ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(2):139-151
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.765 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-139-151

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛИХОВОГО ЗОЛОТА В КАЧЕСТВЕ МИНЕРАЛОВ-НОСИТЕЛЕЙ ПРИ ФЛОТАЦИИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД

С.И. Евдокимов[1], Т.Е. Герасименко[1]

[1] Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Россия, e-mail: eva-ser@mail.ru

Аннотация: Из теории устойчивости гидрофобных коллоидов следует преимущественная агрегация частиц, отличающихся размером. Вероятность соударения мелких частиц с поверхностью крупной выше, чем вероятность агрегации частиц примерно равного размера. Установлено, что взаимодействие частиц отличается избирательностью: числа адгезии достигают максимального значения при прилипании частиц к подложкам одинаковой с ними фильности (смачиваемости). Исходя из закономерностей агрегации в полидисперсной минеральной системе, подготовленные к флотации с помощью собирателя относительно крупные частицы, например, золота, могут служить минералом-носителем для мелкого и тонкого рудного золота. Относительно крупное золото, используемое в качестве минерала-носителя, целесообразно выделять из россыпей, в том числе техногенных. В этом случае удается решить две проблемы. Во-первых, получают требуемое количество минерала-носителя с высокими флотационными свойствами. Во-вторых, совместная переработка техногенной россыпи и рудного золота обеспечивает получение обобщенной прибыли, в то время как индивидуальное освоение техногенной россыпи часто убыточно. Показано, что применение при флотации в качестве минералов-носителей самородного золота, выделенного из песчано-гравийной смеси, обеспечивает увеличение извлечения золота в концентрат. Прирост извлечения золота происходит за счет снижения потерь мелких классов рудного золота с отвальными хвостами. Из результатов исследования кинетики прилипания частиц следует, что причиной образования агрегатов при использовании в качестве минералов-носителей относительно крупного самородного золота является большая вероятность их соударения с мелким рудным золотом при меньшем времени индукции.

Ключевые слова: руда, россыпь, золото, извлечение, гравитация, флотация, минералы-носители, прилипание, кинетика.

Для цитирования: *Евдокимов С. И., Герасименко Т. Е.* Использование шлихового золота в качестве минералов-носителей при флотации золотосодержащих руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 2. – С. 139–151. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-139-151.

Use of placer gold as mineral carrier in flotation of gold ore

S.I. Evdokimov[1], T.E. Gerasimenko[1]

[1] North Caucasus Mining-and-Metallurgy Institute (State Technological University), Vladikavkaz, Republic of North Ossetia-Alania, Russia, e-mail: eva-ser@mail.ru

© С.И. Евдокимов, Т.Е. Герасименко. 2020.

Abstract: It follows from the stability theory of hydrophobic colloids that mostly particles of different size aggregate. Probability of collision of fines with large surface is higher than probability of aggregation of equal size particles. It is found that interaction of particles features selectivity: adhesion numbers reach maximal values when particles attach to bearing surfaces of the same wettability. Based on the laws of aggregation in polydisperse mineral systems, comparatively big particles of gold, for instance, prepared to flotation using collectors, can serve as mineral carriers for finer gold. This comparatively big gold to act as mineral carrier is advised to be extracted from placers, including waste piles. In this case, two problems are solvable. First, the required amount of the mineral carrier of high floatability can be produced. Second, joint processing of natural gold ore and waste material offers an aggregate profit while separate treatment of waste piles is often loss-making. It is shown that flotation with mineral carrier represented by free gold from sand-and-gravel mixture ensures higher gold recovery in concentrate. The increment in extraction of gold takes place owing to reduced loss of fine gold in tailings. The studies into adherence kinetics of particles yield that the cause of aggregation in case of using relatively coarse free gold as mineral carrier is high probability of collision between these coarse particles and gold fines at a shorter time of induction.

Key words: ore, placer, gold, recovery, gravity, flotation, mineral carriers, adhesion, kinetics.

For citation: Evdokimov S. I., Gerasimenko T. E. Nazvanie. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(2):139-151. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-139-151.

Введение

При флотации процесс сближения крупных частиц с пузырьком обеспечивается инерционными силами, а в случае малых частиц этот процесс протекает без участия сил инерции — безынерционно. Причем он сильно затруднен дальним гидродинамическим взаимодействием, при котором траектория безынерционного движения частицы совпадает с линией тока жидкости. Низкая вероятность соударения малых частиц с поверхностью пузырька является причиной роста потерь минералов при флотации с уменьшением их размера [1].

До 10—40% извлеченных из недр металлов теряют с отвальными хвостами, в том числе в виде трудно флотируемых классов крупности. Снижение потерь металлов для предприятий является актуальной проблемой, решение которой обеспечит рост производства товарной продукции [2].

При исследовании сил контактных взаимодействий твердых частиц в жидкой среде измерением прилипания микроскопических частиц к полированной поверхности пластинки из того же или стандартного материала Г.И. Фукс подтвердил вывод Б.В. Дерягина о том, что по аналогии с избирательным смачиванием отмечается избирательное прилипание [3]. Избирательное прилипание приводит к тому, что числа адгезии достигают максимального значения при прилипании друг к другу частиц с одинаковым краевым углом смачивания.

Так, число прилипания по Бузагу (равное отношению числа частиц, оставшихся на пластинке при повороте пластинки на 180° к их начальному количеству) стеклянных частиц (размером 5—7 мкм) к пластинке кварца в воде или в разбавленных растворах электролитов составляет 0,75—0,95, в то время как у частиц серебра и графита того же размера оно не превышает 0,15—0,20 и 0,05—0,10 соответственно [3].

Избирательное прилипание используют для адгезионного фракционирования смешанных суспензий гидрофильных и гидрофобных частиц. Сущность метода «флотации с минералом-носителем» («флотации твердой стенкой») [4—6] за-

ключается в селективной флокуляции мелких частиц на вспомогательном минерале-носителе с последующей флотацией образовавшихся агрегатов. В полупромышленных условиях получен 22—24%-ный концентрат P_2O_5 без перечисток, с использованием в качестве носителя концентрата песковой части. Извлечение составило 90—96%.

Для повышения извлечения тонких частиц вольфрамита рекомендовано применение в качестве минерала-носителя обработанных собирателем крупных частиц вольфрамита. Мелкое и тонкое золото из руд и россыпей извлекают, загружая в виде носителя активированный уголь в количестве 1—10% от объема пульпы [7], коксующийся каменный уголь крупностью не более 0,8 мм [8], бутадиеновый каучук и технический углерод [9]. При обогащении касситеритовых, фосфатных и золотосодержащих руд в качестве носителя используют полиолефиновые концентраты в количестве 0,04—0,10 г/г твердой фазы [10].

Идея работы — при обогащении золотосодержащих руд для повышения извлечения мелкого золота использовать россыпное золото в качестве минераланосителя.

Материалы и методы

Объектом исследования является песчано-гравийное месторождение, расположенное в пойме р. Терек (РСО-Алания) и содержащее россыпное золото. Добычные работы осуществляли землесосом, который подавал песчано-гравийную смесь на скруббер-бутару (рис. 1). Класс крупности +20 мм выводили в отвал, песок крупностью +2 мм выкладывали на карты, а материал крупностью –2 мм направляли на обогащение на винтовых сепараторах с доводкой тяжелой фракции на концентрационных столах (рис. 2).

Концентрат стола представляет собой сыпучий материал беловато-серого цвета, характеризующийся незначительными колебаниями минералов по круп-

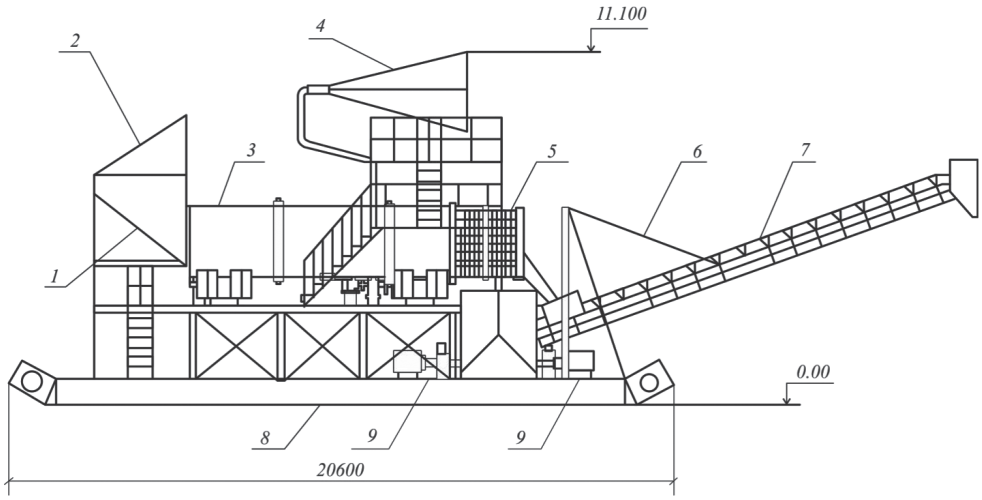

Рис. 1. Модуль первого приема обогащаемых песков: 1, 2 — приемный бункер с колосниковой решеткой; 3 — скруббер; 4 — барабанный грохот; 5, 6 — конвейер с регулируемым углом наклона; 7 — опорная рама (сани); 8 — песковые насосы

Fig. 1. The module for the first intake of enriched sand: 1, 2 — receiving hopper with a grate; 3 — scrubber; 4 — drum screen; 5, 6 — conveyor with an adjustable angle of inclination; 7 — supporting frame (sled); 8 — sand pumps

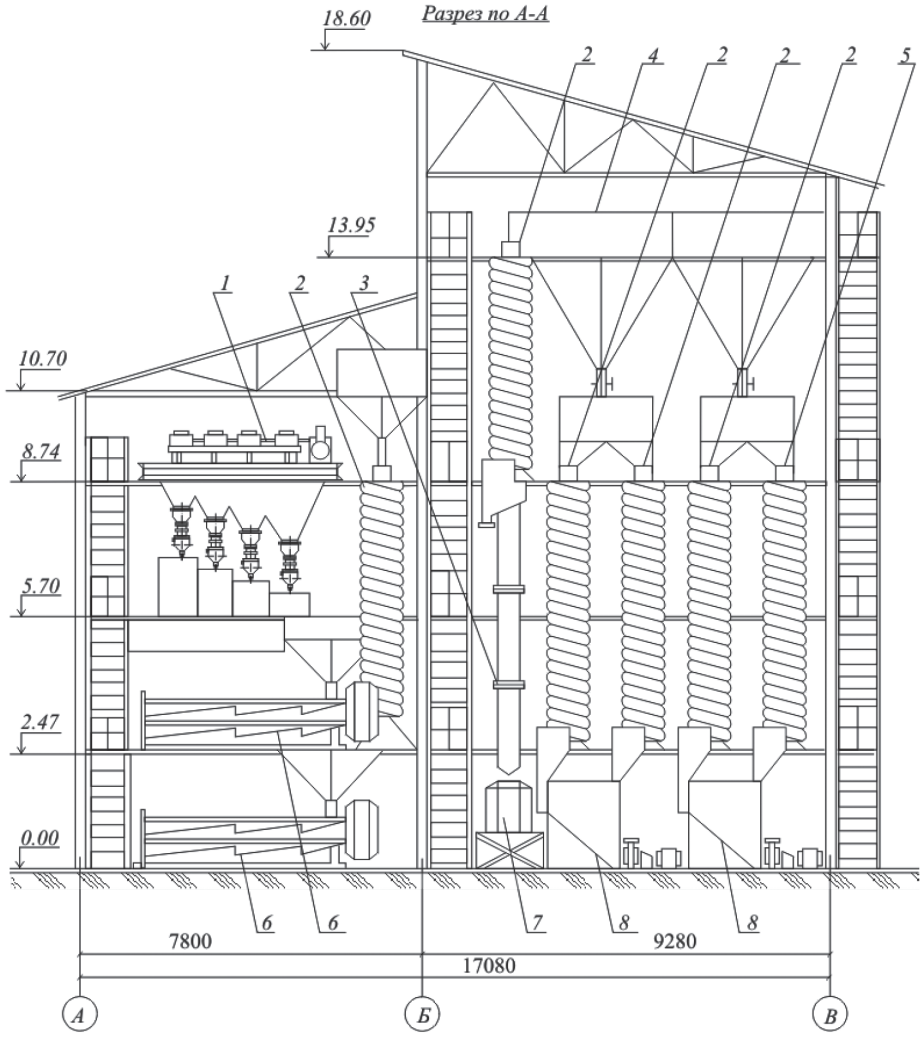

Рис. 2. Разрез модуля второго приема обогащаемых песков: 1 — четырехкамерный гидроклассификатор; 2 — винтовой сепаратор; 3 — колонная флотомашина; 4 — пирамидальный сгуститель; 5 — пульподелитель; 6 — концентрационный стол; 7 — шлюз мелкого наполнения; 8 — зумпф с песковым насосом

Fig. 2. Section of the second intake module of enriched sands: 1 — four-chamber hydroclassifier; 2 — screw separator; 3 — column flotation machine; 4 — pyramidal thickener; 5 — pulp splitter; 6 — concentration table; 7 — gateway shallow filling; 8 — sump with sand pump

ности. В составе концентрата наиболее распространенными минералами являются магнетит, кварц, барит, биотит, мусковит, рутил, циркон, турмалин, сфен, ильменит, пирит, халькопирит, галенит, в редких случаях отмечается киноварь. Для визуализации частиц самородного золота и определения его морфометрических параметров на материале концентрата стола проведен ситовой анализ (табл. 1).

Каждый класс крупности подвергали предварительному гравитационному концентрированию в воде с получением

Таблица 1

Выход классов крупности
Obtaining fractions of different sizes

№ п/п	Класс крупности, мм	Выход класса крупности, %
1	+0,50	5,3
2	–0,50+0,25	67,57
3	–0,25+0,10	19,04
4	–0,10+0	8,09
Итого		100,00
Содержание Au, г/т		2321,74

фракций минералов с плотностью более 4,8 г/см^3, которые после объединения подвергали магнитно-гравитационному фракционированию в воде. В результате получена «золотая головка». Содержание золота в концентрате стола было определено весовым методом и составило 2321,74 г/т.

Анализ минералов в аншлифах осуществляли с использованием сканирующего электронного микроскопа «Jeol JSM-6480LV» с комбинированной системой рентгеноспектрального микроанализа на базе энергодисперсионного «INKA-Energy 350» и волнового дифракционного четырехкристалльного спектрометра «INKA-Wave 500». Содержание золота в пробе определялось методом искровой масс-спектрометрии индуктивно-связанной плазмы. Микровключения в золоте, его пробу и элементы-примеси определяли на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ELAN DRC-E6100. Массу продуктов обогащения определяли с помощью электронных весов марок MW-T 150×0,001g и CASBEE 1200×0,1g.

Самородное золото характеризуется пластинчатой, изометричной и овальной формой. В редких случаях отмечаются частицы в виде таблеток и веретенообразной формы слабой и средней степенью окатанности. Частицы золота со слабо выраженной рельефной поверхностью, углубления которой выполнены тонкодисперсными гидроксидами железа и глинистыми образованиями. Цвет частиц золота — ярко-желтый, некоторые индивиды частично покрыты буроватыми пленками гидроксидов железа. Самородное золото преимущественно свободно от сростков, в единичных случаях наблюдаются рядовые и богатые сростки с сульфидами (пирит, галенит) и породообразующими минералами. Крупность частиц золота от 0,08 до 0,25 мм, в единичных случаях встречаются частицы более 500 мкм, а максимальный размер достигает 710 мкм.

Проба золота имеет два пика. Один из них соответствует относительно низкопробному золоту (пик его пробы 740—780‰), а второй — и высокопробному (пик его пробы 925—975‰). Низкопробное золото — слабо окатанное (рудного облика). Его поверхность содержит микровключения кварца и кальцита; выявлены сульфиды (в виде пирита, арсенопирита, халькопирита, сфалерита и галенита), рутил и циркон, а также минералы, содержащие Sr, Nb, и редкоземельные элементы (La, Ce). Включения пирита с примесью мышьяка (1,28—3,29%) имеют шестигранную идиоморфную и неправильную угловатую форму размером от 3 до 10 мкм. Хорошо окатанное золото — высокопробное. Причем проба золота практически не изменяется от центра зерна к его периферии. На поверхности золотин гидроокисиды железа иногда образуют небольшие пленки. Масса пла-

стинки золота размером –0,50+0,25 мм и толщиной 0,1—0,8 мм составляет 0,769 мг, размером –0,25+0,10 мм — 0,0248 мг, размером –0,10+0 мм — 0,00737 мг.

Низкопробное золото имеет повышенное содержание Zn, Pb, Ag, Ba, W и Sn; в высокопробном золоте отмечено низкое содержание Zn, Pb и Ag и наличие Cu, Pt, As, Co, Bi.

Объектом исследования являлись также руды Наталкинского месторождения Омчакского золоторудного узла. Рудная минерализация представлена сульфидами и золотом. Массовая доля сульфидов не превышает 3%. Основными минералами-носителями золота являются кварц, арсенопирит (от 0,02 до 0,4%) и пирит. Содержание меди, цинка, никеля и свинца — не более сотых единиц процента. Углистое вещество представлено жилками, чешуйками и тонкодисперсными агрегатами. Содержание золота крупностью < 25 мкм составляет 52,5% от исходного содержания. Основная масса золотин (77,8%) представлена частицами размером < 3 мкм. Доля частиц крупностью 20—25 мкм — 7,4%. При измельчении руды основная масса драгоценного металла освобождается и присутствует в свободном виде (табл. 2).

Золото представлено относительно низкопробными (700—800‰) и умеренно высокопробными (800—900‰) золотинами. Поверхность золотин неровная, шероховатая, на зеленовато-желтых золотинах отмечаются корочки гидроксидов железа или налет углистого вещества.

Для измерения времени индукции [11—17] при прилипании мелкого зерна

Таблица 2

Результаты рационального анализа
Rational Analysis Results

№ п/п	Формы нахождения золота и характер его связи с рудными компонентами	Распределение золота	
		г/т	%
1	Свободное (извлекаемое амальгамацией), в том числе при последовательном понижении крупности:	1,29	83,8
	а) минус 2 мм	0,42	27,3
	б) минус 1 мм	0,48	31,2
	в) минус 0,5 мм	0,19	12,3
	г) минус 0,2 мм	0,13	8,4
	д) минус 0,074 мм (96—98%)	0,07	4,6
2	В виде сростков (извлекаемое цианированием)	0,11	7,1
3	Всего в цианируемой форме	1,40	90,9
4	Извлекаемое цианированием после обработки соляной кислотой (ассоциированное с гидроксидами железа, карбонатами, хлоритами и др.)	0,03	1,9
5	Извлекаемое цианированием после обработки азотной кислотой (ассоциированное с сульфидами)	0,02	1,3
6	Извлекаемое цианированием после окислительного обжига при Т 650 °С (ассоциированное с углеродистым веществом)	0,02	1,3
7	Тонко вкрапленное в породообразующие минералы	0,07	4,6
8	Итого в пробе (по балансу)	1,54	100,0

к крупному зерну золота использован прибор КЭП-4. Для этого генератор пузырька воздуха в приборе заменили на датчик в виде иглы, к острию которой приклеили пластинку самородного золота. Зерна золота заданной крупности размещали на дне кюветы площадью ~700 мм^2. Между датчиком и золотом в кювете (в вертикальной плоскости) с помощью кремальеры создавали зазор одной и той же высоты. Электромагнитная система прибора снизу приводила кювету с золотом в контакт с датчиком с заданными временем контакта и скоростями подвода/отвода кюветы. Золото на дне кюветы располагали в виде монослоя для исключения контактных взаимодействий между зернами золота. При переходе от одного измерения к другому датчик смещали в горизонтальной плоскости по сетке так, чтобы в измерениях участвовало все золото, расположенное на дне кюветы. Прилипание считали состоявшимся, если на поверхности датчика закрепление мелких частиц наблюдали больше, чем в 20% случаев.

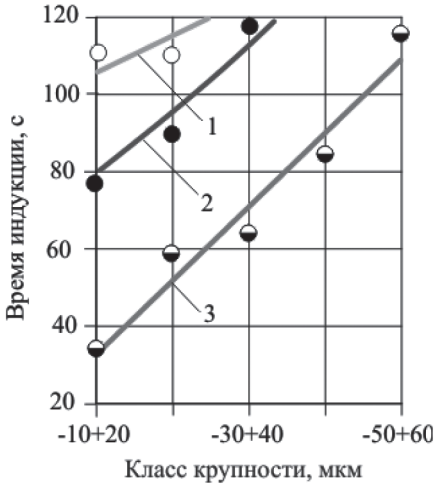

Рис. 3. Время индукции как функция крупности прилипающих к золотой пластинке золотин (точки принадлежат серединам доверительных интервалов, построенных с помощью t-критерия Стьюдента), проба золота: 1 — 870‰, 2 — 800‰, 3 — 700‰

Fig. 3. Induction time as a function of fineness of gold adhering to a gold plate (points belong to the midpoints of confidence intervals constructed using Student's t-test), gold sample: 1 — 870‰, 2 — 800‰, 3 — 700‰

Результаты и обсуждение

Установлено, что при прилипании к пластинке золота время индукции для мелкого золота меньше, чем для крупных классов крупности (рис. 3).

Полученные данные не противоречат данным по коагуляции частиц в полидисперсной системе: при взаимодействии двух мелких частиц коэффициент замедления скорости коагуляции высокий, а для частиц различных размеров он значительно уменьшается [18]. Из анализа геометрической вероятности столкновения частиц следует, что при переходе от взаимодействия частиц одинаковой крупности к столкновению крупной и мелкой частицы вероятность столкновений увеличивается от 0 до 1 [19—22]. Из сопоставления числа столкновений N частиц 1 и 2 с радиусами R_1 и R_2 при поперечном градиенте скорости потока вязкой жидкости $\partial U/\partial z$ и концентрации частиц C

$$N = 2C\frac{\partial U}{\partial z}\iint zdydz = \frac{4}{3}CR^3\frac{\partial U}{\partial z} \qquad (1)$$

с потоком диффузии I частиц 1 к частице 2

$$I = 4\pi D_0 RC\,. \qquad (2)$$

Получим

$$\frac{N}{I} = \frac{1}{3\pi}\frac{R^2}{D}\frac{\partial U}{\partial z}\,, \qquad (3)$$

где D_0, D — коэффициенты диффузии частиц жидкой и твердой фаз, а $R = R_1 + R_2$. Из (3) следует, что при перемешивании число столкновений крупных частиц с мелкими увеличивается. Из результатов расчета энергий взаимодействия следует, что прилипание мелких частиц к крупной происходит быстрее, чем агрегация мелких частиц [18].

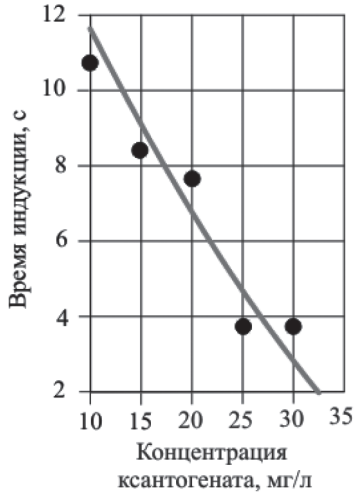

Рис. 4. Влияние концентрации собирателя на время индукции

Fig. 4. The effect of collector concentration on induction time

Гидрофобизация золота бутиловым ксантогенатом калия на порядок уменьшает время индукции при прилипании мелкого золота (крупностью –60+40 мкм) к золотой пластинке (рис. 4).

Причем с использованием атомного силового микроскопа доказано [23], что гидрофобизация пластинок золота этиловым ксантогенатом обусловлена дальнодействующими поверхностными силами притяжения, а не присутствием нанопузырьков газа.

При дезинтеграции и грохочении песчано-гравийной смеси (ПГС) с производительностью 160 т/ч в отвал были выделены классы крупности +10 и +2 мм с общим выходом 50% и потерями золота 3,3%. Материал крупностью –2 мм подвергнут основной и перечистной винтовой сепарации, тяжелая фракция которой доведена на концентрационном столе до продукта, извлечение золота в который составило 90,7% при содержании золота 399 г/т. Из руды на концентрационном столе выделяли гравиокон-

Таблица 3

Результаты флотации золота
Gold Flotation Results

№ п/п	Наименование продукта	Выход, %	Содержание золота, г/т	Извлечение золота, %
Флотация руд				
1	Гравиоконцентрат	0,32	355,0	59,17
2	Флотоконцентрат	4,79	11,44	28,54
3	Общий концентрат	5,11	32,96	87,71
4	Хвосты флотации	94,89	0,25	12,29
5	Исходная руда	100,0	1,92	100,0
Флотация шихты, составленной из руды и золота из ПГС				
6	Гравиоконцентрат	0,218	355,0	56,73
7	Флотоконцентрат	3,22	15,1	35,75
8	Общий концентрат	3,438	36,58	92,48
9	Хвосты промывки ПГС	31,857	0,0158	0,37
10	Хвосты флотации	64,71	0,15	7,15
11	Общие хвосты	96,567	0,11	7,52
12	Исходная шихта, в том числе:	100,0	1,36	100,0
13	руда	68,13	1,92	95,89
14	ПГС	31,87	0,76	4,11

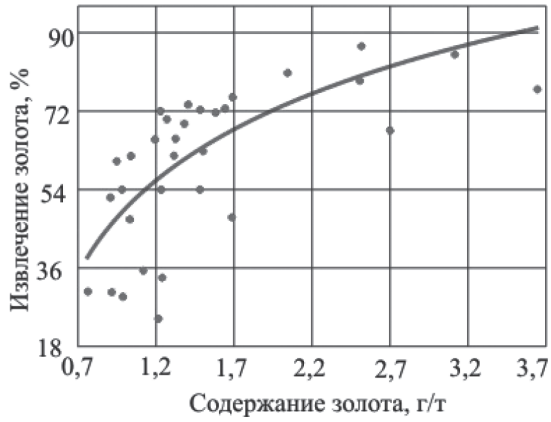

Рис. 5. Зависимость извлечения золота в концентрат от его содержания в исходной руде
Fig. 5. Dependence of the extraction of gold into concentrate on its content in the initial ore

центрат, содержащий 355,0 г/т золота при извлечении 59,17%. Из хвостов гравитации золото извлекали методом флотации: 150 г/т кальцинированной соды, 200 г/т медного купороса, 171 г/т бутилового ксантогената, 121 г/т Т-92 (табл. 3).

Во втором эксперименте после выделения из руд гравиоконцентрата создали шихту, составленную из хвостов гравитации и золотосодержащего продукта, выделенного при промывке ПГС. С применением бутилового ксантогената из шихты извлечено золото во флотоконцентрат (табл. 3).

При флотации шихты извлечение золота оказалось на 4,77% выше за счет снижения его потерь с хвостами с 12,29 до 7,52%. Увеличение извлечения золота связано со снижением потерь его мелких классов с хвостами флотации. В хвостах содержалось лишь около 5% по массе частиц золота мельче 10 мкм, а основная масса его частиц была крупнее 8 мкм; частиц золота крупнее 6 мкм было около 30%.

Таким образом, добавка в пульпу крупного самородного золота равносильна введению минерала-носителя мелких классов крупности золота: на поверхности крупных золотин образуется шламовое покрытие из мелкого золота.

Расход минералов-носителей (самородного золота) составил ~10% от количества золота в пульпе.

Извлечение золота увеличивается с ростом его содержания в исходной руде (рис. 5), что является одной из причин повышения извлечения металла при использовании золота в качестве минералов-носителей и не противоречит данным других исследователей [24—28].

Золото из гравиоконцентратов извлекали интенсивным цианированием (агитационным выщелачиванием), моделирующим процесс фирмы «Gekko Systems». При выщелачивании в течение 36 ч измельченного до 80% класса –40 мкм гравиоконцентрата и расходе NaCN ~8 кг/т извлечение золота в раствор (от операции) составило ~98%.

Золото из флотоконцентратов извлекали сорбционным цианированием (уголь в пульпе — CIP): продолжительность цианирования — 8 ч, продолжительность сорбционного выщелачивания — 24 ч, плотность пульпы — 40%, объемная концентрация угля в аппарате сорбции — 7 об.%, концентрация NaCN в жидкой фазе пульпы — от 1 до 2 г/л (расход 3 кг/т), концентрация CaO — от 0,1 до 0,2 г/л (расход 2,8 кг/т, pH 10—11), содержание золота в насыщенном угле —

4,947 г/кг. В обоих случаях из флотоконцентратов извлечено примерно равное количество золота (~65% от операции), т.е. присутствие россыпного золота во флотоконцентрате не приводит к росту потерь золота при гидрометаллургической переработке.

Выход суммарного концентрата при использовании металлического золота в качестве минералов-носителей на ~1,7 абс.% меньше, т.е. эксплуатационные расходы на дорогостоящее выщелачивание концентрата сокращаются.

Заключение

Из результатов обогащения золотосодержащих руд следует, что применение при флотации в качестве минералов-носителей самородного золота, выделенного из песчано-гравийной смеси, обеспечивает увеличение извлечения золота в концентрат. Прирост извлечения золота происходит за счет снижения потерь мелких классов рудного золота с отвальными хвостами.

Из результатов исследования кинетики прилипания частиц следует, что причиной образования агрегатов при использовании в качестве минералов-носителей относительно крупного самородного золота является большая вероятность их соударения с мелким рудным золотом при меньшем времени индукции.

Доступность золота песчано-гравийной смеси увеличивается при условии совместной переработки его с рудным сырьем, при которой капитальные затраты и эксплуатационные расходы уменьшаются за счет роста производственной мощности предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рубинштейн Ю. Б.*, *Филиппов Ю. А.* Кинетика флотации. — М.: Недра, 1980. , 375 p.

2. *Чантурия В. А.* Перспективы устойчивого развития горноперерабатывающей индустрии России // Горный журнал. — 2007. — № 2. — С. 2—9.

3. *Фукс Г. И.* О силах контактных взаимодействий твердых частиц в жидкой среде / Успехи коллоидной химии: сб. науч. ст. под ред. П. А. Ребиндера. — М.: Наука, 1973. — С. 117—129.

4. *Дерягин Б. В.*, *Духин С. С.*, *Рулев Н. Н.* Микрофлотация: Водоочистка, обогащение. — М.: Химия, 1986. , 112 p.

5. *Тихонов С. А.*, *Бабушкина Н. А.*, *Попова Р. М.* Изучение физических основ агломерационной флотации и флотации твердой поверхностью применительно к обогащению тонкодисперсных минералов / Теоретические основы и контроль процессов флотации: сб. науч. ст. под ред. В. А. Чантурия. — М.: Наука, 1980. — С. 34—38.

6. *Valderrama L., Rubio J.* High intensity conditioning and the carrier flotation of gold fine particles // International Journal of Mineral processing, 1998, Vol. 52, Issue 4, pp. 273—285.

7. *Ласкорин Б. Н.*, *Волков В. П.*, *Гастева Н. Ю.*, *Чумакова Г. М.*, *Костылев Д. С.* Патент РФ № 2049129, 22.03.1993. Способ извлечения золота из рудного сырья.1995.

8. *Бескровная В. П.*, *Чернов В. К.*, *Коган Д. И.*, *Бескровный В. Е.* Патент РФ № 2131304, 15.05.1997. Способ флотации тонковкрапленных бедных медных и золотосодержащих руд. 1999.

9. *Александров А. В.*, *Литвинова Н. М.*, *Александрова Т. Н.*, *Богомяков Р. В.* Патент РФ № 2465962, 28.02.2011. Флотационно-адсорбционный способ извлечения ультрадисперсных частиц из золотосодержащего сырья. 2012.

10. *Бабенко С. А.*, *Гравер В. С.*, *Семакина О. К.* Патент РФ № 2099146, 13.12.1995. Способ извлечения ценных минералов из рудных шламов. 1997.

11. *Albijanic B., Ozdemir O., Nguyen Anh V., Dee Bradshaw* A review of induction and attachment times of wetting thin films between air bubbles and particles and its relevance in the separation of particles by flotation // Advances in Colloid and Interface Science, 2010, Vol. 159, pp. 1—21.

12. *Verrelli D. I.*, *Koh P. T. L.*, *Bruckard W. J.*, *Schwarz M. P.* Variations in the induction period for particle—bubble attachment // Minerals Engineering, 2012, Vol. 36—38, pp. 219—230.

13. *David I. Verrelli D. I., Albijanic B.* A comparison of methods for measuring the induction time for bubble—particle attachment // Minerals Engineering, 2015, Vol. 80, pp. 8—13.

14. *Xia W., Wang Y.* Role prewetting/immersion time in the attachment time between air bubble and Taixi oxidized coal // International Journal of Mineral Processing, 2017, Vol. 163, pp. 9—13.

15. *Albijanic B., Subasinghe G. K. N.*, *Bradshaw D. J.*, *Nguyen A. V.* Influence of liberation on bubble-particle attachment time in flotation // Minerals Engineering, 2015, Vol. 74, pp. 156—162.

16. *Krasowska M., Zawala J., Malysa K.* Air at hydrophobic surfaces and kinetics of three phase contact formation // Advances in Colloid and Interface Science, 2009, Vol. 147—148, pp. 155—169.

17. *Zhou Y., Albijanic B., Tadesse B., Wang Y., Yang J.* Investigation of bubble-particle attachment interaction during flotation // Minerals Engineering, 2019, Vol. 133, pp. 91—94.

18. *Яремко З. М.*, *Солтыс М. Н.* К оценке агрегации частиц суспензии методом седиментометрического анализа // Коллоидный журнал. — 1976. — Т. XXXVIII. — № 5. — С. 1032—1033.

19. *Паньшин А. М.*, *Евдокимов С. И.* Усовершенствование процесса цинковой флотации с использованием теплового кондиционирования пульпы // Обогащение руд. — 2009. — № 1. — С. 29—34.

20. *Семенов Е. В.* Расчет вероятности столкновения взвешенных частиц в потоке суспензии // Коллоидный журнал. — 1981. — Т. XLIII. — Вып. 5. — С. 912—917.

21. *Лебедев А. Е., Личак Д. А.*, *Зайцев А. И.*, *Бытев Д. О.* Влияние полидисперсности твердой фракции на процесс разделения суспензий // Известия вузов. Химия и химическая технология. — 2002. — Т. 45. — Вып. 7. — С. 114—116.

22. *Евдокимов С. И. Паньшин А. М.* Создание и внедрение интенсивной технологии обогащения свинцово-цинковых руд // Цветные металлы. — 2008. — № 3. — С. 17—20.

23. *Li Z., Yoon R-H.* AFM force measurements between gold and silver surfaces treated in ethyl xanthate solutions: Effect of applied potentials // Minerals Engineering, 2012, Vol. 36—38. pp. 126—131.

24. *Darabi H.*, *Koleini S. M. J.*, *Deglon D., Rezai B., Abdollahy M.* Investigation of bubble-particle interactions in a mechanical flotation cell, part 1: Collision frequencies and efficiencies // Minerals Engineering, 2019, Vol. 134. pp. 54—64.

25. *Матвеева Т. Н.*, *Громова Н. К.*, *Ланцова Л. Б.* Разработка метода селективной флотации сульфидов сурьмы и мышьяка при обогащении комплексных золотосодержащих руд // Цветные металлы. — 2019. — № 4. — С. 4—7.

26. *Алгебраистова Н. К.*, *Гольсман Д. А.*, *Колотушкин Д. М.*, *Прокопьев И. В.* Технологическая оценка лежалых хвостов переработки золотосодержащей малосульфидной руды // Цветные металлы. — 2018. — № 5. — С. 12—15.

27. *Петров С. В.* О зависимости флотационного извлечения платиноидов от содержания металлов в руде // Обогащение руд. — 2015. — № 5. — С. 14—16.

28. *Евдокимов С. И.*, *Дациев М. С.*, *Подковыров И. Ю.* Гравитационное разделение в условиях специально формируемого высокого содержания металлов в исходной руде // Известия вузов. Цветная металлургия. — 2014. — № 2. — С. 3—9. ГИАБ

REFERENCES

1. Rubinshteyn Yu. B., Filippov Yu. A. *Kinetika flotatsii* [Flotation kinetics], Moscow, Nedra, 1980, 375 p.

2. Chanturiya V. A. Prospects for sustainable development of the mining industry in Russia. *Gornyy zhurnal*. 2007, no 2, pp. 2—9.

3. Fuks G. I. On the forces of contact interactions of solid particles in a liquid medium. *Uspekhi kolloidnoy khimii*: sbornik nauchnykh statey pod red. P. A. Rebindera [Advances in colloidal chemistry, collection of scientific articles, Rebinder P. A. (Ed.)], Moscow, Nauka, 1973, pp. 117—129.

4. Deryagin B. V., Dukhin S. S., Rulev N. N. *Mikroflotatsiya: Vodoochistka, obogashchenie* [Microflotation: Water treatment, enrichment], Moscow, Khimiya, 1986, 112 p.

5. Tikhonov S. A., Babushkina N. A., Popova R. M. Study of the physical foundations of agglomeration flotation and solid surface flotation as applied to the enrichment of finely dispersed minerals. *Teoreticheskie osnovy i kontrol' protsessov flotatsii*: sbornik nauchnykh statey, pod red. V. A. Chanturiya [Theoretical foundations and control of flotation processes, collection of scientific articles, Chanturiya V. A. (Ed.)], Moscow, Nauka, 1980, pp. 34—38.

6. Valderrama L., Rubio J. High intensity conditioning and the carrier flotation of gold fine particles. *International Journal of Mineral processing*, 1998, Vol. 52, Issue 4, pp. 273—285.

7. Laskorin B.N., Volkov V.P., Gasteva N.Yu., Chumakova G.M., Kostylev D.S. *Patent RU 2049129*, 22.03.1993.

8. Beskrovnaya V.P., Chernov V.K., Kogan D.I., Beskrovnyy V.E. *Patent RU 2131304*, 15.05.1997.

9. Aleksandrov A.V., Litvinova N.M., Aleksandrova T.N., Bogomyakov R.V. *Patent RU 2465962*, 28.02.2011.

10. Babenko S.A., Graver V.S., Semakina O.K. *Patent RU 2099146*, 13.12.1995.

11. Albijanic B., Ozdemir O., Nguyen Anh V., Dee Bradshaw A review of induction and attachment times of wetting thin films between air bubbles and particles and its relevance in the separation of particles by flotation. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2010, Vol. 159, pp. 1—21.

12. Verrelli D.I., Koh P.T.L., Bruckard W.J., Schwarz M.P. Variations in the induction period for particle—bubble attachment. *Minerals Engineering*, 2012, Vol. 36—38, pp. 219—230.

13. David I. Verrelli D.I., Albijanic B. A comparison of methods for measuring the induction time for bubble—particle attachment. *Minerals Engineering*, 2015, Vol. 80, pp. 8—13.

14. Xia W., Wang Y. Role prewetting/immersion time in the attachment time between air bubble and Taixi oxidized coal. *International Journal of Mineral Processing*, 2017, Vol. 163, pp. 9—13.

15. Albijanic B., Subasinghe G.K.N., Bradshaw D.J., Nguyen A.V. Influence of liberation on bubble-particle attachment time in flotation. *Minerals Engineering*, 2015, Vol. 74, pp. 156—162.

16. Krasowska M., Zawala J., Malysa K. Air at hydrophobic surfaces and kinetics of three phase contact formation. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2009, Vol. 147—148, pp. 155—169.

17. Zhou Y., Albijanic B., Tadesse B., Wang Y., Yang J. Investigation of bubble-particle attachment interaction during flotation. *Minerals Engineering*, 2019, Vol. 133, pp. 91—94.

18. Yaremko Z.M., Soltys M.N. On the estimation of aggregation of suspension particles by sedimentometric analysis. *Kolloidnyy zhurnal*. 1976, Vol. XXXVIII, no 5, pp. 1032—1033. [In Russ].

19. Pan'shin A.M., Evdokimov S.I. Zinc flotation process improvement using pulp thermal conditioning. *Obogashchenie rud*. 2009, no 1, pp. 29—34. [In Russ].

20. Semenov E.V. Calculation of the probability of a collision of suspended particles in a suspension stream. *Kolloidnyy zhurnal*. 1981. Vol. XLIII, no 5, pp. 912—917. [In Russ].

21. Lebedev A.E., Lichak D.A., Zaytsev A.I., Bytev D.O. The influence of the polydispersity of the solid fraction on the process of separation of suspensions. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. 2002, Vol. 45, no 7, pp. 114—116. [In Russ].

22. Evdokimov S.I. Pan'shin A.M. Creation and implementation of an intensive technology for the processing of lead-zinc ores. *Tsvetnye metally*. 2008, no 3, pp. 17—20. [In Russ].

23. Li Z., Yoon R-H. AFM force measurements between gold and silver surfaces treated in ethyl xanthate solutions: Effect of applied potentials. *Minerals Engineering*, 2012, Vol. 36—38. pp. 126—131.

24. Darabi H., Koleini S.M.J., Deglon D., Rezai B., Abdollahy M. Investigation of bubble-particle interactions in a mechanical flotation cell, part 1: Collision frequencies and efficiencies. *Minerals Engineering*, 2019, Vol. 134. pp. 54—64.

25. Matveeva T.N., Gromova N.K., Lantsova L.B. Development of a method for selective flotation of antimony and arsenic sulfides in the enrichment of complex gold-bearing ores. *Tsvetnye metally*. 2019, no 4, pp. 4—7. [In Russ].

26. Algebraistova N.K., Gol'sman D.A., Kolotushkin D.M., Prokop'ev I.V. Technological evaluation of stale tailings processing of gold-containing low-sulfide ore. *Tsvetnye metally*. 2018, no 5, pp. 12—15. [In Russ].

27. Petrov S.V. About the dependence of flotation extraction of platinoids on the metal content in ore. *Obogashchenie rud*. 2015, no 5, pp. 14—16. [In Russ].

28. Evdokimov S.I., Datsiev M.S., Podkovyrov I.Yu. Gravity separation under conditions of a specially formed high content of metals in the initial ore. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tsvetnaya metallurgiya*. 2014, no 2, pp. 3—9. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Евдокимов Сергей Иванович[1] — канд. техн. наук, доцент, e-mail: eva-ser@mail.ru,
Герасименко Татьяна Евгеньевна[1] — канд. техн. наук, доцент, начальник,
[1] Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет).
Для контактов: Евдокимов С.И, e-mail: eva-ser@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.I. Evdokimov[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: eva-ser@mail.ru,
T.E. Gerasimenko[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Head of the Department of Intellectual Property,
[1] North Caucasus Mining-and-Metallurgy Institute (State Technological University),
362021, Vladikavkaz, Republic of North Ossetia-Alania, Russia
Corresponding author: S.I. Evdokimov, e-mail: eva-ser@mail.ru.

Получена редакцией 11.11.2019; получена после рецензии 19.12.2019; принята к печати 20.01.2020.
Received by the editors 11.11.2019; received after the review 19.12.2019; accepted for printing 20.01.2020.

РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ НОВЫХ РОССИЙСКИХ ТРАНЗИТНЫХ КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПОРТА ПРОДУКЦИИ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ОТРАСЛЕЙ

(№ 1211/02–20 от 30.12.2019; 8 с.)

Иватанова Наталья Петровна — д-р экон. наук, профессор, ТулГУ, e-mail: lusha-ok@mail.ru,
Гончарова Алина Рашитовна — первый заместитель генерального директора,
ООО «Грузовая компания «Новотранс», e-mail: a.goncharova@novotrans.com,
Кочешнов Андрей Сергеевич — начальник отдела, Центральная дирекция управления движением — филиал ОАО «Российские железные дороги», e-mail: kocheshnov@mail.ru.

В настоящее время транзитные коммуникации являются одним из основных условий социально-экономического развития государств. Компенсация и укрепление утраченных позиций в области контроля над глобальными транзитными коммуникациями потребовала строительства новых российских портов, железных и автомобильных дорог и соответствующей социальной инфраструктуры. Строительство и ввод в эксплуатацию новых терминалов порта Усть-Луга обеспечивает транспортную безопасность и частично решает множество внешнеторговых проблем России, в частности — экспорта продукции горнодобывающих отраслей, в том числе угля, на Запад.

Ключевые слова: продукция горнодобывающих отраслей, транспортная безопасность, транзит, терминал, устойчивость регионального социально-экономического развития.

ON THE ISSUE OF CREATING NEW RUSSIAN TRANSIT COMMUNICATION NETWORKS TO ENSURE THE EXPORT OF MINING PRODUCTS

N.P. Ivatanova, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Tula State University, 300012, Tula, Russia, e-mail: lusha-ok@mail.ru,
A.R. Goncharova, First Deputy General Directo, Company «Cargo company «Novotrans», Moscow, Russia,
A.S. Kochenov, Head of Department for Organizing the Work of Car Parks,Central Directorate of Traffic Management-branch, OJSC «Russia's railways», Moscow, 129090, Russia, e-mail: kocheshnov@mail.ru.

Currently, transit communications are one of the main conditions for the socio-economic development of States. Compensation and strengthening of the lost positions in the field of control over global transit communications required the construction of new Russian ports, Railways and roads, and the corresponding social infrastructure. The construction and commissioning of new terminals at the port of Ust-Luga provides transport security and partially solves many of Russia's foreign trade problems, in particular, the export of mining products, including coal, to the West.

Key words: products of mining industries, transportation safety, transit terminal, the sustainability of the regional socio-economic development.