

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ЗОЛОТА С ЭФЕЛЯМИ ПРОМЫВОЧНЫХ ПРИБОРОВ ПО ДАННЫМ СИТОВЫХ АНАЛИЗОВ

О.В.Замятин, Б.К.Кавчик — ОАО «Иргиредмет»

Иргиредметом в течение многих лет определялась величина потерь при обогащении песков с целью оценки эффективности различного обогатительного оборудования, оценки техногенных отвалов и др. Было установлено, что величина потерь зависит от конструкции прибора, свойств золота и песков, технологии работ и других факторов. На промывочных приборах потери, в основном, происходят с двумя отвальными продуктами — галей и эфелями. В настоящей работе рассмотрен способ расчета ожидаемых потерь золота с эфельными отвальными продуктами. Они часто являются преобладающими и определяют эффективность обогащения песков в целом.

Иргиредметом для определения величины потерь на основе многочисленных опытных данных [1–4 и др.] построены графики извлечения золота различными приборами (рис. 1).

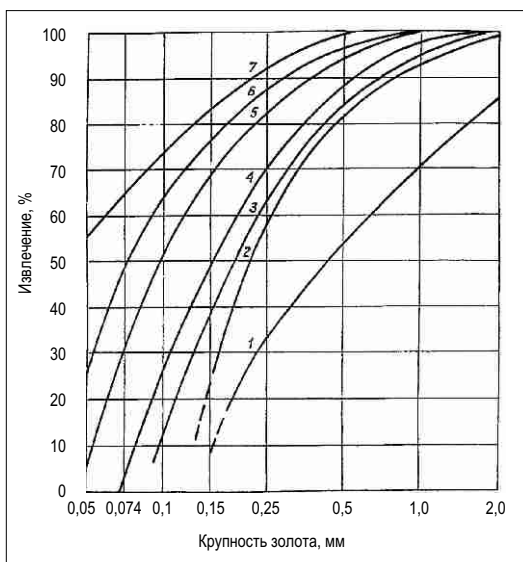


Рис.1. Извлечение золота различной крупности при обогащении песков россыпных месторождений:
1 — шлюзами глубокого наполнения длиной 6 м;
2 — шлюзами глубокого наполнения длиной 27 м (промприбор ПГШ);
3 — шлюзами мелкого наполнения длиной 9 м (промприбор ПКС и ПГБ);
4 — дражными шлюзами мелкого наполнения длиной 9 м;
5 — отсадочными машинами длиной 2 м;
6 — отсадочными машинами длиной 3 м;
7 — развитой технологией обогащения

Для конкретного типа шлюза величина потерь золота может быть подсчитана, в зависимости, от его длины по уравнениям [2, 3]:

$$\begin{aligned} \lg P_p &= -k l_p \\ \lg P_6 &= -k l_6 \end{aligned}$$

где: P_p и P_6 — величины потерь золота класса крупности соответственно для расчетной и базовой длины шлюза (в долях единицы), а l_p и l_6 соответственно расчетная и базовая длины шлюза,

$$\text{т.е. } \lg P_p = \lg P_6 l_p / l_6$$

(P_6 и l_6 определяются по графику),

На основании графиков и расчетов по формулам составлена таблица потерь золота с эфельными продуктами для различного обогащительного оборудования (табл. 1).

Таблица 1. Потери золота с эфельными продуктами при обогащении песков россыпных месторождений на промывочных приборах с различным обогащительным оборудованием, (%)

Класс крупности, мм	Шлюзы глубокого наполнения, м			Шлюзы мелкого наполнения 9 м с трафаретом		Отсадочные машины, длина, м		Развитая технология*
	6	12	27	лестничным	дражным	2	3	
4-8	3	2	0					
2-4	9	5	1	0	0			
1-2	15	10	4	3	1	0	0	
0,5-1,0	30	26	12	10	6	3	2	0
0,25-0,50	47	33	27	25	20	11	7	4
0,125-0,250	67	63	60	52	43	24	17	13
минус 0,125	100	99	99	96	80	50	37	27

* Развитая технология обогащения включает отсадочную, центробежно-отсадочную машины, центробежно-барботажный и центробежный концентраторы /4/

Оценка потерь золота с помощью графиков и расчетов в течение многих лет использовалась в проектах и работах, выполнявшихся Ирригдетом, а также некоторыми проектными организациями, поэтому в проектах можно встретить фразу «потери золота определены по методике Ирригдета». К нам иногда обращаются с просьбой выслать эту методику, однако в виде отдельной, согласованной и утвержденной брошюры эта методика никогда не выпускалась.

Потери золота при промывке песков серьезно изучали также в магаданском институте ВНИИ-1. Сотрудники института проводили множество исследований по определению величины потерь; в результате накоплены уникальные данные опробования гали и эфелей различных промывочных приборов, которые не потеряли своей актуальности до настоящего времени. На основе данных ВНИИ-1 разработаны нормативы технологических потерь золота при промывке золотосодержащих песков на промывочных приборах производства Магаданского механического завода /5/.

По приведенным в этой работе данным об извлечении золота, составлена таблица потерь золота в сопоставимых с табл.1 единицах. При пересчете данных ВНИИ-1 нами исключены потери самородков с галей, так как настоящая статья ограничена потерями золота с эфелями (табл.2).

Таблица 2. Потери золота с эфелями при обогащении песков россыпных месторождений на шлюзовых промывочных приборах Магаданского механического завода, % (по данным ВНИИ-1 /5/)

Класс крупности, мм	ПГШ	Боковые и скрубберные			ГВ, ПВШ	ГГМ
		ПГБ	МПД, МПП, ПКС, ПКБШ	ПБШ		
2-4 (5)	1	0	0	1	4	0
1-2	4	1	1	2	4	0
0,5-1,0	10	3	5	7	19	1
0,25-0,50	30	14	14	11	59	36
минус 0,20	65	50	40	50	81	80

В принципе, данные Ирригдета и ВНИИ-1 по величине потерь совпадают. Различия находятся в пределах статистических погрешностей опробования. Подробнее этот вопрос рассмотрен в конце статьи.

Используя вышеприведенные таблицы Иргиредмета и ВНИИ-1, можно рассчитать величину потерь золота в процентах от содержания в промываемых песках или от массы добытого металла. Такая величина — важнейший показатель работы оборудования. Зная ее, легко рассчитать реальные килограммы потерянного в процессе обогащения золота, содержание золота в эфельных отвалах, экономически обосновать выбор обогатительного оборудования и др. В последние годы потери рассчитывают с целью налогообложения сверхнормативных потерь. Целесообразность последнего мероприятия сомнительна, о чем подробно написано в статье В.И.Таракановского /6/. Однако проблема расчета величины потерь не теряет от этого актуальности.

Для расчета потерь необходимо иметь ситовый анализ золота по месторождению, полученный по данным разведки или эксплуатации. Навеску золота для ситового анализа рекомендуется принимать в соответствии с его крупностью (табл.3). Чем крупнее золото в месторождении, тем больше должна быть масса его навески. Иначе в ней могут быть не представлены фракции крупнее 4 или 8 мм, что приведет к погрешности расчетов.

Таблица 3. Рекомендуемая масса золота для ситового анализа /7/

Медианный размер золотин, мм*	Масса навески золота, г
до 1,0 мм	20-50
1,0-2,0	50-100
2,0 – 4,0	100-500
более 4,0	500-2000

*Медианный размер золотин соответствует расчетному размеру отверстий сита, через которое просеивается 50% золота по массе. Эту же характеристику иногда называют средним размером золотин /8/. Однако лучше употреблять термин «медианный размер», т.к. раньше /9/ под «средним размером» понимали другую характеристику, и это может привести к путанице

Если бы все ситовые анализы золота были сделаны на одинаковых наборах сит (0,125, 0,25, 0,5 и т.д.), то с помощью табл.1 и 2 рассчитать ожидаемые потери золота было бы несложно. Однако наборы сит на разных предприятиях существенно отличаются.

50-70 лет назад в центральных регионах России использовали в основном импортные сита с ячейками 200 меш (0,074 мм), 150 меш (0,1 мм), 100 меш (0,15 мм) и т.п. Такие сита рекомендовал ЦНИГРИ: «Для каждой разведываемой россыпи определяют гранулометрический состав золота; проводят расситовку его с использованием нормального набора сит, выделяя следующие классы: менее 0,074 мм (минус 200 меш), 0,074-0,15 мм (минус 100+200 меш), 0,15-0,25 мм (минус 60+100 меш), 0,25-0,5 мм (минус 32+60 меш), 0,5-1 мм (минус 16+32 меш) и далее фракции 1-2 мм, 2-4 мм и т.д.» /8/. В отдаленных районах России трудно было найти импортные сетки и сетки с квадратной ячейкой 4; 8 и 16 мм. Последние заменяли сверлеными полотнами, которые можно было сделать в местных мастерских. Заменить квадратную ячейку 4 мм на круглую диаметром 4 мм было очевидно неравнозначно, поэтому квадратные ячейки 4 мм заменили сверленными полотнами с отверстиями 5 мм, 8 мм — сверленными 10 мм, 16 мм — сверленными 20 мм и т.п. Сита с круглыми ячейками широко использовали во ВНИИ-1. На таких ситах выполнены многочисленные исследования золота, поэтому они получили распространение на россыпных месторождениях золота и

сохранились во многих современных инструкциях, в том числе в магаданской инструкции по нормированию потерь золота: «Рассев производится на наборе лабораторных сит. Рекомендуемый набор отверстий сит: 50; 30; 20; 10; 5; 2; 1; 0,5 и 0,2 мм» /5/. В практике иногда встречаются наборы сит, включающие промежуточные фракции: 0,315; 0,40; 0,63; 1,2; 2,5; 7,0 мм и т.п.

Форма ячеек сит (круглые или квадратные) принципиального значения не имеет, если смена формы указана в документации. При необходимости размеры сит с круглыми ячейками нетрудно пересчитать в квадратные (коэффициент 0,8). Сложность заключается в том, что исполнители анализов часто не указывают форму ячеек, не придавая этому значения. В результате возникает неопределенность при расчете потерь.

В настоящее время в России можно заказать сита с квадратными ячейками любых размеров, поэтому удобнее заказывать все сита одной формы, чтобы исключить путаницу и с постоянным коэффициентом пропорциональности 2,0. Каждая сетка при этом по размеру ячеек вдвое больше предыдущей: 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 мм и т.п. Достоинством таких сит является простота обработки ситовых анализов россыпного золота. В дальнейшем их будем называть стандартными. В настоящее время стандартные наборы сит имеются на многих предприятиях.

Пересчет размеров фракций ситового анализа возможен несколькими способами. Одним из наиболее совершенных для россыпного золота является способ, разработанный А.В.Поляницыным /10/. Способ предполагает логарифмически нормальное распределение массы золота по фракциям крупности. В этом случае он дает возможность скорректировать погрешности фактической ситовки, связанные с потерями мелкого золота или самородков при обогащении. Однако фактическое распределение золота по фракциям иногда отличается от логнормального. Поэтому перед использованием метода нужен анализ закона распределения, что является не инженерной задачей.

В основе более простого способа пересчета ситовых анализов лежит график накопленного выхода фракций в полулогарифмическом масштабе. Для его построения удобно использовать специально расчерченный бланк (рис.2), на котором уже нанесена разметка для часто встречающихся размеров фракций.

Рассмотрим пересчет ситового анализа на конкретном примере (табл.4).

Таблица 4. Ситовый анализ золота по данным предприятия

Размер фракции, мм	Доля фракции, %	Накопленный выход фракции, %
0-0,1	2,21	2,2
0,1-0,25	18,74	21,0
0,25-0,5	25,34	46,3
0,5-1	37,01	83,3
1-2	6,43	89,7
2-3	4,69	94,4
3-4	2,94	97,4
более 4	2,64	100,0

На бланк (рис.2) нанесем точки накопленного выхода фракций из табл.4. Для построения точек используем значения верхних границ фракций. По точкам построим плавную сглаженную кривую.

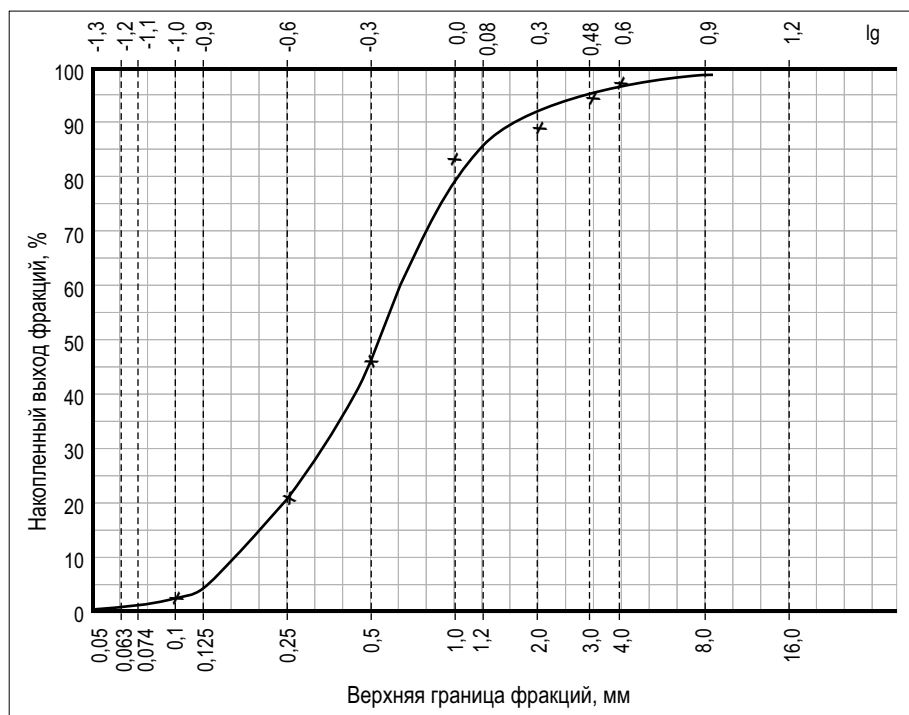


Рис.2. Бланк для пересчета гранулометрических анализов золота

С построенной кривой снимем значения накопленных выходов фракций для стандартных размеров сит (табл.5, столбец 2) с округлением до 1%. По накопленному выходу рассчитаем процентную долю каждой фракций (табл.5, столбец 3).

Размер фракции, мм	Накопленный выход фракции, %	Доля фракции, %
0-0,125	4	4
0,125-0,250	21	17
0,25-0,50	46	25
0,50-10	79	33
1-2	93	14
2-4	97	4
4-8	99	2
более 8	100,0	1

Таким же образом, используя график накопленного выхода фракций, можно пересчитать любой ситовый анализ золота.

Графический способ пересчета ситовых анализов не обеспечивает высокой точности и не только потому что с графика трудно снять выход фракции в долях процента. Проведение усредняющих кривых по эмпирическим наблюдениям довольно субъективно. Один человек может провести ее так, другой иначе, соответственно пересчет ситового анализа, выполненный разными специалистами, будет неодинаковым. При использовании стандартных наборов сит таких погрешностей не возникает.

После пересчета ситового анализа расчет потерь золота для оборудования, приведенного в табл.1 или табл.2 не представляет трудностей.

В табл.6 приведен расчет потерь золота на примере шлюза глубокого наполнения длиной 27 м. Величина потерь для каждой фракции принята по данным Иргиредмета (см.табл.1) Расчетные потери золота составили 25,6%

Таблица 6. Расчет потерь золота для прибора со шлюзом глубокого наполнения длиной 27 м по данным Иргиредмета (см.табл.1)

Размер фракции, мм	Потери золота по фракциям (для ШГН-27 м), %	Доля фракции, % (см.табл.5)	Потери с учетом выхода фракций, %
более 8	0	1	0,0
4-8	0	2	0,0
2-4	1	4	0,0
1-2	4	14	0,6
0,5-1,0	12	33	4,0
0,25-0,50	27	25	6,8
0,125-0,250	60	17	10,2
0-0,125	99	4	4,0
ИТОГО		100	25,6

Расчет потерь золота для этого же примера с использованием данных ВНИИ-1 (см.табл.2, прибор ПГШ), дает близкий результат — 25,1% (табл.7).

Таблица 7. Расчет потерь золота для прибора ПГШ по данным ВНИИ-1 (см.табл.2)

Размер фракции, мм	Потери золота по фракциям (для ПГШ), %	Доля фракции, % (см.табл.5)	Потери с учетом выхода фракций, %
4-8	0	2	0,0
2-4	1	4	0,0
1-2	4	14	0,6
0,5-1,0	10	33	3,3
0,2-0,5	30	25	7,5
0-0,2	65	21	13,7
ИТОГО		100	25,1

Вышеприведенный способ расчета ожидаемых потерь золота является приближенным. Он учитывает только гранулометрический состав золота, но не учитывает других факторов, которые также влияют на величину потерь.

Наиболее существенным из неучтенных факторов является уплотненность золота. Масса зернистых золотин превышает массу чешуйчатых такого же размера в 5-10 раз. Уплотненность золота бывает различной даже на одной россыпи. В верховьях рек золото больше зернистое, в нижней части — пластин-

чатое и чешуйчатое. Простейшим показателем уплотненности является средняя масса золотин фракции 0,5-1,0 мм. Чем выше уплотненность золота, тем меньше средняя масса золотин этой фракции (табл.8).

Таблица 8. Характеристика россыпного золота по уплотненности /7/

Средняя масса золотин во фракции 0,5-1,0 мм, мг	Характеристика золота
Менее 2,0	Чешуйчатое (весьма уплотненное)
2,0-4,0	Пластинчатое (средне уплотненное)
Более 4,0	Зернистое (слабо уплотненное)

При одинаковом размере фракций величина потерь зернистых и чешуйчатых частиц многократно отличается. Зернистое золото, даже мелкое, удовлетворительно извлекается шлюзами, а чешуйчатое золото шлюзы улавливают неудовлетворительно.

Данные Иргиредмета и ВНИИ-1 по потерям золота разных фракций (табл. 1 и табл.2) не учитывают различий в уплотненности золота. Значения потерь по фракциям являются среднестатистическими. Опробование проводили на разных россыпях и в дальнейшем результаты усредняли. Кроме того, в тот период, когда выполняли большинство исследований, обрабатывались преимущественно наиболее богатые центральные участки россыпей со средней уплотненностью золота. В связи с этим, таблицы Иргиредмета и ВНИИ-1 (см.табл. 1 и 2) отображают потери, в основном, золота средней уплотненности. Это обстоятельство необходимо учитывать при использовании расчетов потерь в практике /11/.

В настоящее время предприятия обрабатывают россыпи, существенно отличающиеся по уплотненности золота. В отработку вовлекаются низовья крупных россыпей с чешуйчатым золотом, или наоборот верховья с преимущественно зернистым золотом. В отработку также вовлекаются эфельные отвалы, из которых простое для извлечения золото уже добыто ранее, и др. В таких условиях расчетная оценка потерь золота, без учета фактической уплотненности, имеет погрешность порядка $\pm 50\%$, что при выборе обогащательного оборудования может привести к дорогостоящей ошибке.

Например, по вышеприведенным расчетам (см.табл.6 и 7) ожидаемые потери золота при промывке песков на шлюзе ПГС составляют 25-26%. Исходя из этого, можно принять решение о приобретении прибора с отсадочной технологией, увеличивающей извлечение золота на 10-15%. Стоимость прибора может достигать 8-10 млн.руб. Однако, если предприятие обрабатывает пески с зернистым золотом, то фактические потери золота значительно меньше расчетной величины, возможно, всего 10-12%. В этом случае прибор с отсадочной технологией вызовет разочарование, прирост извлечения будет намного меньше, чем ожидалось, и окупить его будет проблематично.

В то же время, если предприятие обрабатывает месторождение с чешуйчатым золотом, то фактические потери золота больше расчетной величины. В этом случае переход к отсадочной технологии обеспечит прирост извлечения золота больше, чем ожидается по расчету, и отсадочный прибор быстро окупится.

Для учета уплощенности золота необходимо, прежде всего, делать качественные ситовые анализы и определять показатель уплощенности. Зная его, можно внести поправку к расчетной величине потерь и получить, таким образом, более объективную их оценку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маньков В.М., Замятин О.В., Томин В.С. Извлечение мелкого золота из песков россыпных месторождений. Техника и технология для извлечения мелкого самородного золота. Материалы международной школы-семинара. Иркутск, Иргиредмет, 1996, с. 10—30
2. Замятин О.В. Зависимость извлечения зерен тяжелых минералов от длины шлюзов. — Цветные металлы — 1973 — № 6
3. Обогащение золотосодержащих песков на шлюзах. Основные закономерности и технологические возможности процесса. Анализ, добыча и переработка полезных ископаемых. Сб. науч. трудов. Иркутск, Иргиредмет, 1998, с.108—120.
4. Замятин О.В., Маньков В.М., Крехов А.В. и др. Применение развитой технологии для извлечения мелкого золота из песков россыпных месторождений. Добыча и переработка золото- и алмазосодержащего сырья. Сб. науч. тр. Иркутск, Иргиредмет, 2001, с. 302-314
5. Инструкция по нормированию технологических потерь золота при промывке золотосодержащих песков на промывочных приборах. Магадан, ВНИИ-1, Кордис, 2004
6. Таракановский В.И. О потерях полезных ископаемых. Драгоценные металлы, драгоценные камни, 2007, № 11 (167), с.67-72
7. Ситовый анализ и определение гранулометрических характеристик россыпного золота. Методические рекомендации. Иркутск, Иргиредмет, 2001, 15 с.
8. Методические указания по разведке и геолого-промышленной оценке месторождений золота. Под редакцией Г.П.Воларовича. М.: ЦНИГРИ, 1974
9. Методика разведки россыпй золота и платиноидов. Под редакцией И.Б.Флерова и В.И.Куторгина. М.: ЦНИГРИ, 1992, 286 с.
10. Поляницын А.В. Гранулометрические параметры Ленского россыпного золота, их определение и пути использования при поисках, разведке и эксплуатации россыпей. Дисс.к.г.-м.н., Иркутск, ИПИ, 1969 г.
11. Замятин О.В., Кавчик Б.К. Расчет потерь золота при обогащении песков и выбор оптимального обогатительного оборудования. Бюлл. Золотодобыча, №42, 2002, с.7-11 ■