

## РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕКЦИИ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ ОПРОБОВАНИЯ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ С КРУПНЫМ ЗОЛОТОМ



В. О. КОНЫШЕВ,  
старший научный сотрудник,  
канд. геол.-минерал. наук  
(ФГУП «ЦНИГРИ»)

Достоверностью опробования  $D$  [1] является отношение  $C_{cp} : C_{ис}$ , где  $C_{cp}$  — среднее содержание золота по результатам пробирного анализа бороздовых проб;  $C_{ис}$  — близкое к истинному содержание золота в рудном теле, оцененное по количеству металла, извлеченного в продукты обогащения из лабораторной технологической пробы (ЛТП). Последнюю составляют из всех несокращенных рядовых бороздовых проб, характеризующих рудное тело. Коэффициентом коррекции на достоверность рядового опробования  $K_d$  служит величина, обратная  $D$ . Коэффициент  $K_d$  достигает высоких значений для руд с бонанцами, гнездами и крупными выделениями золота, которые вследствие ковкости не измельчаются в ходе подготовки проб. Попадание крупных частиц металла в навески массой 50 г, выделяемые для пробирных анализов, маловероятно, что приводит к занижению  $C_{ис}$ . Разработаны методические приемы оценки прогнозных ресурсов и подсчета запасов с учетом экспериментальных значений  $K_d$ .

### Методические приемы составления заверочных ЛТП

В состав ЛТП № 1-кедр, характеризующей участок Кедровский, поступил измельченный до крупности  $-1$  мм материал 31 бороздовой пробы (343,4 кг), оставшийся после отбора от каждой рядовой пробы усредненных навесок массой 1 кг. Золото в рудах находится в самородном состоянии в виде зерен различного размера, а также присутствует в подчиненных количествах в сульфидах. По результатам пробирных анализов содержание золота в пробах составило от 0,2 до 74,25 г/т ( $C_{cp} = 4,06$  г/т).

\* Определение выполнила Л. В. Шатилова.

Масса заверочной ЛТП для исследований должна удовлетворять двум условиям. Первое из них соответствует принципу представительности опробования, или однородности пробы с учетом наиболее крупных частиц золота. Для объектов Федоровско-Кедровского рудного поля массовая доля зерен золота крупностью  $-11+10$  мм составляет 12,5 %. Представительная ЛТП для частиц золота указанной крупности должна иметь массу более 122 кг (согласно формуле  $Q = kD^2$ , где  $Q$  — масса пробы, кг,  $D$  — максимальный размер частиц золота, мм,  $k = 1$ ).

Второе условие определяется статистической надежностью определения средних содержаний по разведочному пересечению или рудному телу, требующей использования данных более 30 рядовых бороздовых проб стандартного сечения со средней массой около 10 кг каждая. Таким образом, оптимальная масса заверочной ЛТП составляет не менее 300 кг.

### Принципиальная схема гравитационного обогащения ЛТП № 1-кедр

Обогащение ЛТП № 1-кедр проведено в непрерывном режиме по гравитационной схеме, представленной на рис. 1.

В процессе обогащения исходного материала от хвостов короткоконусного гидроциклона (ККГЦ) и стола через каждые 30 мин отбирали материал для составления средних проб.

По завершении испытаний проводили зачистку основного оборудования — классификатора, мельницы и отсадочной машины. Выделенный материал промывали на лотке. Из полученного шлиха было выделено 0,181 г свободного золота. Таким же способом из золотой «головки» фракции  $+0,25$  мм также было выделено 0,309 г свободного золота. В процессе обогащения всего было выделено 0,721 г свободного лигатурного золота крупностью  $+0,25$  мм. Средняя проба золота была определена в ЦНИГРИ с помощью пробирного камня и в среднем составила по 23 зернам 782 ‰ при колебаниях от 760 до 800 ‰\*.

### Технологические показатели гравитационного обогащения

Для расчета баланса содержаний золота были приняты средние значения пробирных анализов по двум сопряженным навескам массой по 50 г, отобраным от каждого продукта обогащения. Технологические показатели обогащения ЛТП № 1-кедр, по данным пробирных анализов, приведены в табл. 1. С учетом извлечения свободного золота (21,55 %), общее извлечение металла в концентраты (выход 2,85 %),

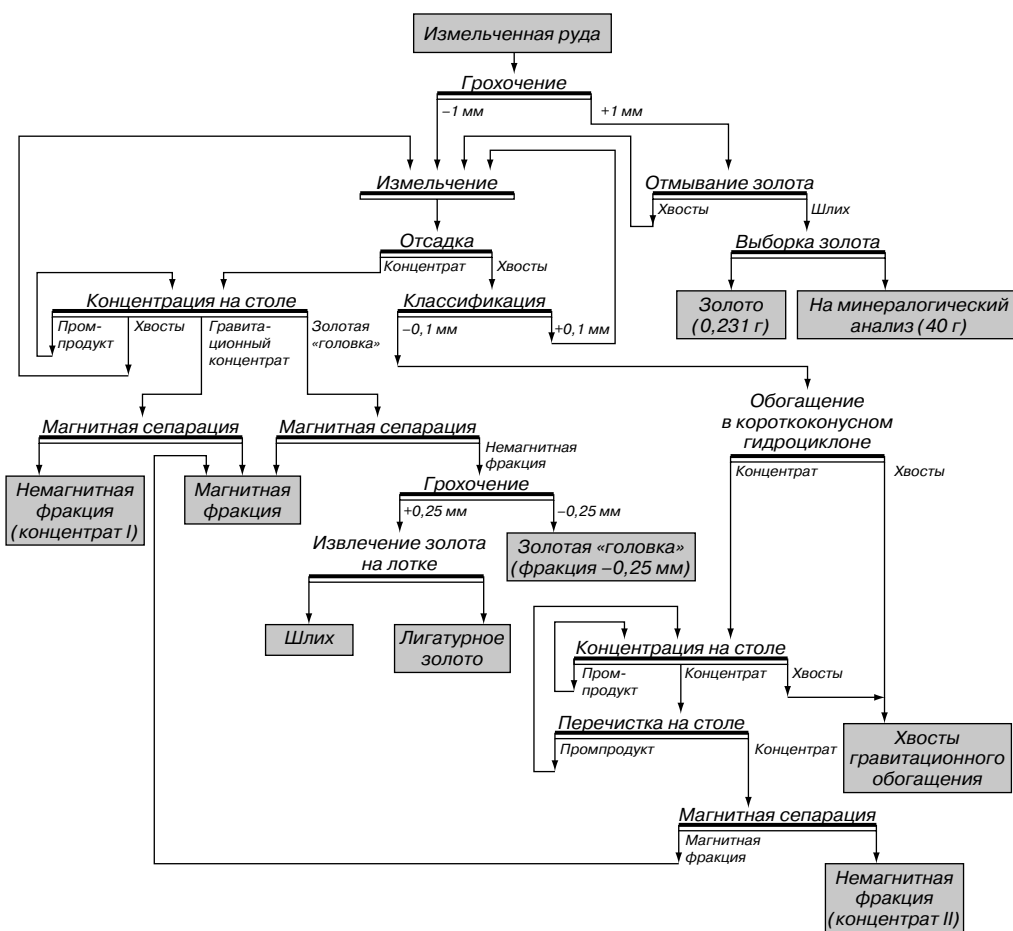


Рис. 1. Технологическая схема обогащения руды участка Кедровский

Таблица 1. Технологические показатели обогащения ЛТП № 1-кедр

Продукты	Среднее содержание золота по двум навескам, г/т	Масса продукта, кг	Выход продукта, %	Масса химически чистого золота, мг	Извлечение золота, %
Лигатурное золото 782 пробы		0,721*		563,82	21,55
Магнитная фракция	168,0	34,3*	0,01	5,76	0,22
Шлих (+0,25 мм)	597,8	137,2*	0,04	82,02	3,14
Золотая «головка» (фракция -0,25 мм)	844,25	1,372	0,4	1058,31	44,27
Концентрат I	60,0	6,517	1,9	391,02	14,94
Концентрат II	46,9	1,715	0,5	80,43	3,07
Хвосты стола	0,8	59,0	17,2	47,20	1,80
Хвосты ККГЦ	1,05	274,2	79,95	287,94	11,01
Исходная руда		343,35	100,0	2616,50	100,0
Среднее содержание по 31 бороздовой пробе	4,06				
Среднее содержание по результатам обогащения	7,62				
Коэффициент $K_d$	1,88				

\* Масса выражена в граммах.

отвечающие требованиям металлургических заводов, достигло 87,19 %. Балансовое содержание золота в исходной технологической пробе составило 7,62 г/т ( $K_d = 7,62 : 4,06 = 1,88$ ).

Хотя погрешности между первыми и вторыми определениями содержания золота пробирным анализом удовлетворяли требованиям ОСТ 41-08-212-04, тем не менее, учитывая методическую важность работы, автор осуществил заверку результатов пробирных анализов цианированием более представительных 400-г навесок, отобранных из большинства продуктов обогащения. По двум продуктам, масса которых была невелика, в заверочных расчетах использовали полученные ранее результаты пробирных анализов.

В контрольных навесках золото растворили в цианидных растворах. Условия цианирования концентратов: масса навески 400 г; соотношение Ж:Т = 2:1; концентрация NaCN — 2, извести — 0,3 г/л; продолжительность — 36 ч. Выщелачивание золота из концентратов и золотой «головки» крупностью –0,25 мм проводили без использования сорбента. В итоге из концентратов были выделены и проанализированы на золото по два продукта: золотосодержащий раствор и хвосты цианирования.

Продолжительность цианирования хвостов гравитационного обогащения сократили в 1,5 раза, концентрацию NaCN уменьшили в 2, а извести — в 1,5 раза. Цианирование хвостов стола и ККГЦ проводили в при-

сутствии сорбента АМ-2Б с получением трех продуктов: сорбента, раствора и хвостов цианирования.

Содержание золота в растворах определяли атомно-абсорбционным методом, а в хвостах цианирования и в сорбенте — пробирным анализом. Для удобства цианирования и определения содержания металла исходную навеску делили пополам (по 200 г) и каждую часть обрабатывали отдельно. Результаты цианирования приведены в табл. 2.

Содержание в заверочных навесках рассчитывали по формуле:  $C = [C_1 \times 0,8 + C_2 \times 0,4 + C_3 + C_4] : 0,4$  мг/кг (г/т), где  $C_1$  — среднее содержание золота в растворе, мг/л;  $C_2$  — среднее содержание золота в хвостах цианирования, мг/кг (г/т);  $C_3 + C_4$  — суммарное количество золота, извлеченного двумя навесками сорбента, мг.

По результатам цианирования концентратов содержание металла незначительно отличается от значений, определенных пробирным анализом. В частности, содержание в золотой «головке» пробирным анализом завышено на 71,85 г/т (9,3 %), в концентрате I — на 3,5 г/т (6,2 %), в концентрате II занижено на 3,45 г/т (6,8 %), в хвостах гидроциклона — на 1,13 г/т, в хвостах стола — на 1,11 г/т.

В табл. 3 приведены технологические показатели обогащения с использованием результатов цианирования для определения содержания золота. Суммарное извлечение золота достигло 74,29 % при выходе

Таблица 2. Результаты цианирования продуктов обогащения ЛТП № 1-кедр

Продукт	Содержание золота			Количество золота на сорбенте АМ-2Б	Извлечение золота в раствор, %
	в растворе, мг/л	в хвостах, мг/кг	в исходном продукте, мг/кг		
Золотая «головка» (фракция –0,25 мм):			772,4		99,2
первая проба	352	6			
вторая проба	414,4	6			
среднее	383,2	6			
Концентрат I:			56,5		98,8
первая проба	28,1	0,7			
вторая проба	27,7	0,7			
среднее	27,9	0,7			
Концентрат II:			50,35		97,9
первая проба	23,5	1,1			
вторая проба	25,8	1,0			
среднее	24,65	1,05			
Хвосты стола:			1,91		99,2*
первая проба	0,28	0,4		0,17	
вторая проба	0,28	0,6		0,17	
среднее	0,28	0,5		$\Sigma = 0,34$	
Хвосты ККГЦ:			2,18		77,1*
первая проба	0,04	0,6		0,33	
вторая проба	0,04	0,4		0,31	
среднее	0,04	0,5		$\Sigma = 0,64$	

\* Извлечение в раствор и на сорбент.

**Таблица 3. Технологические показатели обогащения с учетом результатов цианирования продуктов**

Продукты обогащения	Содержание Au, г/т	Масса химически чистого золота, мг	Извлечение золота, %
Лигатурное золото		563,82	19,6
782 пробы			
Магнитная фракция	168,0	5,7624	0,2
Шлих (+0,25 мм)	597,8	82,02	2,85
Золотая «головка» (фракция -0,25 мм)	772,4	1059,7328	36,84
Концентрат I	56,5	368,2105	12,8
Концентрат II	50,35	86,3502	3,0
Хвосты стола	1,91	112,69	3,92
Хвосты ККГЦ	2,18	597,756	20,78
Исходная руда		2876,34	100,0
Среднее содержание по данным обогащения с учетом цианирования, г/т	8,38		
Коэффициент $K_d$	2,06		

концентратов 2,85 %. Балансовое содержание золота в пробе составило 8,38 г/т ( $K_d = 8,38 : 4,06 = 2,06$ ).

Из двух значений  $K_d$  (1,88 и 2,06) принято среднее — 1,92. Таким же образом определили среднее балансовое, или близкое к истинному, содержание золота:  $C_{ис} = 8$  г/т.

В ходе гравитационного обогащения ЛТП № 1-кедр была выявлена систематическая ошибка пробирных анализов рядовых бороздовых проб, равная по абсолютной величине 3,94 г/т. Рядовым опробованием содержание золота по разведочному пересечению рудной залежи было занижено почти в 2 раза.

**О природе экспериментальных коэффициентов коррекции и рекомендуемая методика для их вычисления**

В практике геологоразведочных работ коэффициенты коррекции к результатам пробирных анализов обычно принимали минимальными и оценивали первыми десятками процентов. Теоретически возможные значения  $K_d$  ранее не определяли. Автором установлена зависимость  $K_d$  от гранулометрического состава золота в технологической пробе и предложена методика расчета его вероятностного теоретического значения [2].

Лигатурное золото, извлеченное из продуктов обогащения ЛТП №1-кедр, рассевали на фракции на стандартном комплекте сит. Зерна крупностью +1 мм дополнительно измеряли по средней оси под биноклем и подразделяли на более крупные фракции. Гранулометрический состав частиц золота представлен на рис. 2.

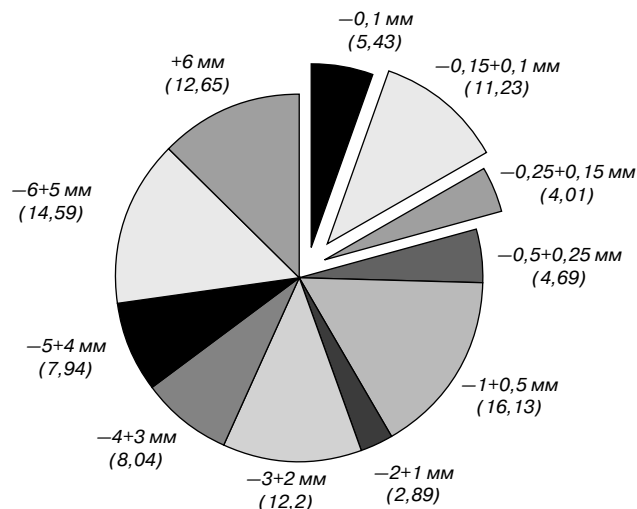
Согласно формуле Ричардса — Четтта, для навесок массой 50 г однородными считаются частицы золота крупностью менее 0,244 мм. Вероятность их попадания в навеску для анализа равна 100 %. Масса таких частиц свободного золота в ЛТП № 1-кедр составляет всего 20,67 % (см. рис. 2). Частицы крупностью -0,5+0,25 мм будут «однородными» только в 250-г навеске. Вероятность попадания таких частиц в 50-г навеску равна 20 %, что составляет в абсолютном

выражении 0,94 % (от 4,69 % массы этого класса). Вероятность попадания частиц крупностью -1+0,5 мм равна 0,83 %, крупностью -2+1 мм — 0,036 %, крупностью -3+2 мм — 0,069 %. Доля самых крупных частиц (-4+3 мм) составляет только 0,025 %, -5+4 мм — 0,016 %, -6+5 мм — 0,021 %, +6 мм — 0,013 %. Сумма приведенных вероятностей попадания свободного золота в 50-г навеску, выделенную для пробирного анализа, равна 22,62 % всей массы золота. По результатам фазового анализа в руде выявлено золото, связанное с сульфидами (19,82 %) и силикатами (6,48 %) [2]. Оно не раскрывается при крупности измельчения -0,16 мм и, по-видимому, фиксируется пробирным анализом с вероятностью 100 %. Общая вероятность (достоверность) определения золота пробирным анализом равна сумме всех перечисленных вероятностей и составляет 48,92 %. Соответственно, для рядовых руд участка Кедровский, представленных ЛТП № 1-кедр, теоретический коэффициент  $K_d$  составит:  $100 \% : 48,92 \% = 2,04$ . Он незначительно отличается от усредненного экспериментального значения  $K_d = 1,92$ .

Приведенные рассуждения и построенная модель распределения частиц золота различной крупности позволяют объяснить занижение содержаний опробованием и оценить достоверность (вероятность) бороздового опробования на участке Кедровский (48,92 %). Такая вероятность достаточна не только для оценки прогнозных ресурсов, но и для подсчета запасов по категории  $C_1$  [1]. Это дает возможность считать основным видом опробования бороздовое со стандартным сечением борозды, а основным видом анализа — пробирный.

Согласно действующей инструкции ГКЗ [3], результаты рядовых пробирных анализов следует заверять контрольными анализами. В случае несходности результатов рядовых и контрольных анализов выполняются арбитражные анализы, по результатам которых определяют систематические ошибки, которые должны быть учтены при подсчете запасов.

Результаты, полученные при обогащении ЛТП № 1-кедр, по представительности опробования превышают



**Рис. 2. Гранулометрический состав свободного золота, извлеченного из продуктов обогащения ЛТП № 1-кедр**

требования к арбитражным анализам. По указанной причине усредненный коэффициент  $K_d$ , учитывающий систематическую абсолютную погрешность определения золота пробирным анализом в рядовых бороздовых пробах, можно использовать для коррекции средних содержаний в рудных телах и разведочных пересечениях при оценке прогнозных ресурсов и запасов золота.

**Зависимость коэффициента  $K_d$  от содержания золота в руде**

Полученные значения  $K_d$ , позволившие почти в 2 раза увеличить содержание золота по 32,7-м разведочному пересечению, охарактеризованному ЛТП № 1-кедр, дали повод для оценки близких к истинным содержаний в контурах всего горизонта рудоносных песчаников, в котором были выявлены еще 6 слабозолотоносных интервалов. С этой целью была составлена ЛТП № 2-кедр массой 948,9 кг, состоящая из совокупного материала 95 бороздовых проб всех, ранее не охарактеризованных рудных интервалов суммарной мощностью 102,1 м. Средневзвешенное содержание золота в ЛТП № 2-кедр по рядовому опробованию составило 1,5 г/т (колебания от 0,1 до 17,05 г/т).

По результатам пробирного анализа продуктов обогащения ЛТП № 2-кедр с учетом свободного золота, пересчитанного на химически чистое по средней пробе 782‰, суммарное извлечение металла гравитационным методом в концентраты, содержащие свыше 50 г/т, достигло 68,2%. Выход концентратов составил 0,7%. В хвосты, содержащие 0,6 г/т, извлечено 24,48% золота. Остальной металл (7,32%) при среднем содержании 2,45 г/т выделен в промпродукты. Балансовое содержание золота в ЛТП № 2-кедр составило 2,27 г/т вместо 1,5 г/т, как было определено по результатам рядового опробования ( $K_d = 2,27 : 1,5 = 1,51$ ).

Результаты пробирных анализов были заверены цианированием 400-г навесок большинства продуктов обогащения этой ЛТП. Технологические показатели гравитационного обогащения при этом несколько изменились. Суммарное извлечение металла в концентраты,

содержащие свыше 50 г/т, с учетом свободного, химически чистого золота, снизилось до 6,6%. В хвосты, содержащие менее 1,1 г/т, извлечено 35,8% золота. Остальное золото (2,6%), при среднем содержании 2,92 г/т, выделено в промпродукты. Балансовое содержание золота в ЛТП № 2-кедр по результатам заверочного цианирования составило 2,6 г/т ( $K_d = 2,6 : 1,5 = 1,73$ ).

Усредненное содержание золота в ЛТП № 2-кедр составило 2,44 г/т ( $K_d = 1,62$ ). Этот показатель оказался меньше, чем в ЛТП № 1-кедр, в которой  $K_d = 1,92$  при усредненном балансовом содержании золота 8 г/т. Выявленная тенденция увеличения коэффициента  $K_d$  при возрастании содержания золота в руде подтвердилась данными (табл. 4), полученными при обогащении крупнообъемных и технологических проб месторождения Федоровское-1.

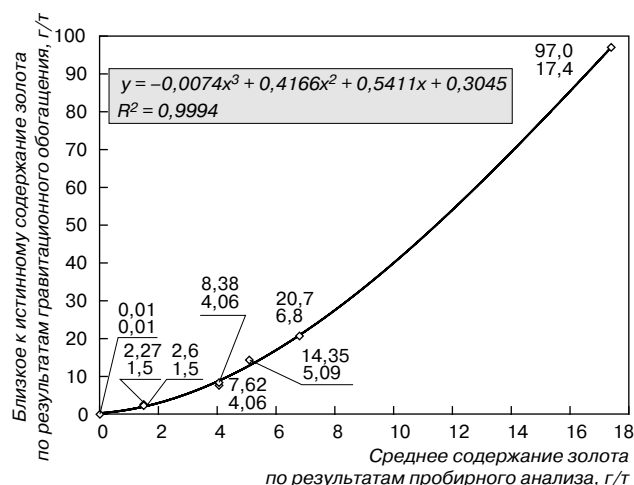
При обогащении полупромышленной технологической пробы массой 23,1 т на фабрике ОАО «Коммунарский рудник» установлено, что балансовое содержание золота составляет 20,7 г/т. По 12 частным пробам, отобраным из технологической пробы, среднее содержание оценивалось в 6,8 г/т (колебания от 0,5 до 36,8 г/т). Среднее содержание в пробе массой 100 кг, составленной из 14 проб, отобранных из той же руды, дробленной до крупности –8 мм, составило 5,03 г/т (колебания от 3,2 до 7,9 г/т), а балансовое содержание по результатам гравитационного обогащения – 14,33 г/т.

Средневзвешенное содержание по результатам рядового бороздового опробования по 82 разведочным пересечениям отработанного блока рудного тела Карьерное (сетка 2,2×2,2 м) составляет 17,4 г/т [2], а по результатам крупнообъемного опробования этого же блока (сетка 5,7×5,7 м) по 13 технологическим пробам – 97 г/т, или в 5,58 раза выше.

Составлены зависимости  $K_d$  и  $C_{ис}$  от средних содержаний, определенных пробирным анализом рядовых бороздовых проб (рис. 3 и 4). Они позволяют с высокой достоверностью аппроксимации (0,9994 и

**Таблица 4. Средние содержания золота в групповых пробах, рассчитанные по рядовым пробам и продуктам гравитационного обогащения**

Число бороздовых проб	Масса групповых ЛТП, т	Среднее содержание золота, г/т		Коэффициент $K_d$
		по результатам пробирных анализов рядовых проб	по результатам пробирных анализов (в числителе) и с учетом цианирования (в знаменателе) продуктов обогащения	
<i>Федоровско-Кедровское рудное поле</i>				
31	0,34	4,06	7,62/8,38	1,88/2,06
97	0,95	1,50	2,27/2,6	1,51/1,73
82	36,2	17,4	97/—	5,58/—
12	23,1	6,8	20,7/—	3,04/—
14	0,1	5,03	14,33/—	2,85/—
<i>Участок Покосный</i>				
35	0,36	0,74	1,71/—	2,32/1,84
49	0,45	0,74	1,43/2,47	1,93/3,34



**Рис. 3. Зависимость среднего содержания золота по результатам гравитационного обогащения (в числителе) от его среднего содержания в рудных телах Федоровско-Кедровского поля по результатам рядового опробования (в знаменателе)**



**Рис. 4.** Зависимость коэффициента  $K_d$  (в числителе) от среднего содержания золота по результатам пробирного анализа рядовых проб (в знаменателе)

0,9792) определять  $C_{ис}$  и  $K_d$  по среднему содержанию золота в разведочных пересечениях и рудных залежах, установленному рядовым опробованием. Следует отметить, что в практике геологоразведочных работ при подсчете запасов обычно используют минимальные значения коэффициента  $K_d$  без учета содержания золота в руде. Рекомендуемая методика, рассматриваемая в статье, дает возможность связать значение  $K_d$  с содержанием золота.

**Практика использования коэффициента  $K_d$  при оценке прогнозных ресурсов рудных залежей**

По уточненным технологическими исследованиями ЛТП № 1-кедр и № 2-кедр данным среднее содержание золота в горизонте 134,8 м составило 3,79 г/т по сравнению с 2,12 г/т, как было установлено по рядовому опробованию (обобщенный коэффициент  $K_d = 1,78$ ). Новые содержания золота, близкие к истинным значениям, удовлетворяют оценочным кондициям (минимальное промышленное содержание 2,2 г/т). Они позволили локализовать крупнообъемную рудную залежь в естественных границах рудоносного горизонта песчаников, а не в контурах его отдельных частей, установленных рядовым опробованием с невысокой достоверностью.

В пределах прослеженных горизонтов рудоносных песчаников горными и буровыми работами на участке Кедровский были выявлены 9 подобных залежей, оконтуренных по четырем вариантам бортовых содержаний. Их суммарные прогнозныe ресурсы с учетом откорректированных содержаний золота возросли в 1,54–2,08 раза. Для объекта, ранее считавшегося не промышленным, прогнозныe ресурсы оценены почти в 100 т золота и утверждены Государственным балансом.

Разведанные запасы окисленных руд месторождения Федоровское-1 до глубины 25 м составили по категориям  $C_1$  и  $C_2$  94,2 и 2572 кг соответственно. В промежутке глубин от 25 до 225 м были оценены прогнозныe ресурсы по категории  $P_1$  первичных руд в ко-

личестве 26,3 т золота при среднем содержании 3,7 г/т. При указанном среднем содержании золота  $K_d = 1,96$  и  $C_{ис} = 7,63$  г/т (см. рис. 3 и 4). Суммарные запасы и прогнозныe ресурсы золота месторождения Федоровское-1, переоцененные автором, достигли 56,6 т при высоком содержании.

В Западных Саянах на участке Покосный Анзас-Кизасского рудного района в конце XX в. по бортовому содержанию 1 г/т была оконтурена залежь прожилково-вкрапленных руд. Ее прогнозныe ресурсы были оценены по категории  $P_1$  в количестве 2640 кг при среднем содержании 1,82 г/т. По результатам обогащения двух ЛТП автором установлен коэффициент  $K_d = 2,38$  (см. табл. 4), что позволило провести оконтуривание залежи по различным вариантам бортового содержания. При бортовом содержании 0,2 г/т контуры ранее выявленной залежи изменились. Она предстала как крупнообъемный объект с прожилково-вкрапленными золотосульфидно-кварцевыми рудами. При близком к истинному содержанию 1,62 г/т ее прогнозныe ресурсы теперь оцениваются в 87,2 т золота до глубины 240 м. Подобный крупнообъемный объект со средним содержанием 1,1 г/т успешно отрабатывает на смежной территории Монголии компания «Бороо».

**Заключение**

Изложенные в статье методические и практические приемы определения коэффициента  $K_d$  могут применяться для переоценки многих объектов России, в которых содержание золота по разведочным пересечениям ранее было занижено, а сами объекты на долгие годы были ошибочно исключены из активной сферы геологоразведочных работ.

*Список литературы*

1. Каждан А. Б. Разведка месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра, 1977.
2. Коньшев В. О. Пути повышения достоверности опробования руд с крупным золотом // Руды и металлы. — 2007. — № 2.
3. Методическое руководство по применению классификации запасов к золоторудным месторождениям. — М.: Изд-во МПР РФ, ГКЗ, 1999. **ГМК**

E-mail: nms@tsnigri.ru

**CALCULATION OF CORRECTION RATIO OF TRUST-WORTHINESS OF TESTING OF ORE DEPOSITS WITH LARGE-SIZE GOLD**

**Konyshov V. O.**

Methodic techniques for estimation of close-to-real gold content in ore deposits with large-size gold are presented. Relationship between correction ratio on results of assay analysis and gold content in ore is revealed. The results of recalculation allow to estimate again predicted resources of deposits.

**Key words:** ore gold, large-size gold, assay analysis, correction ratio, real content, gold resources.