УДК 622.7.09(075.8) DOI: 10.21440/0536-1028-2025-3-76-85

Эффективность перемешивания сыпучих сред в процессе пробоподготовки к химическому анализу

Гальянов А. В.[1]
[1] Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: sgimd@mail.ru

Реферат

Введение. *На обсуждение выносится один из ключевых вопросов теории и практики опробования минерального сырья – оценка результата выборочного метода определения качественных характеристик горных пород и продуктов их обогащения с учетом степени представительности методов отбора, пробоподготовки и определения вещественного состава горных пород и их физико-технических характеристик. Ретроспективный взгляд на развитие теоретических основ системы опробования позволяет расширить область концептуальных подходов в вопросе оценки представительности информационных сведений, участвующих в определении качества минерального сырья. Теория опробования опирается на представление о том, что в процессе интенсивного перемешивания и многостадийного дробления сыпучего материала достигается абсолютная однородность среды, из которой формируется навеска для химанализа. Вопросы о том, что может служить объективным критерием оценки однородности сыпучих сред и какова представительность получаемых качественных характеристик никогда не ставились. Авторские исследования в определенной степени заполняют эту теоретическую нишу представлением результатов целенаправленных масштабных исследований в условиях аналитических лабораторий горных предприятий.*

Методические аспекты вопроса. *Представительность методов опробования – более широкое понятие, чем погрешность, точность и достоверность, это обобщающая характеристика степени доверия к результатам оценки качества минерального сырья в отобранных для анализа пробах. Главным параметром представительности является область (объем) допустимого распространения результата частной оценки. При этом исходная проба, предназначенная для лабораторного анализа, рассматривается как масштабированный объект исследования и, тем самым, наделяется статусом представительности, являясь по сути единичным элементом выборки из генеральной совокупности.*

Область практического приложения *– исследования гомогенности бинарных смесей, представленных сыпучим материалом, для реальных оценок достоверности методов получения качественных характеристик минерального сырья.*

Ключевые слова: *представительность; проба; погрешность; отбор проб; пробоподготовка; поле минерализации; рудный поток; эффективность.*

Введение. Расплывчатость определения влечет за собой неоднозначность оценки результатов исследований. Обработка и анализ системы последовательных, независимых, однородных испытаний (измерений) используют такие понятия как ошибка, погрешность, точность, достоверность, которые, хотя и связаны между собой определенными математическими соотношениями, все же не являются синонимами. Так, ошибка есть неверный результат ($\Delta = x - x_o$), она индивидуальна и однозначна для конкретного измерения x при сравнении его с эталоном x_o. Систему n измерений характеризует погрешность m, численно равная стандарту σ

отклонений Δ. Стандарт σ является, таким образом, статистической характеристикой множества измерений. Для сравнения разных серий испытаний используют отношение σ/x, именуемое точностью, или коэффициентом вариации. Наконец, достоверность результатов испытаний оценивается вероятностью выполнения задаваемого требования (условия, критерия и т. п.) и, тем самым, характеризует представительность серии проведенных испытаний (измерений). Введения понятия «представительность» какого-либо результата измерений имеет своей целью оперировать количественным показателем масштабности информационного сведения, что находится в полной аналогии с весовой функцией при определении средневзвешенных значений качественно однородных, независимых и несовместных величин (событий). Представительность единичного информационного сведения (результата измерений) находится в обратной зависимости от области экстраполяции его значения. Этот параметр является односторонней оценкой и напрямую не связан с характеристикой однородности распределения показателя в пробе и потому может служить лишь в качестве дополнительной оценки. Однородность материала пробы все же оценивается вариацией контролируемого показателя в объеме этой пробы и уровнем допустимого значения по критерию технической погрешности метода определения показателя.

Сущность вопроса. Понятие «представительность» какого-либо результата испытаний (информационных сведений) в технических областях знаний заимствована у теории оценки вероятностно-статистических гипотез, в том ее разделе, где оценивается объем выборки из системы генеральной совокупности некоторых сведений. Теория вероятностей обеспечила эту задачу достаточно развитой аналитической базой для системы случайных событий, что определило широкую область ее практического приложения. Освоение месторождений минерального сырья, от геологоразведочных работ до сертификации товарной продукции горного предприятия, – один из примеров, который обозначил круг задач, связанных с исследованием полей минерализации и технологических потоков рудного материала в процессе обогащения. Вопрос о представительности результатов опробования минерального сырья освещен в работах В. З. Козина [1–3], С. А. Батугина [4], ряда зарубежных авторов [5–8], внесших значительный вклад в его рассмотрение.

При всем различии объектов исследования источником информационных сведений являются отбор проб горных пород и производство химического анализа (химанализ – прямой метод оценки вещественного состава горных пород, геофизический – косвенный). Концептуально теория опробования исходит из представления о том, что в процессе интенсивного перемешивания и многостадийного дробления отобранного материала для исследования достигается абсолютная однородность среды. Однако многочисленные эксперименты [9–11] не подтверждают такую исходную предпосылку. Главный научный результат этих исследований сводится к следующему [11]:

– перемешивание дробленого материла, неоднородного по физическим свойствам (крупность, плотность, влажность и т. п.) и химическому составу, приводит к формированию во внутренней структуре смеси кластерных концентраций показателя с пликативными формами, которые и определяют уровень структурной неоднородности в объеме смешиваемого материала;

– наличие устойчивых кластерных концентраций распределения качественных признаков внутри смешиваемого материала свидетельствует о проявлении «эффекта пластичности и вязкости» этих свойств в смеси; в результате идеальная гомогенность смеси не может быть достигнута даже при совершении неограниченной механической работы по перемешиванию;

– критерии оценки однородности смеси являются относительными и должны применяться в контексте с объемом представительности этих критериев и вероятностной оценкой значимости погрешности их определения.

Такие выводы впервые сделаны в 1988 г. [9] при оценке эффективности смешивания периклазовых порошков на установке ДВХ-1000 на Богдановическом огнеупорном заводе и многократно подтверждены организацией и проведением целенаправленных исследований на горных предприятиях [11]. При этом эффект наблюдается в сыпучих средах независимо от крупности смешиваемых материалов, физика этого явления пока не раскрыта, но прототипом может служить смешивание густых масел и красок.

Методические аспекты вопроса. Три объекта оценки качества минерального сырья в процессе отработки месторождения это недра, дробленый материал на складах и поверхности транспортных сосудов (автосамосвалы, думпкары), конвейерные тракты и пульпопроводы.

Оценка достоверности данных разведки достаточно глубоко изучена, главный вывод состоит в том, что плотность разведочной сети является определяющим фактором оценки достоверности метода подсчета запасов и изученности свойств полезного ископаемого. Поскольку сеть разведочных выработок по отношению к полю минерализации является случайно расположенной, геометрический образ поля минерализации, равно как и параметры метода подсчета запасов, характеризуются относительностью и определенной этропией. Сгущение сети не просто увеличивает статистический объем информации, с его помощью достигается уточнение геометрии поля минерализации, его особенностей, повышается достоверность геологических оценок. При этом сохраняется проблема оценки представительности данных опробования бурового материала скважин. Главный параметр представительности – область (объем) допустимого распространения результата частной оценки. Естественно, что предметом теории опробования является не просто точечная статистическая оценка, а характеристика поля минерализации.

Представительность информационного сведения по единичной скважине определяется объемом горного массива, на который распространяется это сведение. Естественно принять за оценку представительности отношение объема ствола скважины к объему призмы этого горного массива.

Для примера оценим представительность информационных сведений буровзрывных скважин при подготовке блока горных пород к взрыву. Примем квадратную сетку скважин, сторона квадрата a = 6 м, высота уступа h = 10 м, плотность руды ρ =3,7 т/м^3, диаметр скважины d = 0,25 м, исходная проба массой 30 кг формируется пробоотборником в процессе шарошечного бурения на всю глубину скважины. Расчеты дают следующие оценки:

– площадь блока S = 36 м^2, объем блока V = 360 м^3, масса блока Q = 1332 т;

– площадь поперечного сечения скважины s = 0,049 м^2, объем v = 0,49 м^3, масса q = 1,832 т;

– площадная, объемная и массовая представительность скважины по отношению к блоку $K_п = 13{,}6 \cdot 10^{-4}$;

Представительность исходной (первичной) пробы определяется отношением ее массы к массе области экстраполяции:

– к массе ствола скважины $K_п = 164 \cdot 10^{-4}$;

– к массе блока $K_п = 22{,}5 \cdot 10^{-6}$.

Представительность навески для производства химического анализа, в полной аналогии с предыдущим, определяется отношением ее массы к массе области экстраполяции:

– к массе ствола скважины $K_{п} = 5{,}4 \cdot 10^{-6}$;

– к массе блока $K_{п} = 7{,}5 \cdot 10^{-9}$.

Таким образом, чем на больший объем (массу) объекта распространяется результат лабораторного определения качественных характеристик горных пород, тем меньше его представительность.

Отбор проб есть выборка. Формирование «представительной» пробы опирается на принцип равномерности распределения частных (первичных в технологическом исполнении) проб на объекте исследования: рудное поле, рудные потоки на обогатительной фабрике, поверхность складов, транспортных средств (автосамосвалы, думпкары и т. п.). Необходимым условием формирования пробы из сыпучего материала является соответствие ее грансостава объекту исследования. При крупности материала –100 мм ручной способ точечного отбора не исключает возможности возникновения систематической ошибки в определении показателей вещественного состава горных пород. Здесь следует учитывать два обстоятельства: грансостав дробленых горных пород имеет логнормальное распределение, и потому ручной способ отбора не обеспечивает правильного соотношения крупнокускового материала в объеме совка; существует корреляционная зависимость концентрации минеральных соединений в кусках различной крупности – это факторы, определяющие погрешность, а, возможно, и систематическую ошибку пробоотбора. Поскольку механические пробоотборники на обогатительных фабриках устанавливаются на конвейерных трактах мелкого дробления, их периодические отсечки материала рудного потока вполне представительны для оценки работы дробильных установок. Однако при дальнейшем доведении крупности материала до –10 мм влияние этих факторов практически не проявляется. Последующие операции дробления, вплоть до аналитической крупности навески (0,074–0,044 мм) при своем сокращении объема (массы) не нарушают требования однородности (изотропности) в разделенных частях по грансоставу и таким образом являются вполне репрезентативными (представительными) по этому параметру. Следовательно, операция сокращения дробленого материала в процессе пробоподготовки не вносит систематической ошибки в результаты химанализа – уменьшение массы материала лишь уменьшает объемную (массовую) представительность конечного результата по отношению к исходному материалу.

Иначе обстоит дело, когда исследуется вещественный состав горных пород [12–15]. Здесь ключевая проблема заключается в формировании однородности материала по химическим признакам – формировании гомогенной среды. Бытует устойчивое мнение о том, что в процессе подготовки пробы к непосредственному определению содержания полезного компонента достигается абсолютная гомогенность исследуемого материала. Этот вопрос всесторонне исследовался под рубрикой «усреднение руды» в 1970–2000 гг. как проблема рудоподготовки в процессе добычных работ на горном предприятии. Усреднение руды по своей целевой направленности (сущности) есть синоним гомогенности. Многочисленные теоретические исследования, промышленные и лабораторные эксперименты, анализ производственной деятельности горных предприятий сформировали теоретическую базу технологического процесса рудоподготовки горных работ с оценкой его эффективности. Естественно, что процесс перемешивания сыпучего

материала является основной технологической операцией в формировании гомогенной по вещественному составу среды. В этом контексте пробоподготовка служит прототипом и «модельным образцом» для изучения особенностей перераспределения масс литологических составляющих в дробленых горных породах при их интенсивном перемешивании. В табл. 1 приведен один из фрагментов исследования эффективности работы смесителя ДВХ-1000 при подготовке кондиционных

Таблица 1. Эффективность операции перемешивания мелкого сыпучего материала
Table 1. The efficiency of fine bulk material blending

Показатель	Остаток, %, на сетке						
	1,000–0,500 мм	0,500–0,400 мм	0,400–0,250 мм	0,250–0,063 мм	0,063–0,040 мм	–0,040 мм	Среднее значение
Исходные пробы							
Проба 1	3,0	8,0	40,0	46,0	2,5	0,5	0,260
Проба 2	0,5	15,0	37,0	43,0	2,5	2,0	0,260
Проба 3	–	–	33,3	52,5	5,3	8,9	0,196
Проба 4	–	0,5	70,0	27,0	2,0	0,5	0,271
Проба 5	2,0	16,7	34,0	38,3	4,0	5,0	0,262
Проба 6	1,5	37,0	56,4	4,9	0,1	0,1	0,365
Среднее по классу, %	1,2	12,9	44,8	35,6	2,7	2,8	0,269
Стандарт отклонений σ, %	0,85	11,38	13,67	14,06	1,62	3,18	0,050
Коэффициент вариации $V_{чп}$, %	70,8	88,2	30,5	39,5	60,0	113,6	18,6
После перемешивания (для сертификата)							
Проба 1а	0,5	14,5	40,0	37,0	5,0	3,0	0,260
Проба 2а	1,5	16,0	35,5	41,0	4,0	2,0	0,264
Проба 3а	1,5	18,9	37,7	33,5	5,8	2,6	0,273
Проба 4а	0,6	16,2	41,0	35,0	2,5	4,7	0,263
Проба 5а	1,0	10,5	45,4	36,4	3,7	3,0	0,256
Проба 6а	1,2	19,0	38,0	36,0	2,2	3,6	0,271
Среднее по классу, %	1,1	15,9	39,6	36,5	3,8	3,1	0,265
Стандарт отклонений σ, %	0,39	2,88	3,13	2,31	1,27	0,81	0,006
Коэффициент вариации $V_{гп}$, %	35,4	18,1	7,9	6,3	33,4	26,1	2,3
Эффективность работы η, доли ед.	0,50	0,79	0,74	0,84	0,44	0,77	0,88

порошков электротехнического периклаза. Исходным материалом для смесителя являются «черновые» порошки различных партий, которые на заключительном технологическом цикле проходят процесс смешивания для достижения однородного грансостава согласно техническим требованиям к товарному продукту. Эффективность смесителя очевидна и оценивается уровнем $\eta = 0{,}88$ доли ед. усреднения.

Коэффициент вариации есть синоним неоднородности (анизотропности) среды и для всех классов крупности он различный. Для доминирующих (76–80 %) классов крупности 0,400–0,063 мм вариация меньше как в черновых порошках ($V_{чп}$ = 30–40 %), так и в товарных ($V_{гп}$ = 6–8 %), средний размер частиц порошков после смесителя колеблется в пределах 0,017 мм при стандартном колебании 0,006 мм. Активное перемешивание – достаточно эффективный процесс для достижения устойчивого распределения частиц по классам крупности, возможное расхождение в значении среднего размера частицы составляет в относительных единицах 2,0–2,5 %.

В этой же серии исследований рассматривался вопрос обоснования оптимального временного режима работы смесителя и его загрузки (табл. 2) для достижения гомогенности порошков по содержанию CaO (второй главный показатель качества порошков).

Таблица 2. Обоснование оптимального режима работы смесителя ДВХ-1000
Table 2. Justifying the optimal operating mode for the DWH-1000 blender

Серия эксперимента	Номер партии (условно)	Время смешивания t, мин	Масса материала q, т	Стандарт отклонений CaO, %		Коэффициент усреднения η, доли ед.
				вход	выход	
I	1	27	2,00	0,20	0,07	0,65
	2	22	2,00	0,32	0,07	0,78
II	3	9	1,00	0,13	0,08	0,39
	4	10	1,00	0,21	0,09	0,59
III	5	20	0,75	0,30	0,07	0,74
	6	30	0,75	0,49	0,11	0,77
	7	40	0,75	0,30	0,06	0,80

Основной научный результат проведенных исследований может быть сформулирован следующим образом: при активном перемешивании сыпучих сред существует «предел насыщения» однородности (изотропности и гомогенности) смеси, уровень которой определяется грансоставом, содержанием контролируемого химического элемента или его соединений, плотностью пород и минеральных форм, влажностью, конструктивными особенностями смесительного устройства, электростатическими силами.

Для подтверждения наличия «эффекта насыщения» при смешивании сыпучих сред для различных типов руд в 1990-х гг. проведены исследования на ряде крупных горных предприятий, результаты которых опубликованы в работах [10, 11]. Прямым подтверждением этого эффекта стало сравнение результатов химанализа в основной пробе с контрольной (дубликатом). При этом установлено, что расхождение между ними не является оценкой погрешности химического метода определения содержания того или иного компонента. Коэффициент детерминации r^2 между ними колеблется в широких пределах (от практически незначимой связи до вполне устойчивой). Погрешность химанализа оценивается точностью определения массы участвующих реагентов и продуктов химической реакции. Погрешность же метода оценки своим синонимом имеет воспроизводимость измерения. Химанализ лишен этого свойства – его оценки относятся к разным «щепоткам» измельченного материала. Следовательно, аналитическая проба представляет

только тот объем материала, который участвует в химической реакции. Сравнение основной и контрольной проб, таким образом, показывает степень однородности этого материала. Поэтому обоснованию допустимого расхождения между параллельными результатами химанализа должно предшествовать исследование уровня «эффекта насыщения» однородности для конкретных условий в широком понимании этого термина.

Поскольку аналитическая проба доводится до крупности материала 0,074–0,044 мм и многократно перемешивается, она полностью утрачивает привязку к грансоставу исходной пробы при ее формировании. В силу этого введение понятия «покусковая дисперсия» представляет собой искусственную конструкцию. Здесь следует определить само понятие «кусок», его размеры, технологическое предназначение в системе пробоподготовки и оценке качественных характеристик сырья. Так, при разрушении массива горных пород взрывом, кондиционным считается кусок (глыба) размером ≤1000 мм при среднем значении в развале 300–400 мм. Размер глыб более 1000 мм считается «негабаритом», и их выход оценивает качество взрыва.

Кондиционные параметры куска при буровзрывных работах обосновываются емкостью ковша экскаватора, силой удара глыбы при разгрузке массы в кузов транспортного средства, техническими параметрами дробилок первой стадии крупного дробления. Многостадийное дробление на фабрике доводит крупность рудной массы до –25 мм, а измельчение – до состояния –0,074 мм. К какой стадии пробоподготовки следует отнести покусковую оценку? Формальное принятие за основу теоретических построений положения о том, что совокупность информационных сведений есть просто набор оценок случайного характера, не позволяет вскрыть физическую сущность процесса формирования определенной степени однородности сыпучих сред. Установленный эффект насыщения или предел однородности при перемешивании сыпучих материалов (сред) есть следствие пластичного (пликативного) характера перераспределения масс смеси, представленных разными параметрами и свойствами, к числу которых следует отнести гранулометрический состав смешиваемых сред, плотность материалов, влажность, действие электростатических сил, соотношение разнокачественных составляющих смеси. Под воздействием этих фактов однородность, как свойство материальных объектов, приобретает характер динамичного пространственного показателя, а не статичной, замкнутой оценки. Однородность среды определяет уровень представительности пробоотбора и пробоподготовки. Химанализ лишь регистрирует результат подготовительных операций.

Область практического приложения и основные выводы. Смешивание бинарных сред как физический процесс широко используется в химических отраслях производства, в геологии и горных науках.

Обнаружение пластических, пликативного характера форм перераспределения масс при смешивании сыпучих сред и «предела насыщения» однородности позволяет выдвинуть новую теоретическую концепцию в решении проблем оценки достоверности результатов опробования минерального сырья, состоящую в следующем:

Понятие «представительность» информационного сведения включает в себя всестороннюю статистическую характеристику, вероятностную интерпретацию и область экстраполяции. Естественно, возникает задача оценки достоверности этой информации.

Как установленный факт следует принять положение о том, что при перемешивании сыпучих материалов с разными свойствами существует предел достижения определенной степени однородности смеси («предел насыщения») как по гранулометрическому, так и по вещественному составу. Определяющими факторами здесь являются: крупность зерна (частиц), плотность элементов смеси, влажность, электростатические силы (в продуктах измельчения), соотношение продуктов (материалов) в полимерных смесях.

Результаты химанализа в области его погрешности представляют только тот объем материала, который участвует в реакции. По отношению к массе исходной пробы его представительность находится на уровне $3 \cdot 10^{-4}$ и уменьшается пропорционально объему экстраполяции.

Процесс перемешивания следует рассматривать не как комбинаторную схему (перестановки частиц сыпучей среды), а как физический процесс перераспределения массы, обладающей свойством пластичности, и, в силу этого, создающего пликативный характер трансформации внутренней структуры этой массы. Из этого следует, что достоверность достигается не увеличением массы исходной пробы, а количеством выполненных определений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козин В. З. Опробование минерального сырья: научная монография. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. 316 с.

2. Козин В. З., Комлев А. С., Ступакова Е. В. Определение относительных случайных погрешностей опробования продуктов обогащения // Обогащение руд. 2022. № 3. С. 28–34. DOI: 10.17580/or.2022.03.05

3. Козин В. З., Комлев А. С., Ступакова Е. В. Поправочный коэффициент к формуле погрешности сокращения проб // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2023. № 1. С. 66–77.

4. Батугин С. А., Черный Е. Д. Теоретические основы опробования и оценки запасов месторождений. Новосибирск: Наука, 1998. 344 с.

5. Ramsey M. H., Ellison L. R., Rostron P. Measurement uncertainty arising from sampling: a guide to methods and approaches. 2nd edition. Eurachem, 2019. 109 p.

6. Napier-Munn T. J., Whiten W. J., Faramarzi F. Bias in manual sampling of rock particles // Minerals engineering. 2020. Vol. 153. Art. 106260.

7. Svensmark B. Extensions to the theory of sampling 1. The extended Gy's formula, the segregation paradox and the fundamental sampling uncertainty (FSU) // Analytica chimica acta. 2021. Vol. 1187. Art. 339127. DOI: 10.1016/j.aca.2021.339127

8. Sona M., Dubé J.-S. Sampling particulate matter for analysis – Controlling uncertainty and bias using the theory of sampling // Analytica chemica acta. 2021. Vol. 1185. Art. 338982. DOI: 10.1016/j.aca.2021.338982

9. Гальянов А. В., Лаптев Ю. В., Федорова Л. М. Эффективность работы смесителя ДВХ-1000 при производстве порошков электротехнического периклаза // Огнеупоры. 1988. № 8. С. 41–45.

10. Гальянов А. В., Лаптев Ю. В. Оценка гомогенности при смешивании кускового рудного материала. Екатеринбург: НИСО УрО РАН, 1998. 179 с.

11. Гальянов А. В. Пробоподготовка в системе контроля качества минерального сырья // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2013. № 3. С. 138–145.

12. Петров С. В., Бедерова Л. Л., Бороздин А. П. К методике достоверного определения содержание благородных металлов в пробах с крупными выделениями самородных металлов // Обогащение руд. 2015. № 4. С. 44–48.

13. Ступакова Е. В., Комлев А. С. Экспериментальная проверка формулы случайной погрешности сокращения проб // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2021. № 4. С. 37–44.

14. Захарова А. А., Войтеховский Ю. А. Статистический прогноз параметров обогащения руд по наблюдениям в шлифах // Обогащение руд. 2024. № 2. С. 27–31.

15. Изучение вещественного состава и обогатимости железных руд / В. М. Григорьев [и др.]. М.: Недра, 1976. 136 с.

Поступила в редакцию 29 мая 2024 года

Сведения об авторе:

Гальянов Алексей Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: sgimd@mail.ru; https://orcid.org/0009-0000-1199-909X

DOI: 10.21440/0536-1028-2025-3-76-85

The effectiveness of bulk media blending in the process of sample preparation for chemical analysis

Aleksei V. Galianov[1]
[1] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. *The article discusses one of the key issues in the theory and practice of mineral raw material sampling, namely evaluating the result of the sampling method for concentrate quality determination, taking into account the degree of representativeness of the methods of sampling, sample preparation and determination of rock material composition and physical and technical characteristics. The hindsight analysis of sampling theory development makes it possible to consider different approaches to assessing the representativeness of data involved in determining the quality of mineral raw materials. The sampling theory is based on the idea that intensive mixing and multi-stage crushing of bulk material makes it possible to obtain absolutely homogeneous medium the sample weights for chemical analysis are formed from. The questions of an objective criterion for bulk media homogeneity assessment and the representativeness of the obtained qualitative characteristics have never been raised. The author's research fills that gap to some extent since is provides the results of focused large-scale studies conducted in analytical laboratories of mining enterprises.*

Methods of research. *Representativeness of sampling methods is a more general notion as compared to an error, accuracy and reliability. It is a generalizing characteristic of quality assessment results reliability for mineral raw materials selected for sample analysis. The main parameter of representativeness is the area of permissible distribution of an increment sample assessment result. The original sample intended for laboratory analysis is seen as a scaled test subject and given the status of representativeness, being in fact a single element of the sample from the general population.*

The research results *can be applied when studying the homogeneity of binary mixtures represented by bulk material, for reliability assessments of methods for obtaining the qualitative characteristics of mineral raw materials.*

Keywords: *representativeness; sample; error; sampling; sample preparation; mineralization field; ore flow; efficiency.*

REFERENCES

1. Kozin V. Z. *Sampling mineral raw material: scientific monograph.* Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2011. (In Russ.)

2. Kozin V. Z., Komlev A. S., Stupakova E. V. Calculation of relative random errors in the sampling of processing products. *Obogashchenie rud = Mineral Processing.* 2022; 3: 28–34. (In Russ.) Available from: doi: 10.17580/or.2022.03.05

3. Kozin V. Z., Komlev A. S., Stupakova E. V. Correction factor to the formula of sample reduction error. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering.* 2023; 1: 66–77. (In Russ.)

4. Batugin S. A., Chernyi E. D. *Theoretical fundamentals of sampling and mineral reserves evaluation.* Novosibirsk: Nauka Publishing; 1998. (In Russ.)

5. Ramsey M. H., Ellison L. R., Rostron P. *Measurement uncertainty arising from sampling: a guide to methods and approaches.* 2nd edition. Eurachem, 2019.

6. Napier-Munn T. J., Whiten W. J., Faramarzi F. Bias in manual sampling of rock particles. *Minerals engineering.* 2020; 153: 106260.

7. Svensmark B. Extensions to the theory of sampling 1. The extended Gy's formula, the segregation paradox and the fundamental sampling uncertainty (FSU). *Analytica chimica acta.* 2021; 1187: 339127. Available from: doi: 10.1016/j.aca.2021.339127

8. Sona M., Dubé J.-S. Sampling particulate matter for analysis – Controlling uncertainty and bias using the theory of sampling. *Analytica Chemica Acta.* 2021; 1185: 338982. Available from: doi: 10.1016/j.aca.2021.338982

9. Galianov A. V., Laptev Iu. V., Fedorova L. M. Effective operation of DWH-1000 blender in electrotechnical periclase powder production. *Ogneupory = Refractories*. 1988; 8: 41–45. (In Russ.)

10. Galianov A. V., Laptev Iu. V. *Assessing the homogeneity when mixing the lump ore.* Ekaterinburg: Academic Publishing Counsel UB RAS Publishing; 1998. (In Russ.)

11. Galianov A. V. Sample preparation in the system of quality control of mineral resources. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. *Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal.* 2013; 3: 138–145. (In Russ.)

12. Petrov S. V., Bederova L. L., Borozdin A. P. Upon the method of reliable determination of noble metals grades in samples with high occurrence of native metals. *Obogashchenie rud = Mineral Processing.* 2015; 4: 44–48. (In Russ.)

13. Stupakova E. V., Komlev A. S. Experimental test of the sample reduction random error formula *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal.* 2021; 4: 37–44. (In Russ.)

14. Zakharova A. A., Voitekhovskii Iu. A. Statistical forecast of ore processing parameters based on observations in thin sections *Obogashchenie rud = Mineral Processing*. 2024; 2: 27–31. (In Russ.)

15. Grigoriev V. M. et al. *Studying the material composition and washability of iron ore.* Moscow: Nedra Publishing; 1976. (In Russ.)

Received 29 May 2024

Information about the author:

Aleksei V. Galianov – DSc (Engineering), professor of the Department of Open-Pit Mining, Ural State Mining University. E-mail: sgimd@mail.ru; https://orcid.org/0009-0000-1199-909X

Для цитирования: Гальянов А. В. Эффективность перемешивания сыпучих сред в процессе пробоподготовки к химическому анализу // Известия вузов. Горный журнал. 2025. № 3. С. 76–85. DOI: 10.21440/0536-1028-2025-3-76-85

For citation: Galianov A. V. The effectiveness of bulk media blending in the process of sample preparation for chemical analysis. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering.* 2025; 3: 76–85 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2025-3-76-85