволнового облучения представлены в таблице 6. Как следует из приведённых данных, увеличение времени воздействия на реакционную систему ультразвука (способы 5-1 – 5-9) приводит к лучшему разложению образца – максимальные содержания и кобальта и теллура в растворе обнаруживаются при времени

процесса 20 мин и более. Микроволновое излучение позволяет полностью перевести в раствор только кобальт азотной кислотой (способ 6-3), извлечение теллура не превышает 50% при использовании различных смесей кислот, а также при увеличении времени экспозиции МВ до 30 мин. Применение в качестве реагентов при микроволновом облучении раствора  $H_2SO_4$  (1:1) и смеси кислот  $H_3BO_3+HCl+HF$  (способы 7 и 9 соответственно) оказалось неэффективным, пробы медных концентратов не вскрываются.

Таким образом, наибольшая полнота переведения кобальта и теллура в раствор может быть обеспечена способами № 5-3 для теллура и способами № 5-3, 6-3 для кобальта. Перечисленные способы соответствуют следующим условиям:

5-3	$HNO_3$ (1:1)	Время контакта фаз 20 мин	Мощность ультразвукового генератора 20 Гц
6-3	$HNO_3$ (1:1)	Время контакта фаз 30 мин	Температура 200°C, микроволновое облучение

Таблица 5 – Результаты анализа пробы медного концентрата в открытой системе

Номер способа разложения	Определение содержания кобальта			Определение содержания теллура		
	$\hat{C}_{Co} \cdot 10^{-4}$ , % масс.	$S \cdot 10^{-4}$	$S_r$ , % отн.	$\hat{C}_{Te} \cdot 10^{-3}$ , % масс.,	$S \cdot 10^{-3}$	$S_r$ , % отн.
1	40,70	1,15	2,84	35,00	2,31	6,66
2	6,23	0,81	13,00	2,00	0,17	10,20
3	22,00	3,46	15,80	10,00	0,67	6,42
4	9,17	1,04	11,40	1,00	0,21	18,40

Таблица 6 – Результаты анализа пробы медного концентрата в закрытой системе

Номер способа разложения	Определение содержания кобальта			Определение содержания теллура		
	$\hat{C}_{Co} \cdot 10^{-4}$ , %масс.	$S \cdot 10^{-4}$	$S_r$ , % отн.	$\hat{C}_{Te} \cdot 10^{-2}$ , %масс.	$S \cdot 10^{-2}$	$S_r$ , % отн.
5-1	24,10	0,12	0,48	4,10	0,23	5,68
5-2	40,70	0,12	2,84	8,60	0,35	4,03
5-3	40,70	0,12	0,48	9,90	0,50	5,10
5-4	24,10	0,12	0,48	5,90	0,42	7,10
5-5	40,70	1,15	2,84	9,30	0,12	1,25
5-6	40,70	1,15	2,84	9,90	0,42	4,19
5-7	24,10	0,12	0,48	5,90	0,42	7,02
5-8	40,70	1,15	2,84	10,10	0,31	3,01
5-9	40,70	1,15	2,84	10,20	0,40	3,92
6-1	26,10	1,08	4,14	4,10	0,42	10,4
6-2	11,00	1,00	9,09	4,50	0,69	15,30
6-3	41,60	1,00	2,40	4,20	0,24	5,55
7	Проба не вскрыта			Проба не вскрыта		
8-1	7,91	0,82	10,4	3,20	0,15	4,49
8-2	7,53	0,50	6,68	3,40	0,37	10,80
8-3	7,00	0,17	2,47	2,60	0,34	13,00
9	Проба не вскрыта			Проба не вскрыта		

#### 4. Заключение

На основании проведенных исследований определены оптимальные условия разложения проб медных концентратов для фотометрического определения кобальта и теллура. В качестве факторов, оказывающих наибольшее влияние на процесс растворения, исследованы: природа химического реагента, время экспозиции, вид и условия физического воздействия.

Максимальному переведению кобальта и теллура в раствор с последующим определением аналита из одной навески способствует растворение в азотной кислоте (1:1) при

ультразвуковом воздействии в течение 20 мин и мощности ультразвукового генератора 20 Гц. Проведение процесса разложения в закрытой системе позволяет обеспечить достижение высокой степени воспроизводимости результатов анализа за счет соблюдения строго идентичных условий.

#### Благодарности

Работа выполнена в соответствии с календарным планом госбюджетной темы № 290/2015 «Разработка аналитических средств контроля технологического процесса переработки медных концентратов».

#### Список литературы

- 1 Киселев А.Л. Перспективы создания сырьевой базы никеля и кобальта в Казахстане // Известия НАН РК. Серия геологическая. – 2003. – №6. – 2003. – С.28-35.
- 2 Пашков Г.Л., Кокорина А.Н. Рассеянные элементы – спутники свинца, цинка: распределение в технологических циклах переработки полиметаллических свинцово-цинковых руд // Материалы II Международного конгресса "Цветные металлы". – Красноярск, 2010. – Раздел III. – С.193-201.
- 3 Сафарова В.И., Шайдулин Г.Ф., Михеева Т.Н., Кудашева Ф.Х., Низамутдинова Н.Р. Способы пробоподготовки почвы, донных отложений и твердых отходов для атомно-абсорбционного определения тяжелых металлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. –2010. – Т.76, № 2. – С.10-14.
- 4 Башилов А. Микроволновая подготовка проб к элементному анализу – вчера, сегодня, завтра // Аналитика. – 2011. – №1. – С.6-14.
- 5 Карпов Ю.А., Савостин А.П. Методы пробоотбора и пробоподготовки. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 243 с.
- 6 Чмиленко Ф.А., Смитюк Н.М., Бакланов А.Н. Ультразвуковая интенсификация пробоподготовки различных генетических типов почв при определении подвижных и валовых форм химических соединений // Грунтознавство. – 2005. – Т.6, №1. – С.99-107. ГОСТ 32221-2013. Концентраты медные. Методы анализа. Введ. 01.01.15. – М.: Стандартинформ, 2014. – 119 с.
- 7 Delgado-Povedano M.M., Luque de Castro M.D. Ultrasound-assisted analytical emulsification-extraction // TrAC Trends in Analytical Chemistry. – 2013. – Vol.45. – P.1-13.
- 8 Ilander Aki, Väisänen Ari. An ultrasound-assisted digestion method for the determination of toxic element concentrations in ash samples by inductively coupled plasma optical emission spectrometry // Analytica Chimica Acta. – 2007. – Vol.602. – P.195–201.
- 9 Коростелев П.П. Приготовление растворов для химико-аналитических работ. – М.: Наука, 1964. – 402 с.

#### References

- 1 Kiselev AL (2003) Proceedings of the National Academy of Sciences of Kazakhstan. Geological Series [Isvestia NAN RK. Seriageologicheskaya] 6:28-35. (In Russian)
- 2 Pashkov GL, Kokorina AN (2010) Trace elements – satellites lead, zinc: distribution in the technological cycle of polymetallic lead-zinc oresprocessing [Rasseyannie elementi – sputnik svinza, zinka: raspredelenie v technologicheskikh ziklah pererabotki polimetallicheskikh svinzovo-zinkovihrud]. Abstracts of the II International Congress «Non-Ferrous Metals - 2010», Krasnoyarsk, Russia. P.193-201. (In Russian)
- 3 Safarova VI, Shayduln GF, MikheevaTN, Kudasheva FH, Nizamutdinova NR (2010) Factory Laboratory. Diagnosis materials [Zavodskay laboratoria. Diagnostika materialov] 2:10-14. (In Russian)
- 3 Bashilov A (2011) Analytics [Analitika] 1:6-14. (In Russian)
- 4 KarpovYA, Savostin AP (2003) Methods of sampling and sample preparation [Metody probootbora i probopodgotovki]. "BINOM. Knowledge Laboratory", Moscow, Russia. (In Russian). ISBN 978-5-9963-2584-9
- 5 Chmilenko FA, Smityuk NM, Baklanov AN(2005) Gruntoznavstvo (Gruntosnavstvo) 6:99-107. (In Russian)
- 6 (2014) GOST 32221-2013. Copper concentrates. Methods of analysis (Mednie koncentraty. Metody analiza). Moscow, Russia. (In Russian)
- 7 Delgado-Povedano MM, Luque de Castro MD (2013) Trac-Trend Anal Chem 45:1-13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2012.12.011>
- 8 Ilander A, Väisänen A (2007) Anal Chima Acta 602:195–201. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2007.09.015>
- 9 Korostelev PP (1964) Preparation of solutions for chemical-analytical works (Prigotovlenie rastvorov dlya khimico-analiticheskikh rabot). Nauka, Moscow, Russia. (In Russian)