

ЦЕНТРОБЕЖНАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ И ФЛОТАЦИЯ ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ ЗОЛОТА ИЗ РУДЫ ВОРОНЦОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Анциферова С.А., Маркосян С.М.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Красноярск, Россия (660036, Красноярск, Академгородок, 50, строение 24), E-mail: smarkosyan@rambler.ru

Приведены результаты исследований по изучению эффективности гравитационного и флотационного извлечения золота из пробы руды Воронцовского месторождения с использованием метода центробежной концентрации (ИТОМАК – КН 0,1П), а также аполярной добавки – сернисто-ароматического концентрата (САК) к традиционному реагенту-собирателю – бутиловому ксантогенату калия (БКК). Исследования проводились на пробе, химический состав которой свидетельствует о её золотонности (Au-9,1 г/т), малой сульфидности (S-4,38 %). Основной рудный минерал в пробе – пирит, пустая порода представлена кварцем и кальцитом. В пробе присутствует тонкое свободное самородное золото (менее 0,045 мм), а также тонкодисперсное золото (менее 0,02 мм), заключенное в тонковкрапленных сульфидных минералах. В результате гравитационного обогащения в общий концентрат извлекается 15,07 % золота с массовой долей 64,03 г/т. При флотационном обогащении с использованием композиции БКК/САК с соотношением расходов реагентов 200/100 г/т извлечение золота в концентрат основной сульфидной флотации возрастает на 3,26 %. Получен сульфидный концентрат с массовой долей золота 58,6 г/т.

Ключевые слова: золото, пирит, центробежная концентрация, флотация, сернисто-ароматический концентрат, извлечение.

CENTRIFUGAL CONCENTRATION AND FLOTATION FOR THE RECOVERY OF GOLD FROM ORE OF VORONTSOV MINE

Antsiferova S.A., Markosyan S.M.

Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS, Krasnoyarsk, Russia, (660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok 50/24), E-mail: smarkosyan@rambler.ru

The results of the studies on the efficiency of the gravity and flotation gold extract from ore sample of Vorontsov mine using the centrifugal concentration (ITOMAK – KN 0,1 P) and apolar addition of sulfur-aromatic concentrate (SAC) to traditional reagent-collector – the potassium butyl xanthogen (PBX) are presented. Studies were conducted on the sample, the chemical composition which is an indication of gold content (Au and 9,1 g/t), low sulphinate (S-4,38 %). The main ore mineral – pyrite, gangue is presented of quartz, calcite. The sample contains slim free native gold (less than 0,045 mm), and fine gold (less than 0.02 mm), enclosed in finely disseminated sulphide minerals. As a result of gravity separation in general concentrate is recovered 15,07 % of gold with a mass fraction 64,03 g/t. In flotation enrichment with the use of the composition PBX / SAC with relationship of consumptions of reagents 200/100 g/t, gold recovery in concentrate of the main sulphide flotation increases by 3.26 per cent. The sulphide concentrate with a mass fraction of gold in 58.6 g/t is received.

Keywords: gold, pyrite, centrifugal concentration, flotation, sulphur-aromatic concentrate, recovery.

Воронцовское золоторудное месторождение, отрабатываемое в настоящий момент открытым способом, по объему запасов относится к классу крупных. По ряду геолого-геохимических параметров это месторождение многими исследователями отнесено к «карлинскому» типу. Широко известный в мировой литературе «карлинский» («невадийский») тип месторождений является одним из ведущих в мире, как по запасам золота, так и по количеству объектов. Для данного типа месторождений характерно наличие золото-сульфидной минерализации, представленной тонкозернистыми сульфидами с

субмикронным или изоморфным золотом, а также аргиллизитовый тип околорудного метасоматоза. В качестве одного из компонентов в руде присутствует рассеянное углеродистое органическое вещество (РОВ) [1,4].

Руды подобного вещественного состава считаются упорными и обычно перерабатываются по гидрометаллургическим технологиям с возможным предварительным выделением золота в сульфидный концентрат с использованием гравитационно-флотационных способов обогащения [3].

Среди гравитационных способов обогащения особого внимания заслуживает центробежная концентрация, которая обеспечивает высокие показатели по производительности аппаратов и эффективное разделение мелких и тонких частиц.

Одним из методов повышения технологических показателей флотации сульфидных золотосодержащих руд является применение дополнительных собирателей в качестве интенсифицирующих добавок к сульфидрильным собирателям [2].

Цель настоящей работы – исследование возможности получения гравитационного концентрата с использованием метода центробежной концентрации, а также влияния совместного использования сернисто-ароматического концентрата (САК) и бутилового ксантогената калия (БКК) на эффективность извлечения золота во флотационный концентрат из руды Воронцовского месторождения.

Материалы и методы

Подготовка исходного материала пробы руды Воронцовского месторождения к технологическим исследованиям осуществлялась по классической методике, включающей последовательное дробление руды в замкнутом цикле с грохочением до крупности -2+0 мм, перемешивание, квартование, сокращение до навесок массой в 1 кг.

Исходный материал и продукты обогащения исследовались с помощью пробирно-атомно-абсорбционного, атомно-эмиссионного, рентгено-фазового методов анализа, электронной микроскопии (сканирующий электронный микроскоп ТМ-1000, оснащенный рентгеноспектральным анализатором).

Лабораторные опыты по изучению возможности извлечения золота из пробы руды Воронцовского месторождения методом центробежной концентрации проводились на аппарате ИТОМАК-КН-0,1П. Эффективность способа при извлечении тонкого золота с использованием конструкции «ИТОМАК» подтверждена многочисленными исследованиями и доказана практикой [5].

Флотационные опыты осуществлялись в машине 135-Д-ФЛ с объёмом камеры 3 л. Образец САК получен из высокосернистой дизельной фракции товарной нефти южного Узбекистана методом двухступенчатой экстракции раствором хлорида цинка в N,N-

диметилформамиде. Ранее проведенными исследованиями установлена возможность эффективного использования САК в композиции с БКК при флотационном доизвлечении золота из хвостов гравитационного цикла, содержащих тонкодисперсное золото [2].

Навески руды массой в 1 кг измельчались в шаровой мельнице до крупности 98,7 % класса -0,074 мм (91,5 % кл. -0,044 мм). БКК и пенообразователь (Т-92) подавались в процесс в виде 1 %-ых растворов, САК – в виде 0,5 %-ой водной эмульсии, приготовленной с помощью ультразвукового диспергатора.

Результаты и их обсуждение

Химический состав пробы, представленный данными пробирно-атомно-абсорбционного и атомно-эмиссионного методов анализа, свидетельствует о её золотоносности (Au-9,1г/т), малой сульфидности (S - 4,38%), а также о наличии нерудных минералов, содержащих кремний, алюминий, калий, кальций, железо.

Данные по химическому составу пробы согласуются с результатами рентгено-фазового анализа. При идентификации дифрактограмм в пробе выявлены следующие минеральные фазы: основной рудный минерал – пирит, пустая порода – кварц, кальцит, присутствует анкерит. 1,5 % от общего содержания углерода составляет $C_{орг}$.

Распределение элементов по классам крупности (табл. 1) указывает на возможное присутствие в пробе тонкого самородного золота (менее 0,045 мм), его связь с тонковкрапленными сульфидными минералами, а также на наличие тонкодисперсного золота (менее 0,02 мм), заключенного в сульфидах и твердых минералах пустой породы.

Таблица 1

Гранулометрический состав пробы руды Воронцовского месторождения с распределением элементов по классам крупности

№	Фракция, мм	Выход, %	Содержание, % ; (Au, г/т)			Распределение, %		
			Au	S	C	Au	S	C
1	-2,0 + 1,0	33,82	8,6	4,29	1,31	31,89	33,08	23,26
2	-1,0 + 0,5	18,16	8,2	4,16	1,51	16,28	17,23	14,4
3	-0,5 + 0,25	12,81	8,6	3,9	1,59	12,08	11,39	10,7
4	-0,25 + 0,125	9,43	8,9	3,57	1,68	9,2	7,68	8,32
5	-0,125 + 0,071	4,74	9,8	3,89	1,83	5,09	4,2	4,55
6	-0,071 + 0,045	3,86	10,3	5,31	2,12	4,36	4,67	4,29
7	-0,045+0,02	6,02	14,72	11,02	3,38	9,72	15,13	10,69
8	-0,02	11,16	9,3	2,6	4,06	11,38	6,62	23,79
9	Руда: -2+0	100,0	9,12	4,39	1,9	100,0	100,0	100,0

Наличие свободного самородного золота в гравитационном концентрате подтверждено фотографиями, полученными с помощью электронного микроскопа (рис.1).

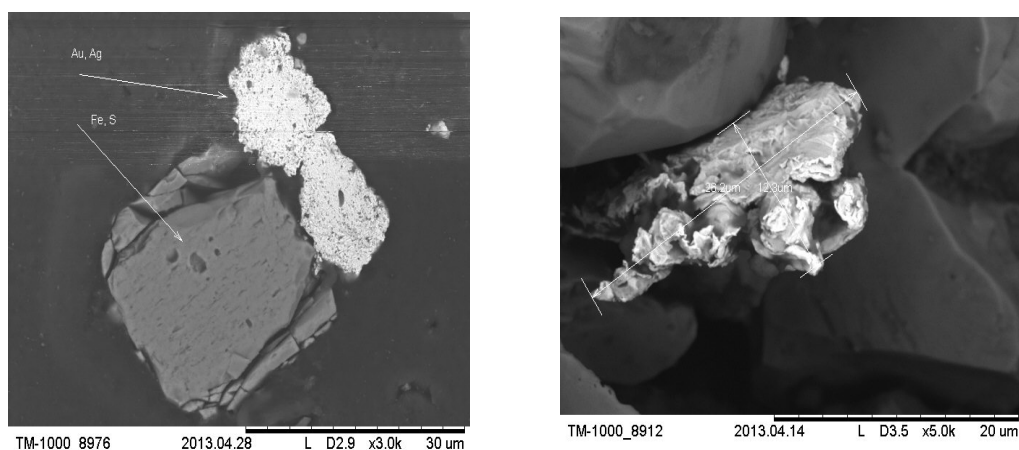


Рис. 1. Фотографии образцов гравитационного концентрата, полученного при обогащении руды Воронцовского месторождения

Оценочные опыты с использованием центробежного концентратора по влиянию расхода промывочной воды на технологические показатели процесса при различной степени измельчения проводились на неклассифицированном материале пробы крупностью $-0,5+0$ мм. Степень измельчения определялась выходом класса $-0,044$ мм. Результаты опытов показали, что расход воды более $1,7$ м³/час является избыточным, т. к. сопровождается повышенным содержанием золота в хвостах. Лучшие технологические показатели получены при расходе промывочной воды $1,7$ м³/час при степени измельчения $91,5$ % класса $-0,044$ мм.

Результаты пробирного анализа различных фракций продуктов обогащения, приведенные в таблице 2, показали целесообразность построения схемы обогащения со стадийным измельчением по классу $-0,074$ мм (во избежание больших потерь золота со шламами) и отдельным обогащением фракций $-0,074+0,044$ мм и $-0,044+0,02$ мм, а также необходимость корректировки расходов промывочной воды (рис. 2).

Таблица 2

Влияние содержания класса $-0,044$ мм в питании на фракционный состав продуктов обогащения с распределением золота по классам крупности при расходе промывочной воды $1,7$ м³/час

Продукт (фракция)	52 % класса $-0,044$ мм			77 % класса $-0,044$ мм			91,5 % класса $-0,044$ мм		
	Выход, %	Массовая доля Au, г/т	Распределение, %	Выход, %	Массовая доля Au, г/т	Распределение, %	Выход, %	Массовая доля Au, г/т	Распределение, %
Концентрат: $+0,074$ мм	12,34	10,35	14,04	1,83	23,68	4,76	0,42	28,9	1,34
$-0,074+0,044$ мм	1,35	25,2	3,74	0,82	32,3	2,91	0,32	67,78	2,4
$-0,044$ мм	1,13	43,9	5,45	0,97	51,3	5,47	0,46	132,6	6,74
Итого: концентрат	14,82	14,26	23,23	3,62	33,06	13,14	1,2	79,03	10,48
Хвосты: $+0,044$ мм	37,51	6,72	27,71	23,62	6,43	16,7	8,71	6,58	6,33
$-0,044+0,02$ мм	19,35	10,8	22,97	25,9	9,99	28,44	31,14	9,6	33,03
$-0,02$ мм	28,32	8,38	26,09	46,86	8,1	41,72	58,95	7,7	50,16
Итого: хвосты	85,18	8,2	76,77	96,38	8,2	86,86	98,8	8,2	89,52

Руда	100	9,1	100	100	9,1	100	100	9,05	100
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----

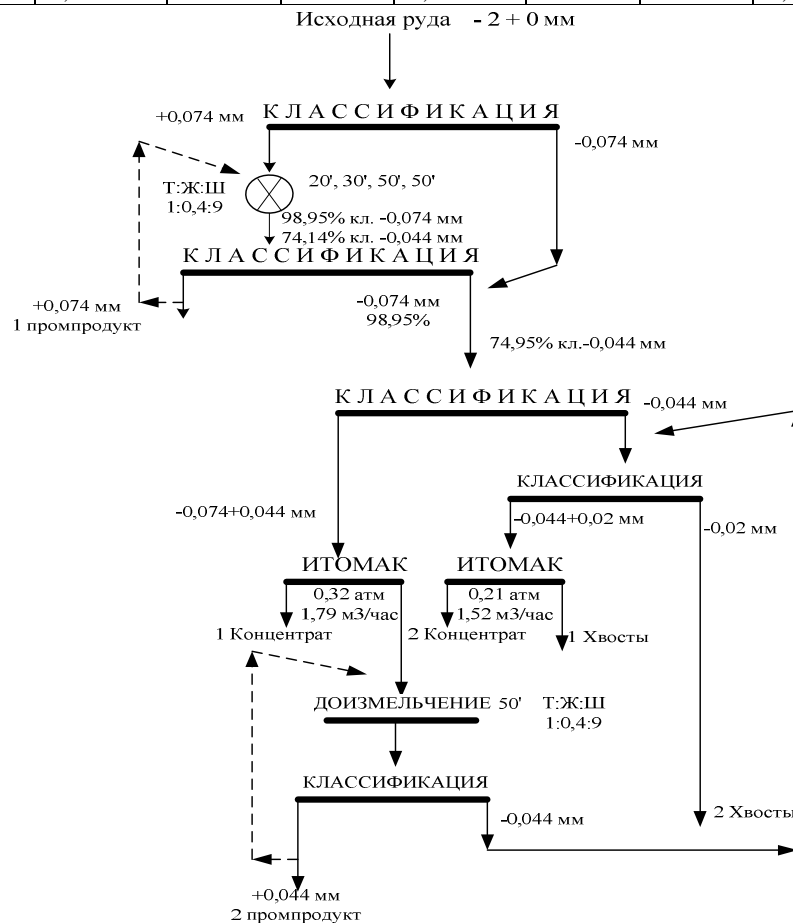


Рис.2. Схема гравитационного извлечения золота из пробы руды Воронцовского месторождения методом центробежной концентрации

В результате реализации данной схемы в общий концентрат извлекается 15,07 % золота с массовой долей 64,03 г/т (табл. 3). Богатые хвосты (7,91 г/т) требуют доработки.

Таблица 3

Технологические показатели гравитационного обогащения пробы руды Воронцовского месторождения с использованием метода центробежной концентрации (концентратор – ИТОМАК - КН – 0,1П)

Продукты обогащения	Выход, %	Массовая доля Au, г/т	Распределение, %
1 Концентрат	0,86	48,02	4,54
2 Концентрат	1,28	74,79	10,53
Общий концентрат	2,14	64,03	15,07
1 Хвосты	35,62	8,46	33,16
2 Хвосты	59,94	7,57	49,89
Общие хвосты	95,56	7,91	83,05
1 Промпродукт	1,05	9,92	1,15
2 Промпродукт	1,25	5,34	0,73
Общий промпродукт	2,3	7,43	1,88
Руда	100,0	9,09	100,0

На рисунках 3 и 4 показаны кинетические зависимости, полученные в результате сравнительных флотационных опытов с использованием в качестве собирателей БКК (кр.

1,2), БКК/САК (кр.3), а также с использованием БКК/САК при введении в процесс модификаторов флотации (Na_2CO_3 и Na_2S).

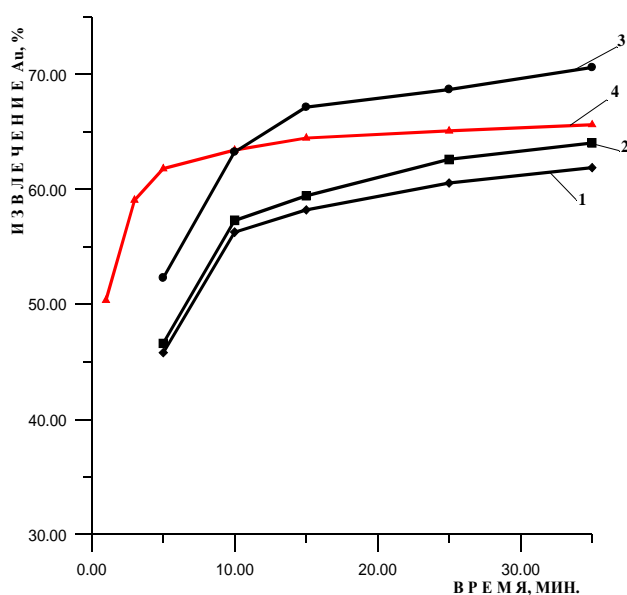


Рис.3. Влияние времени флотации на извлечение Au в концентрат: 1- БКК- 200 г/т; 2- БКК- 300 г/т; 3- БКК/САК- 200/100 г/т; 4- БКК/САК- 200/100 г/т с Na_2CO_3 и Na_2S

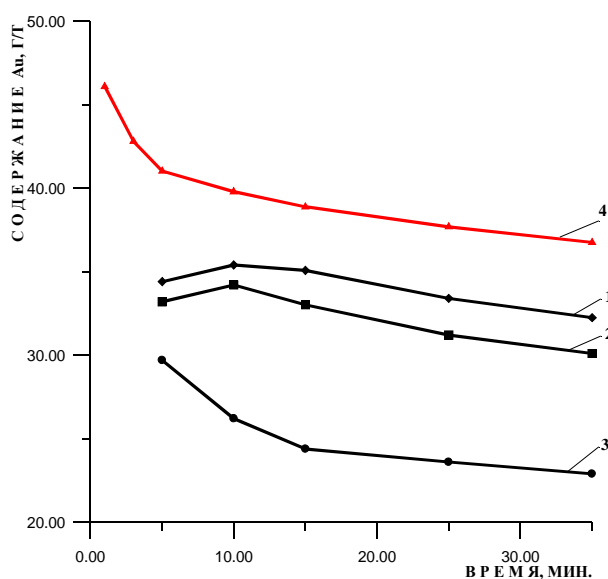


Рис.4. Влияние времени флотации на содержание Au в концентрате: 1- БКК- 200 г/т; 2- БКК- 300 г/т; 3- БКК/САК- 200/100 г/т; 4- БКК/САК- 200/100 г/т с Na_2CO_3 и Na_2S

Совместное использование БКК и САК в соотношении 200/100 г/т обеспечивает более высокую скорость и значительный прирост извлечения на протяжении всего времени флотации по сравнению с БКК. Однако рост извлечения сопровождается резким снижением содержания золота в концентрате, что, возможно, связано с активизацией флотации сростков (кр. 3). Флотация с БКК и САК становится более селективной, чем с одним БКК, при подаче в измельчение модификаторов.

Эффективность использования композиции БКК/САК подтверждается технологическими показателями (табл. 4), полученными в результате сравнительных флотационных опытов, проведенных по схеме, изображенной на рис.5.

Таблица 4

Влияние состава композиции БКК/САК на технологические показатели флотации в открытом цикле

Продукты	Выход, %	Массовая доля Au, г/т	Массовая доля С, %	Извлечение, %	Расход реагентов по операциям: БКК/САК; Т-92, г/т
1 концентрат (2-ой пере-чистки)	7,04	55,9	0,23	45,53	
1+2 промпродукты	4,75	21,74		11,94	
Концентрат основной сульфидной флотации	11,79	42,14		57,47	130/0; 100
2 концентрат	2,36	15,6		4,26	40/0;30

3 концентрат	1,59	12,0		2,21	30/0; 20
Хвосты	84,26	3,7		36,06	
Руда	100,00	8,65		100,0	
1 концентрат (2-ой пере- чистки)	7,75	58,6	0,28	51,65	
1+2 промпродукты	5,05	15,81		9,08	
Концентрат основной суль- фидной флотации	12,8	41,72		60,73	130/65; 100
2 концентрат	3,09	11,2		3,94	40/20;30
3 концентрат	1,5	8,88		1,51	30/15; 20
Хвосты	82,61	3,6		33,82	
Руда	100,0	8,79		100,0	

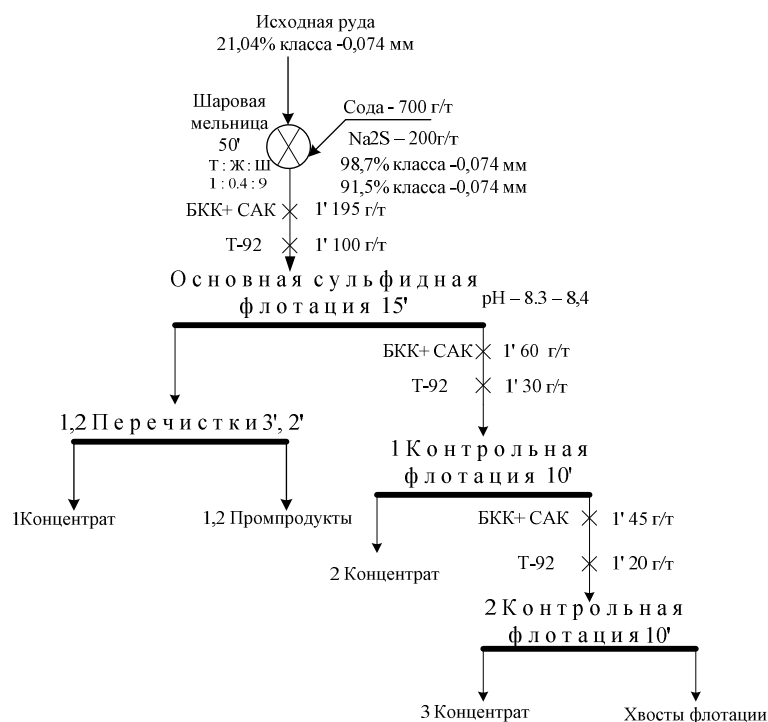


Рис.5. Схема флотационного извлечения золота из пробы руды Воронцовского месторождения в открытом цикле с использованием в качестве собирателя БКК (200 г/т) и композиции БКК/САК в соотношении 200/100 г/т

При использовании в качестве собирателя композиции БКК/САК с соотношением расходов реагентов 2/1 (200/100 г/т) извлечение золота в концентрат основной сульфидной флотации увеличилось на 3,26 %. В результате двух перечистных операций получен сульфидный концентрат с массовой долей золота 58,6 г/т.

Заключение

Особенности вещественного состава представленной к исследованиям пробы руды Воронцовского месторождения, в большей степени связанные с тонкой вкрапленностью золота в рудообразующих минералах и наличием углеродсодержащего вещества, характеризуют её как упорную, требующую специального подхода в выборе технологии переработки.

В результате гравитационного обогащения с использованием ИТОМАК-КН-0,1П по схеме со стадийным измельчением исходной руды до 98,95 % кл. -0,074 мм и выделением материала крупностью -0,074+0,044 мм и -0,044+0,02 мм в отдельные фракции, в общий концентрат извлекается 15,07 % золота с массовой долей 64,03 г/т.

Установлена возможность эффективного использования сернисто-ароматического концентрата в композиции с бутиловым ксантогенатом калия при флотационном извлечении золота из материала крупностью 98,5 % класса -0,074 мм. При использовании композиции БКК:САК=200:100 (г/т) извлечение золота в концентрат основной сульфидной флотации возрастает на 3,26 %. В результате двух перечисток получен сульфидный концентрат с массовой долей золота 58,6 г/т при извлечении 51,6 %.

Список литературы

1. Азовскова О.Б., Ровнушкин М.Ю., Корякова О.В., Янченко М.Ю. Органическое вещество в рудах и вмещающих породах Воронцовского месторождения // Ежегодник 2010. Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 2011. – С. 46-51.
2. Анциферова С.А., Самойлов В.Г., Мин Р.С., Суворова О.Н. Влияние сернисто-ароматического концентрата нефти на технологические показатели флотации при обогащении золотосодержащей руды // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 4. – С. 181-188.
3. Захаров Б.А., Меретуков М.А. Золото: упорные руды. – М.: Руда и металлы, 2013. – 452 с.
4. Мурзин В.В., Сазонов В.Н., Ронкин Ю.Л. Модель формирования Воронцовского золоторудного месторождения на Урале (карлинский тип): новые данные и проблемы // Литосфера. – 2010. – № 6. – С. 66-73.
5. Орлов Ю.А., Афанасенко С.И., Лазариди А.Н. Рациональное использование центробежных концентраторов при обогащении золоторудного сырья // Горный журнал. – 1997. – № 11. – С. 57-60.

Рецензенты:

Патрушева Т.Н., д.т.н., профессор, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск;

Андриевский А.П., д.т.н., в.н.с., ФГБУН ИХХТ СО РАН, г. Красноярск.