Определение погрешностей стандартных образцов состава золотосодержащих руд

Ступакова Е. В.¹

¹ Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов,
г. Иркутск, Россия

e-mail: stupakova@irgiredmet.ru

Реферат

Введение. Стандартные образцы (СО) состава руд и продуктов их переработки должны удовлетворять требованиям однородности материала. Технология приготовления материала СО должна обеспечить однородность его состава. Однородность гомогенизированного материала экспериментально исследуют и оценивают, чтобы была уверенность в том, что аттестуемая характеристика СО имеет одинаковое значение в любой части материала или его вариации не превосходят некоторого заданного уровня.

Методология исследования. Погрешность неоднородности материала СО оценивают способом, основанным на многократных измерениях содержания аттестуемого компонента в нескольких пробах, отобранных случайным образом от всего материала СО, с последующей обработкой результатов измерений. От всей массы материала СО для оценивания однородности случайным образом отбирают N проб массой M_0 каждая. Отбор проб проводят после приготовления и гомогенизации материала СО. Масса каждой пробы M_0 должна быть достаточной для проведения в соответствии с применяемой методикой измерений фиксированного числа измерений J .

Результаты исследования. Экспериментально установлено, что оценка погрешности неоднородности материала стандартных образцов состава золотосодержащих руд при принятой по ГОСТ 8.531-2002 «ГСИ. Стандартные образцы состава монолитных и дисперсных материалов. Способы оценивания однородности» по схеме дисперсионного анализа приводит к получению величин погрешностей неоднородности ниже установленного норматива однородности материала стандартных образцов. Для правильного расчета погрешности неоднородности при принятой схеме эксперимента необходим пересчет величины погрешности с учетом погрешностей неоднородности навесок массой 50 г или расчет погрешности неоднородности по всему массиву полученных результатов анализа ($N \times J$). Гранулометрический состав материала стандартных образцов состава золотосодержащих руд, при котором 100 % массы имеет размер зерен менее 0,050 мм, дает возможность получить величины погрешностей неоднородности максимально приближенные к установленным нормативам.

Ключевые слова: стандартный образец; однородность материала стандартного образца; погрешность неоднородности.

Введение. Стандартные образцы (СО) занимают ключевое место в химических и других видах измерений, обеспечивая единство измерений в мире [1, 2]. Являясь одним из доступных и эффективных средств передачи единицы величины, стандартные образцы широко используются в лабораториях разных стран для градуировки, поверки, калибровки средств измерений, валидации, аттестации методик измерений, контроля точности результатов измерений, а также при оценке квалификации лабораторий [3–9].

Стандартные образцы состава руд и продуктов их переработки должны удовлетворять требованиям однородности материала. Технология приготовления материала СО должна обеспечить однородность его состава. Однородность гомогенизированного материала экспериментально исследуют и оценивают с тем, чтобы

была уверенность в том, что аттестуемая характеристика СО имеет одинаковое значение в любой части материала или его вариации не превосходят некоторого заданного уровня.

Процедура гомогенизации исходного материала не позволяет достичь пренебрежимо малых вариаций значения аттестуемой характеристики по всему объему, поэтому в число метрологических характеристик СО включают погрешность неоднородности S_n [10–12]. Алгоритмы оценивания этой погрешности регламентируются ГОСТ 8.531-2002 «ГСИ. Стандартные образцы состава монолитных и дисперсных материалов. Способы оценивания однородности». Оценку однородности СО проводят после достижения необходимого гранулометрического состава гомогенного материала стандартного образца.

Методология исследования. Для экспериментальной оценки однородности используют методики измерений с установленной характеристикой погрешности SMВИ, при этом систематическая погрешность должна оставаться постоянной или изменяться за время проведения измерений пренебрежимо мало по отношению к случайной погрешности.

Рис. 1. Зависимость допустимой относительной погрешности результатов анализа от массовой доли для руд с тонкодисперсным золотом (крупностью до 0,1 мм)
Fig. 1. Dependence between the margin of the relative analytical error and the mass share for the ore with finely dispersed gold (up to 0.1 mm)

Погрешность неоднородности материала СО оценивают способом, основанным на многократных измерениях содержания аттестуемого компонента в нескольких пробах, отобранных случайным образом от всего материала СО, с последующей обработкой результатов измерений. От всей массы материала СО для оценивания однородности случайным образом отбирают N проб массой M_0 каждая. Отбор проб проводят после приготовления и гомогенизации материала СО. Масса каждой пробы M_0 должна быть достаточной для проведения в соответствии с применяемой методикой измерений фиксированного числа измерений J .

В соответствии с ОСТ 41-08-268-04 «Стандарт отрасли. Управление качеством аналитических работ. Отраслевые стандартные образцы элементного состава твердых негорючих полезных ископаемых и горных пород. Разработка, аттестация, утверждение (признание), регистрация, выпуск, применение» погрешность неоднородности (значение погрешности от неоднородности СО) не должна превышать установленного норматива (рис. 1) – 0,33 допустимого среднего квадратического отклонения $\sigma_{др}$ или относительной погрешности P результатов анализа, выполняемого методами III категории точности.

Погрешность неоднородности оценивают по схеме однофакторного дисперсионного анализа. Целью дисперсионного анализа является разложение суммарной дисперсии на составляющие: дисперсию, обусловленную техникой эксперимента (дисперсию, характеризующую степень близости результатов анализа друг к другу) и дисперсию, вызванную действием изучаемого фактора (дисперсию неоднородности материала).

Результаты исследования. Рассмотрим результаты оценки погрешностей неоднородности материала пяти стандартных образцов состава золотосодержащих руд по методике, составленной на основе ГОСТ 8.531-2002 «ГСИ. Стандартные образцы состава монолитных и дисперсных материалов. Способы оценивания однородности».

Необходимое количество материала каждого стандартного образца определяли следующим:

- числом экземпляров разрабатываемого СО;
- числом проб, необходимых для исследования однородности;
- числом проб, необходимых для установления значения аттестуемой характеристики материала СО;
- количеством материала, необходимого для одного измерения.

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований однородности материала стандартных образцов

Table 1. The data of the experimental research on the homogeneity of reference materials

Номер СО	Массовая доля золота α , г/т	Число определений (результатов анализа) $N \times J$	Экспериментальное значение погрешности неоднородности S_H , г/т	Относительная погрешность неоднородности P_H , %
1	0,85	31×2	0,033	7,8
2	12,70	31×2	0,195	3,0
3	0,55	20×4	0,005	1,8
4	1,64	20×4	0,043	5,2
5	6,20	20×4	0,116	3,7

$$P_H = (2S_H/\alpha)100 \text{ \%}.$$

Материал стандартных образцов был просушен и измельчен на оборудовании Rocklabs, при этом достигнут гранулометрический состав, при котором 95 % массы пробы имеет размер зерен менее 0,074 мм, а 100 % массы – менее 0,100 мм. Материал гомогенизирован (усреднен) на специальном оборудовании – смесителе-гомогенизаторе с последующим квартованием и отбором проб для исследования однородности материала. Результаты экспериментальных исследований однородности материала стандартных образцов представлены в табл. 1.

На рис. 2 квадратами отмечены погрешности неоднородности пяти стандартных образцов в сравнении с установленными нормативами – опорной зависимостью. Все точки отстоят далеко от опорной зависимости для всех массовых долей золота, при этом получены погрешности неоднородности менее 10 %.

Обсуждение результатов исследования. Видим, что эксперимент дает результаты, резко отличающиеся от нормативных, причем для проб с малой массовой долей золота получены весьма малые относительные погрешности.

Для объяснения этого результата рассмотрим схему эксперимента. От всей массы материала каждого стандартного образца отбирается N проб массой $M_0 = 200$ г. От пробы массой M_0 отбирается J навесок массой $M_1 = 50$ г, на которых выполняется анализ (рис. 3). Данный вариант эксперимента приводит к другой

схеме определения погрешности неоднородности навесок, а именно: в расчетную формулу оценки погрешности неоднородности необходимо включить погрешность неоднородности навески $M_1 = 50$ г, так как эта погрешность будет добавляться к погрешности методики измерений $S_{\text{МВИ}}$.

Рис. 2. Погрешности неоднородности стандартных образцов в сравнении с установленным нормативом – опорной зависимостью

Fig. 2. Inhomogeneity errors of reference materials as compared to the established standards – reference dependence

Таким образом, в схеме эксперимента появилось два вида навесок: одна навеска массой $M_0 = 200$ г, другая – массой $M_1 = 50$ г, а результат эксперимента S_a^2 будет включать три погрешности $S_{\text{НМ}0}^2$, $S_{\text{НМ}1}^2$ и $S_{\text{МВИ}}^2$, но $S_{\text{МВИ}}^2$ нельзя рассчитать отдельно, она рассчитывается только вместе с погрешностью отбора навески $S_{\text{НМ}1}^2$ по формуле:

$$S_{\text{НМ}1}^2 + S_{\text{МВИ}}^2 = \sum_i^N \sum_j^J (\alpha_{ij} - \bar{\alpha}_i)^2 / (N(J-1)),$$

а искомое значение $S_{\text{Н}}^2$ будет $S_{\text{НМ}0}^2$, т. е.

$$S_{\text{НМ}0}^2 = S_a^2 - ((S_{\text{НМ}1}^2 + S_{\text{МВИ}}^2) / J).$$

Это значит, что декларируемые результаты относятся к погрешности неоднородности навесок массой 200 г, смешанным с погрешностями неоднородности навесок массой 50 г. Степень смешения зависит от числа параллельных определений J .

Пересчитаем полученные погрешности. Дисперсия погрешности навесок массой 50 г в соответствии с ГОСТ 8.531-2002 «ГСИ. Стандартные образцы состава монолитных и дисперсных материалов. Способы оценивания однородности»,

в котором предусмотрен пересчет дисперсий на разные массы, больше дисперсии погрешности навесок массой 200 г в 4 раза:

$$S_{H50}^2 = 4S_{H200}^2.$$

Дисперсия погрешности навесок S_{HM1}^2 , отбираемых от массы M_0 при отношении $M_0/M_1 = 4$, будет больше дисперсии навесок S_{HM0}^2 в 3 раза [3], так как $(1/M_1 - 1/M_0) = 15$ больше $(1/M_1 - 1/\infty) = 5$ в три раза. Тогда при пренебрежимо малом $S_{МВИ}^2$ справедливы два равенства:

$$S_{HM0}^2 = S_a^2 - \frac{3S_{HM0}^2}{J};$$

$$\frac{1}{4}S_{HM1}^2 = S_a^2 - \frac{3S_{HM1}^2}{J}.$$

Откуда

$$S_{HM1} = S_{HM0} \sqrt{\left(1 + \frac{3}{J}\right) / \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{J}\right)},$$

$S_{HM1} = 1,82S_{HM0}$ при $J = 2$; $S_{HM1} = 1,87S_{HM0}$ при $J = 4$.

Следовательно, полученные оценки относительной погрешности неоднородности стандартных образцов P_{H200} следует увеличить в 1,82–1,87 раза, приписываемые P_{H50} навескам массой 50 г. Найденные таким образом относительные погрешности неоднородности P_{H50} показаны на рис. 2 в виде маркеров-ромбов. Можно видеть, что уже проявляется опорная зависимость, но значения P_{H50} все еще занижены.

Основные причины занижения погрешности неоднородности кроются в схеме дисперсионного анализа, приводящей к необходимости получения конечного результата по разности дисперсий, а также к усреднению J результатов анализов.

При использовании дисперсионного анализа необходимо учитывать его принципиальные недостатки:

– большую погрешность экспериментальной оценки дисперсии. При расчете относительной погрешности экспериментально найденного среднеквадратичного отклонения дисперсии P_s , %, можно видеть, что при обычно принимаемом числе проб 20–30 погрешность ответа будет примерно 30 %, но даже при 100 пробах она остается на уровне 15 %:

$$P_s = \frac{200}{\sqrt{2N-1}},$$

где N – число экспериментальных данных;

– сомнительность правильного ответа по разности дисперсий. Разность дисперсий определяют по основному уравнению дисперсионного анализа; в данном случае $S_H^2 = S_a^2 - \frac{S_{МВИ}^2}{J}$; если $S_{МВИ}^2$ велико, а J мало, то S_H^2 будет предопределяться погрешностями P_s и может быть получен любой произвольный результат.

Так как в реализуемой схеме эксперимента вычитается величина, соизмеримая с S_α^2 :

$$S_{H200}^2 = S_\alpha^2 - \frac{S_{H50}^2 + S_{МВИ}^2}{J},$$

то шансы получить произвольные ответы велики, что и наблюдается в действительности (рис. 2).

Заметим, что ГОСТ 8.531-2002 «ГСИ. Стандартные образцы состава монолитных и дисперсных материалов. Способы оценивания однородности» предусматривает даже случай получения отрицательного значения S_H^2 , что противостоит, но при больших погрешностях определения дисперсий возможно.

Рис. 3. Схема выполнения экспериментов, реализуемая практически:

$$i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, J$$

Fig. 3. Experimental scheme which is practically implemented:

$$i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, J$$

Изменение методики расчета. Так как речь идет об одном и том же опробуемом массиве, то схема формирования навесок по 50 г не имеет значения, и погрешность неоднородности может быть найдена по всему массиву результатов анализов в целом, т. е. из рассмотрения можно исключить S_{H200}^2 .

В целом по эксперименту получены результаты анализов 80 или 62 параллельных навесок массой 50 г. Это уже достаточно большое число параллельных анализов, когда появляются и редкие большие отклонения от среднего $\alpha_{\max}$ и $\alpha_{\min}$. Это значит, что погрешность неоднородности навесок массой 50 г можно получить по формуле, эквивалентной формуле расчета дисперсий по большому числу результатов анализа:

$$S_H = \frac{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}}{4}.$$

Формула применима в предположении, что экспериментальные результаты попадают в диапазон $\pm 2S_\alpha$, соответствующий 95 % вероятности. Однако с увеличением числа анализов возрастает вероятность выхода значений $\alpha_{\max}$ и $\alpha_{\min}$ за

пределы этого диапазона. Поэтому примерно 5 % результатов анализа следует исключать из рассмотрения. Для совокупности 40–60 анализов следует исключать 2 результата по одному наибольшему и наименьшему, для совокупности 60–100 следует исключать 4 результата по два наибольших и наименьших. В табл. 2 представлены результаты оценки относительной погрешности неоднородности по результатам анализа для навесок массой 50 г.

Таблица 2. Оценка относительной погрешности неоднородности по результатам анализа для навесок массой 50 г

Table 2. Estimation of relative error of inhomogeneity according to the results of 50 g sample weights analysis

Номер СО	Число ре- зультатов анализа $N \times J$	Массовая доля золота α , г/т	Массовые доли золота $\alpha_{\max} - \alpha_{\min}$, г/т	Размах, г/т	Значение по- грешности неод- нородности S_H , г/т	Относительная погрешность неод- нородности P_{H50} , %
1	62	0,85	1,42–0,68	0,74	0,185	43,5
2	62	12,70	13,4–12,0	1,40	0,350	5,5
3	80	0,55	0,71–0,48	0,23	0,058	21,1
4	80	1,64	1,80–1,28	0,52	0,130	15,8
5	80	6,20	6,90–5,30	1,60	0,400	12,9

Полученные оценки относительных погрешностей неоднородности показаны на рис. 2 в виде треугольных маркеров. Результаты не лежат на опорной кривой, а превышают ее в связи с погрешностями, связанными с крупностью материала. С использованием зависимости погрешности неоднородности от крупности частиц d [13]

$$S_H^2 = kd^3$$

и установленного норматива однородности для материала с тонкодисперсным золотом (крупностью до 0,1 мм) рассчитана крупность частиц, до которой необходимо измельчать материал стандартных образцов. Крупность частиц составила 0,050 мм.

Выводы. Экспериментально установлено, что оценка погрешности неоднородности материала стандартных образцов состава золотосодержащих руд при принятой по ГОСТ 8.531-2002 «ГСИ. Стандартные образцы состава монолитных и дисперсных материалов. Способы оценивания однородности» по схеме дисперсионного анализа приводит к получению величин погрешностей неоднородности ниже установленного норматива однородности материала стандартных образцов.

Для правильного расчета погрешности неоднородности при принятой схеме эксперимента необходим пересчет величины погрешности с учетом погрешностей неоднородности навесок массой 50 г или расчет погрешности неоднородности по всему массиву полученных результатов анализа ($N \times J$).

Гранулометрический состав материала стандартных образцов состава золотосодержащих руд, при котором 100 % массы имеет размер зерен менее 0,050 мм, дает возможность получить величины погрешностей неоднородности, максимально приближенные к установленным нормативам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Медведевских С. В., Осинцева Е. В. Стандартные образцы – материальная основа обеспечения единства измерений // Экономика качества. 2016. № 2 (14). URL: <http://eq-journal.ru/pdf/14> (дата обращения 15.03.2019).

2. Анчутина Е. А. Современные разработки в области стандартных образцов: обзор международных публикаций // Стандартные образцы. 2014. № 1. С. 27–41.
3. Markus Stoeppler, Wayne R. Wolf, Peter J. Jenks. Reference materials for chemical analysis: certification, availability and proper usage. Weinheim, John Wiley & Sons, 2008. 322 p.
4. Вольфрам Бремзер, Вульф Менцель. Валидация методов определения качественных свойств // Стандартные образцы в измерениях и технологиях: сб. тр. III Междунар. науч. конф. Часть Ru. Екатеринбург: УНИИМ, 2018. С. 13.
5. Авербух А. И., Кочергина О. В. Применение стандартных образцов для оценки точности (правильности и прецизионности) методик выполнения измерений // Стандартные образцы. 2008. № 3. С. 33–37.
6. Шпаков С. В. Использование стандартных образцов для проверки квалификации лабораторий // Стандартные образцы. 2014. № 2. С. 56–60.
7. Ramsey M. H. et al. Quality in measurement and testing. Ed. by Horst Czichos et al. Berlin: Springer, 2011. P. 97–115.
8. Степановских В. В., Кузьмин И. М. Применение стандартных образцов в аналитических лабораториях металлургических предприятий // Аналитика и контроль. 1998. № 3–4. С. 90–92.
9. Свистунов И. Н., Горбунов Р. А., Левин А. Е. Практическое использование стандартных образцов при поверке средств измерений // Стандартные образцы в измерениях и технологиях: сб. тр. III Междунар. науч. конф. Часть Ru. Екатеринбург: УНИИМ, 2018. С. 161–162.
10. Jean Pauwels, Andree Lamberty, Heinz Schimmel. Homogeneity testing of reference materials // Accred Qual Assur. 1998. No. 3. P. 51–55.
11. Thomas P. J. et al. Homogeneity and stability of reference materials // Accred Qual Assur. 2001. No. 6. P. 20–25.
12. Brand N. W. Gold homogeneity in certified reference materials; a comparison of five manufacturers // Explore. 2015. No. 169. P. 1–24.
13. Козин В. З., Комлев А. С., Волков П. С., Ступакова Е. В. Определение случайных погрешностей подготовки и анализа проб руды и продуктов обогащения // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 5. С. 82–91.

Поступила в редакцию 27 марта 2019 года

Сведения об авторах:

Ступакова Екатерина Владимировна – начальник отдела метрологического обеспечения количественного химического анализа Иркутского научно-исследовательского института благородных и редких металлов и алмазов «Иргиредмет». E-mail: stupakova@irgiredmet.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-6-81-89

Measuring errors in the compositional reference materials of gold ore

Ekaterina V. Stupakova¹

¹ Irkutsk research institute of precious and rare metals and diamonds, Irkutsk, Russia.

Abstract

Introduction. Compositional reference materials (RM) of ore and ore products have to comply with the homogeneity of the material. The technology of preparing RM has to ensure the homogeneity of its composition. The homogeneity of the homogenized material is experimentally tested and assessed to be sure that the RM characteristic being certified has similar value in any part of the material or its variation and does not exceed a preset level.

Research methodology. RM inhomogeneity errors are assessed with a method based on multiple measuring of the certified component value in several samples randomly collected from the entire RM with further processing of the measured values. For random evaluation of homogeneity, N number of samples with M_0 mass each is collected from the entire RM. Samples are collected after RM is prepared and homogenized. Mass M_0 of each sample has to be sufficient to fulfill the specified number of measurements J in accordance with the applied method.

Research results. It has been experimentally proven that the evaluation of inhomogeneity error in compositional reference materials of gold ore in accordance with the layout of the analysis of variance accepted in GOST 8.531-2002 "State system for ensuring the uniformity of measurements. Reference materials of composition of solid and disperse materials. Ways of homogeneity assessment" results in obtaining inhomogeneity error values which are lower than those of the established homogeneity standard for reference materials. In order to correctly evaluate the inhomogeneity error in accordance with the accepted experimental layout it is necessary to estimate the value of error again taking into account the inhomogeneity errors in 50 g sample weights or estimate the inhomogeneity error in the entire array of the obtained analysis data ($N \times J$). Granulometric composition of the certified reference materials of gold ore, the utter mass having the size of grains less than 0.050 mm, allows to obtain the values of inhomogeneity errors which are as close as possible to the established standards.

Key words: reference material; homogeneity of reference material; inhomogeneity error.

REFERENCES

1. Medvedevskikh S. V., Osintseva E. V. Reference materials – the material basis of ensuring the uniformity of measurements. *Ekonomika kachestva = Economics of Quality*. 2016; 2 (14). Available from: <http://eq-journal.ru/pdf/14> [Accessed 15th March 2019]. (In Russ.)
2. Anchutina E. A. State-of-art developments in the field of reference materials: a review international publication. *Standartnye obraztsy = Reference Materials*. 2014; 1: 27–41. (In Russ.)
3. Markus Stoeppler, Wayne R. Wolf, Peter J. Jenks. *Reference materials for chemical analysis: certification, availability and proper usage*. Weinheim, John Wiley & Sons, 2008. 322 p.
4. Wolfram Bremser, Wulf Menzel. Validation of methods for the determination of qualitative properties. *Reference Materials in Measurements and Technologies: Proceedings of the 3rd International Scientific Conference. Part Ru*. Ekaterinburg: UNIIM Publishing; 2018. p. 13. (In Russ.)
5. Averbukh A. I., Kochergina O. V. Using reference materials to estimate the accuracy (correctness and precision) of measurement procedures. *Standartnye obraztsy = Reference Materials*. 2008; 3: 33–37. (In Russ.)
6. Shpakov S. V. The use of certified reference materials for laboratories proficiency testing. *Standartnye obraztsy = Reference Materials*. 2014; 2: 56–60. (In Russ.)
7. Ramsey M. H. et al. *Quality in measurement and testing*. Horst Czichos et al. (ed.) Berlin: Springer; 2011. p. 97–115.
8. Stepanovskikh V. V., Kuzmin I. M. Reference materials application in analytical laboratories of steelworks. *Analitika i kontrol = Analytics and Control*. 1998; 3–4: 90–92. (In Russ.)
9. Svistunov I. N., Gorbunov R. A., Levin A. E. Practical use of reference materials at periodic calibration. *Reference Materials in Measurements and Technologies: Proceedings of the 3rd International Scientific Conference. Part Ru*. Ekaterinburg: UNIIM Publishing; 2018. p. 161–162. (In Russ.)
10. Jean Pauwels, Andree Lamberty, Heinz Schimmel. Homogeneity testing of reference materials. *Accred Qual Assur*. 1998; 3: 51–55.
11. Thomas P. J. et al. Homogeneity and stability of reference materials. *Accred Qual Assur*. 2001; 6: 20–25.
12. Brand N. W. Gold homogeneity in certified reference materials; a comparison of five manufacturers. *Explore*. 2015; 169: 1–24.
13. Kozin V. Z., Komlev A. S., Volkov P. S., Stupakova E. V. Defining random errors of ore and concentrates samples preparation and analysis. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2018; 5: 82–91. (In Russ.)

Received 27 March 2019

Information about authors:

Ekaterina V. Stupakova – Head of the Department of Metrological Provision of Quantitative Chemical Analysis, Irkutsk Research Institute of Precious and Rare Metals and Diamonds (IRGIREDMET). E-mail: stupakova@irgiredmet.ru

Для цитирования: Ступакова Е. В. Определение погрешностей стандартных образцов состава золотосодержащих руд // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 6. С. 81–89. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-6-81-89

For citation: Stupakova E. V. Measuring errors in the compositional reference materials of gold ore. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 6: 81–89 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-6-81-89