



Б. К. Кавчик
канд. геол.-мин. наук
Иргиредмет¹
начальник отдела
ivc@irgiredmet.ru

Влияние сокращения геологических проб на результаты опробования и подсчет запасов золоторудных месторождений

¹Россия, 664025, Иркутск, бульвар Гагарина, 38.

При опробовании месторождений золота широко распространено сокращение геологических проб. Эта операция может приводить к значительным неконтролируемым погрешностям определения содержания золота в пробах. Величина погрешностей определения содержания из-за сокращения проб в некоторых условиях составляет от минус 100 до +1000% и более. Такие погрешности влияют на результаты разведки, приводят к занижению площади рудных тел, усложнению контуров запасов, появлению в подсчете запасов пиковых проб. Величину погрешностей, возникающих при сокращении геологических проб, рекомендуется нормировать и контролировать так же систематически, как в настоящее время в сертифицированных лабораториях контролируется качество анализов

Ключевые слова: золоторудные месторождения; подсчет запасов; геологические пробы; содержание золота; погрешность

Испытательный аналитический центр (ИАЦ) АО «Иргиредмет» (аккредитован в соответствии с ГОСТ ISO/IEC 17025-2019) выполняет работы по пробоподготовке и анализу геологических проб (бороздовых, керновых, задирковых). При подготовке геологических проб к анализу используется схема, согласованная с заказчиком, или принятая в соответствии с ОСТ 41-08-249-12 /1/.

Однако в практике до сих пор часто применяют схему пробоподготовки, включающую сокращения проб по формуле Чечотта-Ричардса ($m = Kd^2$). Эта формула предложена более 100 лет назад. В настоящее время содержание золота в руде значительно ниже, чем раньше, поэтому применение этой формулы может приводить к погрешностям определения содержания золота в пробах и погрешностям в оценке месторождений. Однако формула и сегодня входит в нормативные документы и инструкции [1, 2, 3] Этими документами предусмотрен контроль качества обработки геологических проб, но практически контроль проводится редко, т.к. требует специальных исследований. В «Методических рекомендациях...» [4] прямо сказано: «В тех случаях, когда в рудах золото крупностью +0,5 мм составляет не менее 40%, при обработке проб необходимо применять схему предварительного извлечения крупного металла». Однако для большинства геологов сокращение проб представляется операцией тривиальной, поэтому дорогостоящая обработка проб с предварительным извлечением золота применяется редко. Но так ли безобидно сокращение проб?

Исходя из формулы Чечотта-Ричардса, геологическую пробу после дробления до 1 мм сокращают до 1 кг (коэффициент K для золота рекомендуется равным 1). Далее в лаборатории 1 кг измельчают до 0,074 (или 0,071) мм. Из этой измельченной породы путем сокращения отбирают аналитическую пробу массой 50 г, которая поступает на пробирный анализ. Таким образом, при подготовке геологической пробы к анализу ее сокращение происходит по меньшей мере дважды: первый раз после дробления до 1 мм, второй – после измельчения до 0,074 мм. Если масса геологической пробы составляет 10 кг, то общее сокращение перед анализом происходит в 200 раз. Многократное сокращение вносит некоторые погрешности в конечный результат определения содержания золота.

Для расчета величины погрешностей определения содержания золота, возникающих при сокращении геологических проб, мы провели небольшие исследования и расчеты. В дальнейшем для упрощения изложения вместо «погреш-

ность определения содержания, возникающая при сокращении пробы» будем говорить «погрешность сокращения».

Механизм появления погрешности сокращения предварительно рассмотрим на примере гипотетической бороздовой геологической пробы массой 10 кг, в которую попала 1 (одна) золотина размером 1 мм и массой 10 мг. Содержание в геологической пробе, соответственно, составляет 1 г/т. В практике подобные пробы не являются редкостью. Содержания порядка 1 г/т характерно для периферии многих рудных тел. Видимое золото и даже самородки присутствуют в рудах многих месторождений. В качестве примеров можно привести Юбилейное в Иркутской области, Троицкое в Бурятии, Штурмовское и Игуменское в Магаданской области, Каральвеем на Чукотке и др. В реальные пробы, которые отбираются на месторождениях, попадает золото, в том числе крупнее 1 мм.

Геологические пробы в лаборатории измельчают на щековой дробилке до 2–3 мм, затем доизмельчают, например, на валковой дробилке до 1 мм. После этого в соответствии с формулой Чечотта-Ричардса пробу сокращают от 10 до 1 кг. **Что происходит в процессе дробления с золотиной размером 1 мм?** Щековая и валковая дробилка измельчают пробу путем сжатия между щеками и валками. Это хороший вариант для измельчения хрупкой породы. Но золото весьма пластичный металл. При сжатии оно не измельчается, а может только расплющиться. Это означает, что ни в щековой, ни в валковой дробилке золотина не измельчилась. Она как была, так и осталась размером 1 мм и массой 10 мг.

Сокращение дробленного материала пробы производят с помощью делителей, которые должны обеспечить правильное деление и усредненную пробу. Есть делители простые (щелевые) и более сложные (радиальные). Но какой бы делитель не применяли, золотина в пробе всего одна, значит, при сокращении в 10 раз она не попадет в килограммовую навеску с вероятностью 90%, а останется в тех 9 кг, которые, скорее всего, будут просто выброшены или отправлены на склад.

Чтобы оценить величину погрешностей, возникших при делении пробы, представим, что у нас не 1 проба, а 10 проб. Тогда из этих 10 проб золотины по 10 мг будут потеряны в 9 пробах, а в 1 пробе она попадет в килограммовую навеску. Если золотина не попала в килограммовую навеску, то в дальнейших операциях она не участвует, соответственно, содержание в 9 пробах из 10 будет равно нулю вместо 1 г/т – т.е. **погрешность определения содержания в 90% проб составляет минус 100%.**

Рассмотрим следующую стадию сокращения пробы на примере той же гипотетической бороздовой пробы с золотиной размером 1 мм и массой 10 мг. На щековой и валковой дробилке золотина не издробилась, но дальше процесс измельчения происходит по другому принципу. От 1 мм до 0,074 мм измельчение проводится в чашечных или дисковых истирателях. Такие истиратели, в принципе, должны хорошо измельчать мягкий металл, и золотина массой 10 мг измельчится до 0,074 мг. Масса такой золотины составит 0,003 мг и количество золотин в килограммовой пробе увеличится до 3000. Причем все золотины будут небольшой массы, поэтому каждая из них будет мало влиять на содержание в пробе. Но общая масса золота, 10 мг, сохранится. Для килограммовой пробы эти 10 мг обеспечат содержание 10 г/т.

Полученный из пробы килограмм истертой породы разделят на несколько частей, в том числе отберут *аналитическую навеску массой 0,2–0,5 кг и из нее – 50 г для пробирного анализа*. Из 3000 золотин размером 0,074 мм в 50-граммовую навеску попадет в среднем 150. По нормативам, ожидаемая погрешность пробирного анализа – ±30%. Это значит, что содержание по пробе будет лежать в пределах 7–13 г/т. Напомним, что в гипотетической пробе содержание составляло 1 г/т. Значит, по сравнению с содержанием в геологической пробе (1 г/т), погрешность определения содержания составит от +700 до +1300%.

Таким образом, при двух стадиях сокращения гипотетической пробы расчетные погрешности составят от минус 100 до + 1300%. Причем погрешность минус 100% будет в 90% проб, а в 10% содержание будет завышено в 7–13 раз.

Максимальную долю погрешности даст первая стадия сокращения по формуле Чечотта-Ричардса.

Могут ли быть такие высокие погрешности в практике? Рассмотрим еще один вариант сокращения геологических проб – распиливание керна скважин, предусмотренный в рекомендациях по опробованию: «При опробовании скважин, диаметр бурения которых 76 мм и более, керн раскалывается по оси керноколом или распиливается. Одна его половина идет в пробу, другая – сохраняется в качестве дубликата. Мелочь, образующаяся при раскалывании или распиливании керна, делится пополам. Одна половина присоединяется к пробе, другая – к дубликату. При меньших диаметрах бурения возможность отбора в пробу половины керна требует дополнительного обоснования сопоставлением результатов определений по двум половинам керна» [3].

В одной из недавних публикаций [5] приведено сравнение содержания золота в разных частях керна. При этом выделены левая половина керна (Л), правая половина (П) и обломки (О). Всего проанализировано 30 проб, из них 8 результатов приведены ниже (*табл. 1*).

Как видно из приведенных данных, расхождение в содержаниях между левой (Л) и правой (П) половинами керна, даже в среднем по 30 пробам, – почти вдвое (10,32 и 18,07 г/т), а расхождения по отдельным пробам достигают 100 (!) раз. Еще больше расхождения между обломками керна (О) и половинками (Л и П).

Автор статьи делает вывод: «В данном случае одним из эффективных вариантов является сплошной отбор проб керна. Если же его приходится разрезать, рекомендуется собирать

Таблица 1.

Выборочные результаты анализа содержания золота (г/т) в половинах и обломках керна (Л – левая половина; О – обломки; П – правая половина) [5]

Номер пробы	Л	О	П	Л+П, среднее	Л+О+П, среднее	Повышение содержания при добавлении О к среднему по ЛП, %
2	1,22	0,56	2,69	1,97	1,87	-5
4	5,95	6,90	13,71	9,84	9,63	-2
9	87,98	33,34	9,62	48,80	47,72	-2
11	6,21	111,92	24,58	15,40	22,15	+44
7	1,20	254,66	5,43	3,32	20,91	+53
13	0,01	127,40	1,04	0,53	9,41	+1692
14	4,50	251,58	6,73	5,62	22,83	+307
18	0,06	546,30	6,72	3,39	41,39	+1121
Среднее (30 проб)	10,32	32,12	18,07	14,13	15,49	+98

и анализировать все полученные при этом обломки».

По данным (*табл. 1*) мы рассчитали величину погрешностей сокращения для керна. За фактическое содержание в геологической пробе принято значение «О + П + Л», а погрешность считалась для каждой из частей керна (*табл. 2*).

В приведенных данных (*табл. 2*) стоит обратить внимание на то, что погрешность сокращения колеблется от минус 100 до 1254%, при этом погрешность минус 100% возникла даже при содержании в геологических пробах 9 г/т и 41,39 г/т.

По формуле Чечотта-Ричардса проба керна после разделения на половины должна быть сокращена еще раз в несколько раз. Погрешность сокращения при этом усугубится, при этом количество проб, показавших «пусто», еще увеличится.

Сравнение погрешностей сокращения проб для гипотетической бороздовой пробы и реального керна показывает, что порядок их величины одинаковый. В первом примере для гипотетической пробы расчетные колебания погрешностей составили от минус 100 до +1300%, а для практического примера сокращения керна – от минус 100 до 1254%, – это даже не учитывая других этапов сокращения.

Контроль качества опробования

Сертифицированные лаборатории обычно следят за качеством анализов. Например, отправляют часть аналитической пробы (из дубликата) в другую лабораторию и сравнивают результаты (внешний контроль) или анализируют несколько параллельных навесок из одной аналитической

пробы (внутренний контроль) и др. Погрешности анализов в лабораториях выдерживаются в определенных пределах (*табл. 2*).

Нормативы, приведенные в *табл. 3*, частично включают погрешность сокращения пробы, но только с 1 кг до 50 г. Именно из истертого до 0,074 мм килограмма берутся навески для анализа и контроля. Исходя из этого, можно сделать вывод, что погрешности сокращения пробы после истирания до 0,074 мм небольшие, во всяком случае меньше приведенных в *табл. 3*.

Нередко специалисты горных предприятий ошибочно принимают «погрешность анализа» за погрешность определения содержания в геологической пробе. Это приукрашивает реальную ситуацию и приводит к эффекту ложного благополучия, т.к. погрешность анализа всегда меньше общей погрешности определения содержания в геологической пробе. Она не включает погрешность предыдущих стадий сокращения от исходной крупности до 1 мм.

Влияние погрешностей сокращения на результаты разведки

Погрешности сокращения геологических проб при значительной величине могут заметно повлиять на результаты разведки и оценки месторождения. Максимальный ущерб наносят пробы, по которым содержания золота занижены до «пусто». Оконтуривание рудных тел на месторождениях золота часто проводится по данным опробования, но пробы ошибочно показывают «пусто» на фактически промышленных участках рудного тела.

Пробы, ошибочно показавшие «пусто» (или ниже бортового содержания) рядом с границей

Таблица 2.

Расчет погрешностей сокращения керновых проб

Номер пробы	Л+О+П, среднее	Л	Погрешность, %	О	Погрешность, %	П	Погрешность, %
2	1,87	1,22	-35	0,56	-70	2,69	44
4	9,63	5,95	-38	6,9	-28	13,71	42
9	47,72	87,98	84	33,34	-30	9,62	-80
11	22,15	6,21	-72	111,92	405	24,58	11
7	20,91	1,2	-94	254,66	1118	5,43	-74
13	9,41	0,01	-100	127,4	1254	1,04	-89
14	22,83	4,5	-80	251,58	1002	6,73	-71
18	41,39	0,06	-100	546,3	1220	6,72	-84
Среднее	15,49	10,32	-33	32,12	107	18,07	17

рудного тела, при оконтуривании промышленной части месторождения исключаются из контура. За счет этого площадь рудного тела занижается, и часть промышленной руды остается за контуром запасов.

Пробы, ошибочно показавшие «пусто» в пределах рудного тела, выконтуриваются в виде окон, и контур получается разорванным. Подсчет приходится вести с применением коэффициента рудоносности.

Если погрешности сокращения проб снизить (хотя бы убрать ошибочные значения «пусто»), то рудное тело за счет этого будет иметь большую площадь, в нем будет меньше окон, количество металла в месторождении увеличится.

В советское время одной из задач рудничной геологии было уточнение контуров рудных тел. При этом в ходе опережающей эксплуатационной разведки руду за контурами успешно выявляли и добывали. В настоящее время при использовании высокопроизводительной техники оперативное изменение контуров при добычных работах стало сложной проблемой. Снижение погрешностей построения контуров рудных тел при детальной разведке в таких условиях приобретает особую значимость. Важным для снижения погрешностей оконтуривания является максимальное использование геологической информации, применение новых комплексов и методов геологических исследований [6].

Погрешности оконтуривания месторождений и потери золота за контурами – не единственное отрицательное последствие погрешностей сокращения проб. Высокие погрешности приводят в одних пробах к занижению содержания, а в других – к резкому его завышению. Наиболее высокие содержания ограничиваются как пиковые. Недостаточное ограничение пи-

ковых проб приводит к завышению среднего содержания в руде по сравнению с тем, что имеется реально. Из-за этого при отработке запасов иногда наблюдается неотход среднего содержания золота.

Погрешности сокращения геологических проб не на всех объектах имеют значительную величину, соответственно, не на всех объектах они заметно снижают достоверность разведки. Оценка величины погрешностей сокращения на основе «гравитационного метода» [3] требует сравнительно небольших опытных работ, поэтому ее целесообразно проводить для всех месторождений. На каких-то объектах окажется целесообразным применять более дешевые способы пробоподготовки, на других – усовершенствовать пробоподготовку так, чтобы избежать ошибок в оценке месторождения. В настоящее время имеются различные методы пробоподготовки [7], и для конкретного месторождения всегда можно подобрать оптимальный вариант.

Выводы

При опробовании месторождений золота широко распространено сокращение геологических проб. Эта операция может приводить к значительным неконтролируемым погрешностям определения содержания золота в пробах.

Величина погрешностей определения содержания из-за сокращения проб в некоторых условиях составляет от минус 100 до +1000% и более. Такие погрешности влияют на результаты разведки, приводят к занижению площади рудных тел, усложнению контуров запасов, появлению в подсчете запасов пиковых проб.

Величину погрешностей, возникающих при сокращении геологических проб, рекомендуется нормировать и контролировать так же систематически, как в настоящее время в сертифициро-


Таблица 3.

Величина предельно допустимых среднеквадратических погрешностей анализов (%) по классам содержаний [3]

Содержание, г/т	Для руд с золотом до 0,1 мм, главным образом в сульфидах	Для руд с золотом до 0,6 мм, главным образом в сульфидах	Для руд с крупным, часто видимым золотом, главным образом в кварце
128	4,0	7,5	10
64–128	4,5	8,5	12
16–64	10	13	18
4–16	18	25	25
1–4	25	30	30
0,5–1,0	30	30	30
0,5	30	30	30

ванных лабораториях контролируется качество анализов.

Заказчикам, заинтересованным в правильных результатах разведки, рекомендуется выполнять самостоятельно или заказы-

вать компетентным лабораториям работы по определению величины погрешностей, возникающих при сокращении проб, и разработку оптимальной схемы пробоподготовки. 

Литература

1. ОСТ 41-08-249-85 Управление качеством аналитической работы. Подготовка проб и организация выполнения количественного анализа в лабораториях Мингео СССР. Общие требования. 1985. Доступно на: <http://docs.cntd.ru/document/1200101683> (обращение 17.02.2020).
2. Требования к обоснованию достоверности опробования рудных месторождений. ГКЗ РФ, 1992. Доступно на: <http://www.geokniga.org/books/73> (обращение 17.02.2020).
3. Кувшинов В.П., Бакулин Ю.А., Иванов В.Н. и др. Опробование руд коренных месторождений золота. М.: ЦНИГРИ. 1992. 160 с.
4. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (золоторудных). Приложение 18 к распоряжению МПР России от 05.06.2007 № 37-р. Доступно на: <https://base.garant.ru/2163006/2c582bd7512af06ea071fe2518eb92a7/> (обращение 17.02.2020).
5. Dominy, S. Coarse gold-bearing mineralisation- developing effective protocols and a case study from the Ballarat mine, Australia. Eighth World Conference on Sampling and Blending, Volume: 02/2017, pp 71-84.
6. Генералов В.И. Полевой комплекс методов оперативной диагностики золоторудных зон в ходе выполнения горно-буровых работ //Золотодобыча. 2019. № 248. С. 34–39.
7. Прокопьева С.В., Ванина А.С., Кавчик Б.К. Проблемы пробоподготовки и анализа проб с различной крупностью золота //Золотодобыча. 2014. № 183. С. 11–14.

UDC 553.048

B.K. Kavchik, PhD, Department Head, Irgiredmet¹, tvk@irgiredmet.ru

¹38 Gagarin blvd, Irkutsk, 664025, Russia.

The Effect of Geological Sample Reduction on the Results of Testing and Estimation of Gold Reserves

Abstract. When testing gold deposits, a reduction in geological samples is widespread. This operation can lead to significant uncontrolled errors in determining the gold content in the samples. The magnitude of the errors in determining the content due to the reduction of samples in some conditions is from minus 100 to + 1000% or more. Such errors affect the results of exploration, leading to an underestimation of the area of ore bodies, complicating the contours of reserves, and the appearance of peak samples in the calculation of reserves. The magnitude of the errors arising from the reduction of geological samples is recommended to be standardized and monitored as systematically as the quality of analyzes is currently controlled in certified laboratories

Keywords: gold deposits; inventory calculation; geological samples; gold content; fallability

References

1. ОСТ 41-08-249-85 Управление качеством аналитической работы. Подготовка проб и организация выполнения количественного анализа в лабораториях Мингео СССР. Общие требования [OST 41-08-249-85 Quality management of analytical work. Sample preparation and organization of quantitative analysis in the laboratories of the Mingeo of the USSR. General requirements]. 1985. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200101683> (accessed 17 February 2020).
2. Требования к обоснованию достоверности опробования рудных месторождений. ГКЗ РФ [Requirements for substantiating the reliability of testing ore deposits. GKZ RF]. 1992. Available at: <http://www.geokniga.org/books/73> (accessed 17 February 2020).
3. Kuvshinov V.P., Bakulin Iu.A., Ivanov V.N. i dr. *Oprobovanie rud korenykh mestorozhdenii zolota* [Testing of ores of primary gold deposits]. Moscow, TsNIGRI Publ., 1992, 160 s.
4. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (золоторудных). Приложение 18 к распоряжению МПР России от 05.06.2007 № 37-р [Guidelines for the application of the Classification of reserves of deposits and forecast resources of solid minerals (gold). Appendix 18 to the Decree of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 05.06.2007 No. 37-r]. Available at: <https://base.garant.ru/2163006/2c582bd7512af06ea071fe2518eb92a7/> (accessed 17 February 2020).
5. Dominy, S. Coarse gold-bearing mineralisation- developing effective protocols and a case study from the Ballarat mine, Australia. Eighth World Conference on Sampling and Blending, Volume: 02/2017, pp 71-84.
6. Generalov V.I. *Polevoi kompleks metodov operativnoi diagnostiki zolotorudnykh zon v khode vypolneniia gorno-burovykh rabot* [Field complex of methods for operational diagnostics of gold ore zones during mining operations]. *Zolotodobycha* [Zolotodobycha], 2019, no. 248, pp. 34–39.
7. Prokop'eva S.V., Vanina A.S., Kavchik B.K. *Problemy probopodgotovki i analiza prob s razlichnoi krupnost'iu zolota* [Problems of sample preparation and analysis of samples with different fineness of gold]. *Zolotodobycha* [Zolotodobycha], 2014, no. 183, pp. 11–14.