

ЭФФЕКТЫ ОПРОБОВАНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С АСИММЕТРИЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ МАССОВЫХ ДОЛЕЙ КОМПОНЕНТОВ В ТОЧЕЧНЫХ ПРОБАХ

В. З. Козин¹, А. С. Комлев¹

¹ Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация: Многочисленные свидетельства занижения массовой доли при опробовании по требованиям стандартов для золотых, алмазных, асбестовых, вольфрамовых и других руд, а также стабильные положительные невязки товарных балансов нуждаются в объяснении. Возникновение таких занижений связано с правосторонней асимметрией распределений массовой доли в точечных пробах, отбираемых от бедных продуктов, и левосторонней асимметрией – от богатых продуктов. Показано, что при относительно малом числе точечных проб появляется устойчивое занижение массовой доли при опробовании бедных продуктов и завышении при опробовании богатых. Такое смещение результатов опробования названо вероятной систематической погрешностью. Вероятная систематическая погрешность возникает при отборе проб как от неоднородного, так и от однородного (перемешанного) опробуемого массива. Установлено, что относительная вероятная систематическая погрешность при опробовании на медно-цинковых обогатительных фабриках составляет до минус 8% для руды и хвостов и плюс 3% для концентратов. Пробирный анализ на навесках в 5 г занижает массовую долю золота по сравнению с анализом навесок массой 50 г на 7,35–44,34% при отдельном компенсирующем завышении на 89,46%. Снизить вероятную систематическую погрешность на обогатительных фабриках возможно только переходом к высокочастотному отбору проб, а при сокращении проб и отборе навесок для анализа – переходом к наибольшим по массе сокращенным пробам и навескам.

Ключевые слова: отбор проб, подготовка проб, асимметрия распределений, число точечных проб, вероятная систематическая погрешность, масса проб, положительные невязки товарного баланса, занижение массовой доли, завышение массовой доли, ураганные пробы.

Для цитирования: Козин В. З., Комлев А. С. Эффекты опробования, связанные с асимметрией распределений массовых долей компонентов в точечных пробах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – №11-1. – С.107–118. DOI:10.25018/0236_1493_2022_111_0_107.

Sampling effects related to the asymmetry of distributions of mass fractions of components in point samples

V. Z. Kozin¹, A. S. Komlev¹

¹ Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

Abstract: Numerous evidences of underestimation of the mass fraction during testing according to the requirements of standards for gold, diamond, asbestos, tungsten and other ores, as well as stable positive discrepancies in commodity balances need to be explained. The occurrence of such underestimations is associated with the right-sided asymmetry of the mass fraction distributions

in point samples taken from poor products, and the left-sided asymmetry from rich products. It is shown that with a relatively small number of point samples, there is a steady underestimation of the mass fraction when testing poor products and an overestimation when testing rich ones. Such a shift in the results of testing is called a probable systematic error. A probable systematic error occurs both when sampling from both heterogeneous and homogeneous (mixed) tested array. It was found that the relative probable systematic error during testing at copper-zinc processing plants is up to minus 8% for ore and tailings and plus 3% for concentrates. Assay analysis on hangings of 5 g underestimates the mass fraction of gold in comparison with the analysis of hangings weighing 50 g by 7,35–44,34% with a separate compensating overestimation by 89,46%. It is possible to reduce the probable systematic error at processing plants only by switching to high-frequency sampling, and when reducing samples and selecting samples for analysis, by switching to the largest reduced samples and samples by weight.

Key words: sampling, sample preparation, asymmetry of distributions, number of point samples, probable systematic error, sample mass, positive product balance discrepancies, underestimation of mass fraction, overestimation of mass fraction, hurricane samples.

For citation: Kozin V. Z., Komlev A. S. Sampling effects related to the asymmetry of distributions of mass fractions of components in point samples. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(11-1):107–118. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_111_0_107.

Введение

В практике опробования продуктов обогащения встречаются необъяснимые результаты и ситуации.

Так, в 1959 г. исследователь Шоршер в одной из своих публикаций сообщает следующее [1]: «На Каджаранской фабрике наблюдается факт систематических излишков молибдена при составлении ежемесячного баланса металлов. Аналогичное явление имеет место и на других молибденовых фабриках». И это не погрешности взвешивания, так как в этом случае «... при составлении баланса должен был бы обнаруживаться избыток и второго металла (меди), чего в действительности никогда не бывает».

При отработке россыпей, содержащих алмазы, наблюдается устойчивая зависимость: количество добытых алмазов постоянно оказывается больше, чем определено опробованием [2]. Так, при разведке россыпи шурфами сечением 2 м² данные намыва количества алмазов оказывались всегда больше в среднем в 1,5 раза (иногда в 2–3 раза), чем рассчитанные по результатам опробо-

вания. В итоге для россыпных алмазов была установлена зависимость поправочного коэффициента K_p для данных детальной и опережающей эксплуатационной разведки (рис. 1). Таким образом, экспериментально установлено наличие специфической погрешности опробования, а также выполнена ее количественная оценка. Зависимость на рис. 1 ранее опубликована в работе [3]. В той же работе указан коэффициент занижения массовой доли при опробовании шурфами алмазных россыпей Урала, составляющий 1,76.

На многочисленные факты занижения средней массовой доли при опробовании на золото указывает А. А. Куликов [4].

В работе [5] появление специфической погрешности названо эффектом сортировки. Там же приводятся сравнительные данные основного и заверочного (более представительного) опробования, показывающие, что основное опробование дает заниженные результаты. Предлагается исправлять основное опробование введением поправочных коэффициентов K_p , зависящих от средней массовой доли

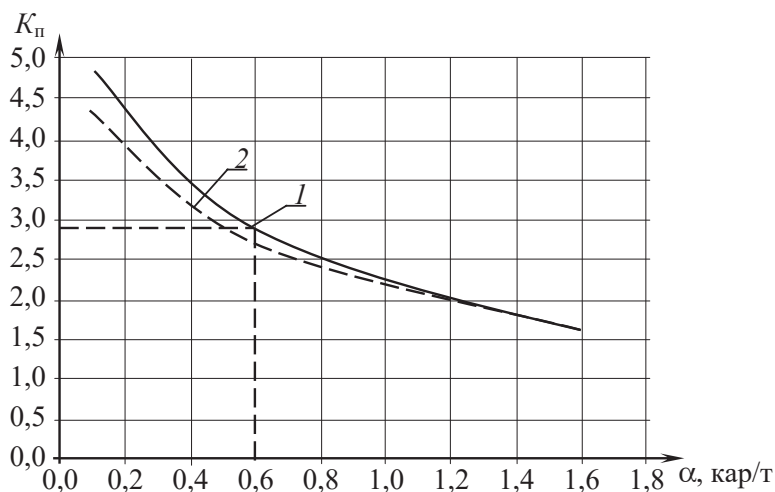


Рис. 1. Зависимости поправочного коэффициента K_p от массовой доли алмазов: 1 – по результатам детальной разведки; 2 – по результатам опережающей эксплуатационной разведки

Fig. 1. Dependences of the K_p correction factor on the mass fraction of diamonds: 1 – based on the results of detailed exploration; 2 – based on the results of advanced operational exploration

определяемого компонента. Фактически предлагается не верить результатам опробования, а увеличивать массовую долю для бедных руд в 2–5 раз, а для богатых руд – уменьшать массовую долю в то же число раз [5].

Характерным показателем необъяснимого эффекта опробования является постоянная положительная невязка товарного баланса обогатительной фабрики в течение длительного периода (табл. 1).

Такая ситуация противоречит техническому смыслу процесса обогащения, так как обогатительная фабрика не может в течение года выпускать больше вольфрама, чем это зафиксировано штатным опробованием в поступившей руде. Не так однозначно выглядит невязка для молибдена, для которого в августе, октябре и ноябре получены существенные отрицательные невязки. При этом ряд положительных невязок с января по июль также имеет неоднозначный смысл.

Необъяснимые ситуации периодически возникают при повторном опробовании партий золотосодержащего концентрата. Так, при опробовании одной партии золотосодержащего концентрата три раза подряд по одной и той же методике с отбором 55 точечных проб были получены три значения массовой доли: 540 г/т при первом опробовании, 1553 г/т при втором опробовании и 1010 г/т при третьем опробовании. Впоследствии при отдельной переработке указанной партии на аффинажном заводе массовая доля золота была определена по металлургическому балансу и составила 894 г/т. Полученный результат является наиболее близким к истине.

Приведенные примеры носят четко выраженный характер необъяснимого результата. В большинстве случаев эффекты опробования, связанные с асимметрией распределений, либо незаметны на фоне больших случайных погрешностей, либо неправильно трак-

Таблица 1

Невязки товарного баланса по вольфраму и молибдену в течение года
Product balance discrepancies for tungsten and molybdenum during the year

Месяц	Невязка товарного баланса, %	
	вольфрам	молибден
Январь	+4,39	+1,59
Февраль	+1,14	+4,52
Март	+1,04	+1,66
Апрель	+2,98	+1,54
Май	+3,40	+4,93
Июнь	+2,82	+0,30
Июль	+1,40	+7,10
Август	+1,60	-7,60
Сентябрь	+2,84	+1,76
Октябрь	+4,54	-2,50
Ноябрь	+1,67	-4,76
Декабрь	+5,49	+0,07

туются. В частности, такие эффекты незаметны при опробовании руд [6], при оперативном управлении процессами обогащения [7], ручном отборе проб [8], а также при тех или иных упрощениях или усложнениях технологий опробования. [9, 10].

Целью работы является объяснение механизма возникновения и определение величины специфической погрешности опробования, не предусмотренной ни одним из отечественных и международных стандартов, обоснование необходимости ее включения в действующие стандарты, а также использования в расчетах технологии опробования и при составлении товарных балансов.

Теория вероятной систематической погрешности

Распределения массовой доли ценного компонента в точечных пробах продуктов обогащения на обогатительных фабриках обычно носят асимметричный характер.

Число точечных проб всегда ограничено и зачастую невелико.

Может возникнуть вопрос: если отобрана одна единственная точечная проба, каков будет результат? Оче-

видно, что в известном диапазоне возможных значений от α_{\max} до α_{\min} может быть получен любой результат. Однако вероятность получения каждого возможного результата разная. Наиболее велика вероятность получить результат, соответствующий моде распределения. Но при асимметричных распределениях мода и среднее значение не совпадают. Следовательно, с некоторой вероятностью возможно отклонение полученного опробованием результата от среднего значения. Так как преобладающий знак такого отклонения постоянен, оно носит название вероятной систематической погрешности. При правосторонней асимметрии мода меньше среднего значения, следовательно, вероятная систематическая погрешность будет отрицательной. Таким образом, бедные продукты обогащения (руда и хвосты) при опробовании по массовой доле занижаются. Такая ситуация характерна для алмазных россыпей, золотых руд, длиноволокнистого асбеста и подобных им по свойствам продуктов.

Аналогично относительно богатые продукты, которыми являются концентраты, при опробовании по массовой доле завышаются.

Вместе с тем, опробуемые массивы в общем случае неоднородны (не перемешаны). При работе с пробами в лаборатории их требуется перемешивать. Следовательно, возможны два варианта появления вероятной систематической погрешности:

1. Вероятная систематическая погрешность возникает при отборе ограниченного числа точечных проб N_T от неоднородного (неперемешанного) массива.

Общая формула вероятной систематической погрешности, которая возникает при отборе конечного числа точечных проб N_T , может быть представлена в следующем виде:

$$\Delta\alpha_{всп} = -\frac{S_\alpha^2}{\bar{\alpha} \cdot N_T},$$

где S_α^2 – экспериментально найденная дисперсия массовой доли; $\bar{\alpha}$ – среднее значение массовой доли; N_T – число точечных проб.

Относительная вероятная систематическая погрешность.

$$\begin{aligned} P_{всп} &= \frac{\Delta\alpha_{всп}}{\bar{\alpha}} \cdot 100 = \frac{S_\alpha^2}{\bar{\alpha}^2 \cdot N_T} \cdot 100 = \\ &= \frac{V_\alpha^2}{N_T} \cdot 100\% = \frac{P_\alpha^2}{4} \cdot 100\%, \end{aligned}$$

где V_α – коэффициент вариации массовой доли в точечных пробах, доли единицы; P_α – относительная случайная погрешность опробования, доли единицы.

Из формулы следует, что заметную величину вероятная систематическая погрешность приобретает при достаточно больших величинах коэффициента вариации и относительной случайной погрешности (рис. 2).

2. Вероятная систематическая погрешность возникает при сокращении проб: при отборе проб от однородного (перемешанного) массива, в процессе подготовки и анализа проб. При выполнении этих операций предусматривается перемешивание и сокращение пробы либо же формирование навески в виде отдельных микропорций [11]. Для объяснения появления вероятной систематической погрешности при выполнении данных операций, при использовании аналитических систем [12], а также при подготовке стандартных образцов [13] следует рассматривать распределения массовой доли в порциях и навесках. Целесообразно использовать распределение Пуассона, позволяющее его построить, только при известном среднем значении числа

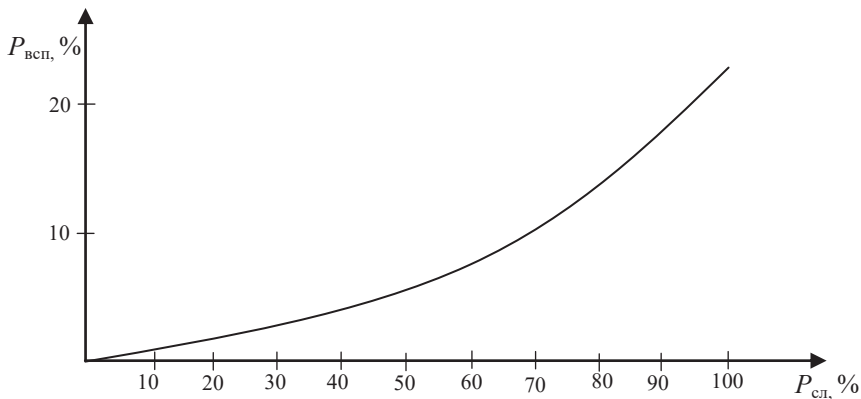


Рис. 2. Функциональная связь величин $P_{всп}$ и $P_{сл}$
 Fig. 2. Functional relationship of the values of P_{vsp} and P_{sl}

зерен определяемого компонента в пробе m :

$$P_m = \frac{\bar{m}^m}{m!} \cdot e^{-\bar{m}},$$

где m – возможное число зерен определяемого компонента в пробе или навеске; P_m – вероятность появления навесок с числом зерен m .

Среднее число зерен возможно найти по формуле:

$$\begin{aligned} \bar{m} &= \frac{q_m}{q_3} = \frac{q \cdot \bar{\alpha}_m}{q_3} = \frac{q \cdot \bar{\alpha}_m}{f \cdot \rho_m \cdot \bar{d}_3^3} = \\ &= \frac{q \cdot \bar{\alpha}}{\beta_m \cdot f \cdot \rho_m \cdot \bar{d}_3^3}, \end{aligned}$$

где q_m – масса минерала в пробе, кг; q_3 – масса зерна минерала, кг; q – масса пробы, кг; $\bar{\alpha}$ – средняя массовая доля минерала в опробуемом массиве, д. е.; α – массовая доля определяемого компонента, д. е.; ρ_m – плотность минерала, кг/м³; f – коэффициент формы; β_m – массовая доля определяемого компонента в минерале, д. е.; \bar{d}_3 – средний размер зерна минерала в пробе, м.

Распределение Пуассона характерно тем, что для него численно равны величины среднего \bar{m} и дисперсии m .

Размерность среднего – «штуки», а размерность дисперсии – «штуки в квадрате». Тогда выражение для вероятной систематической погрешности для навески примет вид

$$\Delta m = -\frac{S_m^2}{1 \cdot \bar{m}} = -\frac{\bar{m}, \text{шт}^2}{\bar{m}, \text{шт}} = -1 \text{ шт.}$$

Из уравнения следует вывод: вероятная систематическая погрешность, выраженная в числах зерен минерала, всегда равна величине «минус 1». Независимо от числа зерен полезного минерала, существует некоторая вероятность отобрать в пробу на одно зерно меньше, чем среднее число зерен. Если в пробе в среднем ожидается одно зерно, вероятнее всего, что его в пробе не окажется.

Относительная вероятная систематическая погрешность:

$$P_{\text{всп}} = -\frac{\Delta m}{\bar{m}} \cdot 100 \% = -\frac{1}{\bar{m}} \cdot 100 \%.$$

Таким образом, если $\bar{m} = 1$, то $P_{\text{всп}} = 100 \%$. Эту связь отражает зависимость на рис. 3.

События, компенсирующие занижение, наступают с вероятностью $P_{m > \bar{m}}$.

Из формулы относительной вероятной систематической погрешности сле-

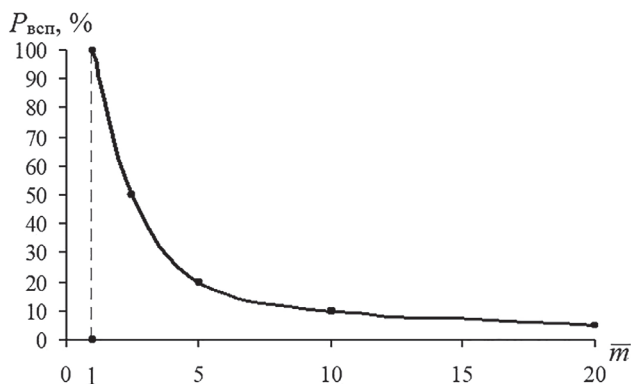


Рис. 3. Зависимость относительной вероятной систематической погрешности от среднего числа зерен определяемого компонента в пробе

Fig. 3. Dependence of the relative probable systematic error on the average number of grains of the component being determined in the sample

дует, что заметное влияние на результаты анализа она окажет в том случае, если в пробе будет небольшое число кусков минерала, содержащего определяемый компонент. Если принять $P_{\text{всп}} = 1\%$, то среднее число кусков минерала должно составлять $m = 100$.

Уменьшить вероятную систематическую погрешность возможно только отбором большого числа кусков в пробу, отбирая пробы большей массы. С той же целью возможно увеличение числа точечных проб.

Определение вероятной систематической погрешности

При отборе и подготовке проб:

Если имеется возможность выполнить отбор проб от одного и того же опробуемого массива способом поперечного пересечения (небольшое число точечных проб) и способом продольного пересечения при условии однородности материала в сечении отбора пробы (большое число точечных проб), то определить величину возможно непосредственно путем расчета. Результаты опробования оказываются различными, и отличаются они именно на величину $\Delta\alpha_{\text{всп}}$:

$$\Delta\alpha_{\text{всп}} = \bar{\alpha}_{\text{поп}} - \bar{\alpha}_{\text{пр}}.$$

Такое опробование было реализовано на одной из медно-цинковых обогатительных фабрик. На одном и том же продукте (хвостах) был выполнен отбор проб как способом поперечного, так и способом продольного пересечения. При отборе проб способом поперечного пересечения (1300 проб) зафиксировано занижение массовой доли меди в хвостах на 0,025 % и цинка на 0,06 %. Это составляет относительное занижение по меди на 8,22 % и по цинку — на 8,28 %.

Аналогичная работа выполнена на хвостах золоторудной фабрики.

При отборе проб каждый час способом поперечного пересечения в течение месяца получено, что средняя массовая доля золота в хвостах равна 0,499 г/т, а при отборе проб способом продольного пересечения массовая доля золота в тех же хвостах равна 0,527 г/т. Занижение составило 0,028 г/т, или 5,3 % относительных.

Оценка вероятной систематической погрешности возможна при сопоставлении результатов опробования одних и тех же продуктов у поставщика и потребителя, если опробование выполняется по разным схемам. При поставке концентрата с обогатительных фабрик в адрес предприятий-переработчиков нередко складывается ситуация, когда на обогатительных фабриках опробование выполняется с отбором значительно меньшего числа точечных проб, чем на предприятиях-переработчиках. В таком случае, приняв за опорное значение результат опробования у потребителя (предприятия-переработчика), возможно получить оценку вероятной систематической погрешности у поставщика (обогатительной фабрики).

Такое сопоставление выполнено на поставках медного концентрата по тринадцати партиям из 30 вагонов. Получено, что на обогатительной фабрике завышается качество концентрата по меди на 0,187% (1,0% относительный), по золоту качество концентрата занижается на 0,34 г/т (1,5 % относительных) и по серебру качество концентрата занижается на 0,35 г/т (1,4% относительных). На той же обогатительной фабрике выполнено сопоставление качества концентрата по меди по сменным пробам на производстве (19,68%) и при отгрузке (19,04%). Завышение на производстве составило 0,64 % (3,4% относительных).

Сравнение качества цинкового концентрата, полученного опробованием

кека вакуум-фильтра (48,05%) и на отгрузке концентрата (46,18%), показало, что при опробовании кека массовая доля цинка в концентрате превышает на 1,87%.

Непосредственная оценка вероятной систематической погрешности выполнена на месторождении золотой руды. Показано, что среди 12120 проб только 1,9% проб имели массовую долю более 200 г/т, но без этих проб средняя массовая доля золота в пробах составила 5,6 г/т, а с указанными пробами — 21,6 г/т. В другой группе из 14240 проб доля проб с массовой долей золота более 200 г/т составила всего 0,87%. Без указанных богатых проб средняя массовая доля составила 4,2 г/т, а с богатыми пробами — 11,1 г/т. Это означает, что при отборе сравнительно небольшого числа проб пробы с большой массовой долей в ограниченную выборку (несколько десятков и даже сотен проб) не попадут, и относительная вероятная систематическая погрешность составит от 62 до 74% относительных. На действующей обогатительной фабрике руда в потоке в значительной мере усреднена, при этом даже в таких условиях зафиксировано занижение массовой доли золота в руде на 3,4% относительных за пять месяцев.

При анализе проб:

Анализ может быть выполнен на навесках разной массы. Если масса навески может быть выбрана, то анализ выполняется на навесках максимально большой массы. Так, для руды карьера «Мурунтау» анализ на золото выполняется в навесках 0,5 кг [14].

Несмотря на такую возможность, с целью снижения затрат на анализ выбираются минимально приемлемые массы навесок. Помимо этого, масса навески предопределяется конструкцией аналитического оборудования и может быть весьма малой. Так, при спектральном анализе сжигается

только небольшая часть материала навески, в результате чего фактически анализируемая навеска имеет весьма малую массу.

Прямое экспериментальное подтверждение наличия вероятной систематической погрешности имеется в работе [15], где выполнены определения массовой доли золота в навесках массой 50 г (пробирный анализ) и массой 5 г (атомно-абсорбционный анализ). Результаты анализов приведены в табл. 2 (ранее данная информация была приведена в работе [15]).

Относительное отклонение при анализе меньших навесок массой 5 г составляет от -7,35 до -44,34% относительных. Наличие двух плюсовых значений отклонений подтверждает вероятный характер систематической погрешности. О том же свидетельствует одно высокое плюсовое значение, составляющее +89,46%. Это подтверждает правило: отрицательная вероятная систематическая погрешность компенсируется более редкими, но существенно большими значениями положительной погрешности.

Обсуждение результатов

Вероятная систематическая погрешность является недостаточно изученной. Ее особенностью является зависимость от вида асимметрии распределения массовой доли в пробах, в том числе и в навесках для анализа, а также от непредсказуемости появления компенсации ее «богатыми» пробами на бедных продуктах и «бедными» пробами на богатых продуктах. Но эта погрешность может составлять величину, значимо влияющую на результаты оценки качества руды, хвостов и концентратов. Асимметрия распределений является причиной появления ураганных проб при опробовании, а также проблем их проверки

Таблица 2

Результаты анализа навесок одного и того же материала различной массы
Results of the analysis of attachments of the same material of different weights

Номер пробы	Средняя массовая доля золота по пяти навескам, г/т		Отклонение	
	навеска 50 г	навеска 5 г	абсолютное Δa , г/т	относительное P, %
1	25,44	19,08	-6,36	-25,00
2	36,08	24,85	-11,23	-31,12
3	24,20	45,85	+21,65	+89,46
4	10,60	5,90	-4,70	-44,34
5	19,40	16,21	-3,19	-16,44
6	25,20	23,18	-2,02	-8,02
7	3,40	3,46	+0,06	+1,76
8	3,40	3,15	-0,25	-7,35

и использования при расчетах технологических показателей и составлении балансов [16].

Методика определения наличия и величины вероятной систематической погрешности совпадает с методикой определения наличия и величины систематической погрешности, но причиной вероятной систематической погрешности является малое число точечных проб. Поэтому для ее экспериментального определения необходимо сопоставлять варианты опробования с разным числом точечных проб, а в случае с сокращением проб — с отбором навесок с анализом проб и навесок разной массы.

Практические результаты непосредственной оценки относительной величины вероятной систематической погрешности на обогатительных фабриках показали, что занижение массовой доли в хвостах может составлять от 5 до 8% на рудах цветных металлов, а завышение массовой доли на концентратах руд цветных металлов может достигать 3% [17].

Вероятная систематическая погрешность при малых значениях относительной случайной погрешности опробования (до 20% относительных) невелика и не превышает одного отно-

сительного процента. Поэтому она становится заметной при обогащении руд с малой массовой долей ценного компонента, в частности, при обогащении молибденовых и вольфрамовых руд, а также практически всегда при обогащении руд, содержащих драгоценные металлы [18]. Вероятная систематическая погрешность на богатых рудах может проявиться при определении массовых долей примесей или засоряющих компонентов [19].

В товарных балансах обогатительных фабрик наличие вероятной систематической погрешности приводит к смещению невязки вплоть до появления постоянной положительной невязки [20].

Уменьшить возможное влияние вероятной систематической погрешности при отборе проб возможно за счет увеличения числа точечных проб, отбираемых за контрольный период, или отбором проб способом продольного пересечения. При подготовке проб, в том числе при отборе навесок для анализа, необходимо использовать сокращенные пробы или навески по возможности большей массы.

Выводы

1. Асимметрия распределений массовой доли в точечных пробах в условиях

анализа объединенных проб, сформированных из небольшого числа точечных проб, приводит к появлению вероятной систематической погрешности. Эта погрешность проявляется в занижении массовых долей бедных продуктов и завышении массовых долей богатых продуктов по результатам опробования. Занижение на рудах и хвостах на обогатительных фабриках может достигать до 8% относительных, а завышение массовой доли в концентратах может достигать до 3% относительных.

2. Вероятный характер изучаемой погрешности заключается в том, что при большом числе точечных проб возникает компенсирующий это зани-

жение (завышение) эффект, связанный с появлением ураганных проб.

3. При сокращении проб и отборе навесок появление вероятной систематической погрешности связано с небольшим числом зерен, содержащих определяемый компонент в сокращенной пробе или в навеске.

Такая ситуация возникает при спектральном и рентгенофлуоресцентном анализе, так как анализируемая масса навески при таких анализах невелика. Переход к большим массам навесок для анализа (до 500 г) позволил выполнять анализ руды с массовой долей золота от 1 до 2 г/т с помощью гамма-активационного метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шоршер И. Н.* О балансе молибдена на обогатительных фабриках // Обогащение руд. 1959. № 2. С. 50.

2. *Чемезов В. В.* Из опыта освоения россыпей // Маркшейдерский вестник. 2008. № 2. С. 34–40.

3. *Чемезов В. В.* Субъективизм в оценке показателей выявления и использования запасов россыпей и его последствия при охране недр // Маркшейдерский вестник. 2005. № 3. С. 43–47.

4. *Куликов А. А.* Опробование золотоносных конгломератов // Изд. Наука, г. Новосибирск. 1981. 136 с.

5. *Батугин С. А., Ткач С. М.* Эффект сортировки и уровень представительности геологических проб при опробовании и поблочной оценке запасов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2007. — № 2. — С. 82–84.

6. *Engströrn K. Esbensen K. H.* Evaluation of sampling systems in iron concentrating and pelletizing processes — Quantification of Total Sampling Error (TSE) vs. process variation // Minerals Engineering, V. 116, 15 January 2018, pp. 203–208.

7. *Lotter N. O. Evans C. L. Engstom K.* Sampling — A key tool in modern process mineralogy // Minerals Engineering, V. 116, 15 January 2018, pp. 196–202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2017.07.013>.


8. *Napier-Munn T. J., Whiten W. J., Faramarzi F.* Bias in manual Sampling of rock particles // Minerals Engineering, V. 153, 1 July 2020, article 106260.

9. *Moore P.* Making if elementary. Ynternational Mining. 2018. № 2. Pp. 10–17.

10. *Gleeson D.* Getting to the core // International Mining, 2019. № 2. pp. 64–68.

11. *Никитенко Е. М., Евтушенко М. Б., Юшина Т. И.* Совершенствование пробирного анализа руд Дегдеканского месторождения // Обогащение руд. — 2019. — № 1. — С. 34–38. DOI: 10.17580/or.2019.01.05.

12. *Rozendal A., Le Rous S. G., du Plessis A., Philander C.* Grade and product quality control by microCT scanning of the world class Namakwa Sands Ti-Zr placer deposit West Coast, South Africa: An orientation study // Minerals Engineering, V 116, 15 January 2018, pp. 152–162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2017.09.001>.

13. *Ступакова Е. В.* Определение погрешностей стандартных образцов состава руд золотосодержащих // *Известия вузов. Горный журнал.* № 6. 2019. С. 136–143. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-6-81–89.
14. *Шеметов П. А., Быков В. Н.* Управление качеством рудного потока в карьере Мурунтау // *Горный вестник Узбекистана.* — 2001. — № 2. — С. 31–35.
15. *Романчук А. И., Никулин А. И., Жарков В. В., Коблов В. В.* Технология и технические средства для извлечения свободного золота из проб золотосодержащих руд // *Горный журнал.* 2003. № 12. С. 79–83.
16. *Козин В. З., Комлев А. С.* Ураганные пробы и их учет // *Обогащение руд.* 2015. № 4. С. 39–43.
17. *Козин В. З., Комлев А. С., Ступакова Е. В.* Определение относительных случайных погрешностей опробования продуктов обогащения // *Обогащение руд.* 2022. № 3. С. 28–34.
18. *Комлев А. С.* Составление и использование товарного баланса обогатительной фабрики // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* — 2021. № 11–1, — С. 276–284. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-111-0-276.
19. *Алексеев В. С., Банщикова Т. С., Алексеева В. В.* Особенности техногенного золота отвальных компонентов Соловьевского золотоносного узла // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* — 2021. № 7. — С. 134–145. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-7-0–134.
20. *Байкелова Г. Ш., Кабаев О. Д., Абайлдаев С. Е.* Исследования вещественного состава лежалых хвостов Актюзской обогатительной фабрики // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* — 2018. № 6. — С. 134–141. DOI: 10.2518/0236-1493-2018-6-0–134–141. 

REFERENCES

1. Shorsher I. N. On the balance of molybdenum at concentrating plants. *Ore enrichment.* 1959. no. 2. p. 50.
2. Chemezov V. V. From the experience of placer development. *Surveying Bulletin.* 2008. no. 2. pp. 34–40.
3. Chemezov V. V. Subjectivism in the assessment of indicators for the identification and use of placer reserves and its consequences in the protection of subsoil. *Surveying Bulletin.* 2005. no. 3. pp. 43–47. 4
4. Kulikov A. A. Testing of gold-bearing conglomerates. Nauka Publishing House, Novosibirsk. 1981. 136 p.
5. Batugin S. A., Tkach S. M. The sorting effect and the level of representativeness of geological samples during sampling and block-by-block evaluation of reserves. *M/IAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2007. no. 2. pp. 82–84.
6. Engströrn K. Esbensen K. H. Evaluation of sampling systems in iron concentrating and pelletizing processes Quantification of Total Sampling Error (TSE) vs. process variation. *Minerals Engineering*, V. 116, 15 January 2018, pp. 203–208.
7. Lotter N. O. Evans C. L. Engstom K. Sampling A key tool in modern process mineralogy. *Minerals Engineering*, V. 116, 15 January 2018, pp. 196–202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2017.07.013>.
8. Napier-Munn T. J., Whiten W. J., Faramarzi F. Bias in manual Sampling of rock particles. *Minerals Engineering*, V. 153, 1 July 2020, article 106260.
9. Moore P. Making if elementary. *Ynternational Mining.* 2018. no. 2. pp. 10–17.
10. Gleeson D. Getting to the core. *International Mining*, 2019. no. 2. pp. 64–68.
11. Nikitenko E. M., Yevtushenko M. B., Yushina T. I. Improvement of assay analysis of ores of the Degdekansky deposit. *Ore enrichment.* 2019. no. 1. pp. 34–38. DOI: 10.17580/or.2019.01.05.

12. Rozendal A., Le Rous S. G., du Plessis A., Philander C. Grade and product quality control by microCT scanning of the world class Namakwa Sands Ti-Zr placer deposit West Coast, South Africa: An orientation study. *Minerals Engineering*, V 116, 15 January 2018, pp. 152–162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2017.09.001>.

13. Stupakova E. V. Determination of errors of standard samples of the composition of gold-bearing ores. *Izvestiya vuzov. Mining Journal*. no. 6. 2019. pp. 136–143. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-6-81-89.

14. Shemetov P. A., Bykov V. N. Quality management of ore flow in the Muruntau quarry. *Mining Bulletin of Uzbekistan*. 2001. no. 2. pp. 31–35.

15. Romanchuk A. I., Nikulin A. I., Zharkov V. V., Koblov V. V. Technology and technical means for extracting free gold from samples of gold-bearing ores /. *Mining Journal*. 2003. no. 12. pp. 79–83.

16. Kozin V. Z., Komlev A. S. Hurricane samples and their accounting. *Ore enrichment*. 2015. no. 4. pp. 39–43.

17. Calculation of relative random errors in the sampling of processing products. *Ore enrichment*. 2022. no. 3. pp. 28–34.

18. Komlev A. S. Making-out and use of commodity balance at processing plant. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(11–1):276–284. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_276.

19. Alekseev V. S., Banshchikova T. S., Alekseeva E. V. Features of gold in mining waste in the territory of the Solovievsky ore cluster. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(7):134–145. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_7_0_135.

20. Baykelova G. Sh., Kabaev O. D., Abayldaev S. E. Studies of the material composition of stale tails of the Aktobe processing plant. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018. no. 6. pp. 134–141. DOI: 10.2518/0236-1493-2018-6-0-134-141.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Козин Владимир Зиновьевич*¹ — заведующий кафедрой обогащения полезных ископаемых, декан горно-механического факультета, докт. техн. наук, профессор, ORCID ID: 0000-0001-7184-919X, e-mail: gmf.dek@ursmu.ru;

*Комлев Алексей Сергеевич*¹ — канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ORCID ID: 0000-0002-2484-2726, e-mail: tails2002@inbox.ru;

¹ ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», кафедра обогащения полезных ископаемых, Россия, 620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.

Для контактов: *Комлев Алексей Сергеевич*, e-mail: tails2002@inbox.ru.

Конфликт интересов между авторами отсутствует.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Kozin V.Z.*¹, Head of the Department of Mineral Processing, Dean of the Faculty of Mining and Mechanics, Dr. Sci. (Eng.), Professor, ORCID ID: 0000-0001-7184-919X, e-mail: gmf.dek@ursmu.ru;

*Komlev A.S.*¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, ORCID ID: 0000-0002-2484-2726, e-mail: tails2002@inbox.ru;

¹ Ural State Mining University, Russia, 620144, Yekaterinburg, Kuibyshev str., 30.

For contact: *Komlev A.S.*, e-mail: tails2002@inbox.ru.

Получена редакцией 16.06.2022; получена после рецензии 14.09.2022; принята к печати 10.10.2022.

Received by the editors 16.06.2022; received after the review 14.09.2022; accepted for printing 10.10.2022.

