

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 553.411 + 571.55 + 622

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ЗОЛОТОРОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

**В. Н. Опарин¹, А. Г. Секисов², А. И. Трубачев²,
Б. Н. Смоляницкий¹, В. С. Салихов², Н. В. Зыков²**

¹Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
E-mail: oparin@misd.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия
²Читинский филиал ИГД СО РАН, E-mail: sekisovag@mail.ru,
ул. Александрo-Заводская, 30, 672039, г. Чита, Россия

Рассматриваются основные горно-геологические особенности золотороссыпных месторождений Забайкалья, к которым относятся: большая протяженность и приуроченность продуктивного золотоносного пласта к приплотиковой части россыпи, его малая мощность, значительная глубина залегания на отдельных участках, преобладание мелкого золота с преимущественно уплощенной формой золотин. Повышение эффективности освоения таких россыпных месторождений предлагается обеспечить путем использования новых технологических решений. При промывке песков рекомендуются технологии, базирующиеся на комбинации процессов флотации и гравитационного обогащения с активационным выщелачиванием золота из концентрата и шлиховых минералов-концентраторов дисперсного золота. Для разработки глубокозалегających россыпей предложена новая геотехнология скважинного выщелачивания с осуществлением предварительного дренажа продуктивного пласта россыпи, его пропитки фотоэлектроактивированными концентрированными растворами и последующим электролиффузионным выщелачиванием золота.

Забайкалье, россыпь, условия залегания, морфолого-генетические типы, минералы шлиха, фотоэлектроактивационное скважинное выщелачивание, золото пластинчатое, тонкое и дисперсное, гранулометрия, новые технологии извлечения

Разработка россыпных месторождений золота в Забайкальском крае имеет более чем полуторавековую историю, по которой можно проследить основные этапы развития технологий и технических средств добычи и переработки продуктивных песков [1]. Эта “технологическая эволюция” прошла путь от использования примитивных ручных средств выемки, погрузки и промывки золотосодержащих песков на шлюзах до испытаний технологии скважинного выщелачивания на месторождении Данду-Хангарук, разрабатываемого артелью “Бальджа”.

Золотоносные россыпи Забайкалья характеризуются значительным многообразием их морфолого-генетических типов с существенно различными условиями залегания продуктивных пластов песков, размерами и морфологией золотин и в целом — формами нахождения золота [1 – 5]. Наиболее масштабной золотосодержащей россыпью Забайкальского края является Кручининское

месторождение. Его общая протяженность составляет 78 км. Из-за разнообразия горно-геологических характеристик отдельных участков оно может быть рассмотрено в качестве “собирательного примера” золотороссыпных забайкальских месторождений. По существу, это золотороссыпной узел, включающий несколько месторождений с различными условиями залегания продуктивных пластов, их строением и, главное, морфометрическими особенностями золота и формой его нахождения. Относительно детальная характеристика этого объекта дает представление о большинстве типов забайкальских золотоносных россыпей.

Кручининское россыпное месторождение золота, открытое в 1892 г. предпринимателями братьями Шумовыми [1, 2], эксплуатировалось ими до 1917 г. В то время было добыто около 5 т золота. С перерывами месторождение разведывалось и отрабатывалось все последующие годы — вплоть до настоящего времени, однако перспективы прироста запасов золота связываются с выявлением его дисперсных форм и разработкой технологий их извлечения.

Геологическая характеристика месторождения, приводимая ниже, дается по материалам геологических съемок различного масштаба, геолого-поисковых, ревизионных и разведочных работ, тематических исследований, а также собственных изысканий [1–6].

Так, разрез пойменных отложений р. Кручина в районе прииска Верхний Стан сверху вниз представляет: (1) почвенно-растительный слой — 0–0.3 м; (2) желтые суглинки с незначительной примесью мелкой гальки и гравия — 0.3–2.0 м; (3) суглинистые отложения с редкой галькой и гравием, с линзами песка и гравия — 2.0–3.5 м; (4) песчано-гравийно-галечные отложения бурого цвета с редкими валунами, иногда с прослойками ила и глины — 3.5–6.0 м; (5) коренные породы (плотик) — трещиноватые эффузивы, алевролиты, гранитоиды выветрелые — 6–8 м.

Золотоносный пласт, выявленный опробованием, находится в приплотиковой части в аллювиальных и элювиальных отложениях. С небольшими отклонениями по мощности подобный разрез изучен на уч. Большая Зубкоша [3, 5]. На уч. Осенней площади аллювиальные отложения представлены илом, глиной, мелко- и крупнозернистым песком, галечником, которые залегают на гранитной дресве и являются плотиком [3, 5]. Гранулометрическая характеристика песчано-галечного материала в россыпи на уч. Центральный по данным [3] приведена ниже:

Класс, мм	200–100	100–10	10–2	2–0.5	Менее 0.5
Выход, %	18.3	23.2	24.9	21.6	12.0

Промышленные участки Кручининского золотороссыпного месторождения представлены следующими морфологическими типами [3, 5]: неглубокие пойменные; глубокозалегающие россыпи погребенного русла; сложные россыпи, представляющие собой комплекс врезанных друг в друга надпойменных террас; россыпи эрозионно-аккумулятивных террас; ложковые россыпи. В целом структура золотоносного пласта проявляется наличием ориентированных соосно долине параллельных “струй” с суммарной шириной 300–500 м, разделенных полосами с некондиционным содержанием золота. Струи характеризуются наличием в их контурах обогащенных золотом участков, слегка вытянутых по осевому направлению. Распределение золота в “обогащенных участках” также неравномерное как по латерали, так и по вертикали. Длина продуктивных пластов по участкам изменяется в пределах 650–11500 м, ширина 27–109 м, мощность золотоносных пластов 0.5–1.2 м, мощность торфов 3.5–5.2 м. Содержание золота варьирует в весьма широком диапазоне: 0.46–17.78 г/м³.

По данным разведочных и эксплуатационных работ установлены параметры золотоносных пластов по участкам, которые приведены в таблице [3, 4].

Параметры золотоносности Кручининского месторождения по его участкам

Участок	Длина россыпи, км	Ширина россыпи, м	Мощность пластов, м	Содержание Au [*] , мг/м ³	Запасы Au, кг	Ресурсы Au, кг
Юго-Западный	1.7	20–40	0.9–1.5	129–3626/1274	121	165
Центральный	6.0	40–260	0.6–1.6	71–286/139	87	743
Осенняя площадь	1.6	300	0.5–2.0	108–6211/1567	364	127
Кутангинский	3.2	78	0.5–2.0	152–1923/739	180	586
Верхний стан	1.8	87	0.5–1.9	115–1235/1100	251	159
Михайловский	1.0	30–100	1.5–2.0	465–3213/2203	67	182
Медвежий	1.0	30–100	1.0–1.5	106–403/325		
Большая Зубкоша (Веселый)	2.5	20–100	0.4–1.6	417–4953/999.5	102	136
Итого					1173	2098

* В числителе — пределы изменений, в знаменателе — среднее значение.

В шлихах песков Кручининского россыпного месторождения, в существенно различных соотношениях по отдельным участкам, выявлены титаномагнетит, мартит (1.3–22.95%), магнетит (1–45%), ильменит (до 2 кг/м³), циркон (до 20 г/м³), монацит, вольфрамит (от единичных знаков до 8.8%), касситерит (ед. зн. — 0.1%), пирит и галенит (ед. зн. — 3%), в единичных знаках проявлены турмалин, киноварь, флюорит. Цвет благородного металла — золотисто-желтый, золотисто-желтый с беловатым оттенком, серебристо-белый, розоватый, табачно-зеленый. В целом по всей Кручининской россыпи выход золота (в знаменателе) по фракциям составляет, %: –2+1 мм/0.2; –1+0.5/14.4; –0/5+0.25/85.4. По направлению “сверху вниз” по течению р. Кручины крупность золотин уменьшается: на Северо-Восточном участке преобладает фракция –2+0.5 мм, на участке Центральном –1+0.25 мм, на Юго-Западном –0.5+0.25 мм.

Степень окатанности золотин разная: совершенно неокатанное (8.9% по частоте встречаемости), полуокатанное (12.1%), хорошо и совершенно окатанное (78.8%). Золото находится в свободном состоянии (95%) и в сростаниях с другими минералами: кварцем, лимонитом (в форме рубашки и в кавернах золотин), реже с турмалином, магнетитом, титаномагнетитом, карбонатами.

Вес золотин по фракциям, мг: (–2+1 мм)–17.1; (1+0.5 мм)–2.49; (0.5+0.25 мм)–1.34. Пробность золота — от 760 до 900. Степень распространения морфологических типов золотин, %: изометричные — 3.6, таблитчатые — 16.8, пластинчатые — 67.2, листовидные — 11.9, удлиненные — 0.5 [3, 4]. Породообразующие минералы шлихов: кварц, амфиболы, эпидот, биотит, хлорит, гранаты, корунд, турмалин, кальцит, андалузит. Перспективы Кручининской россыпи, согласно [4], связаны с извлечением мелкого и тонкого золота, не улавливаемого обычными методами, в связи с чем было предложено применение амальгамации.

Исходя из возможных “коренных источников” золота (зоны сульфидизации в конгломератах и гранитоидах, содержащих сульфидные и сульфосолевые минералы, концентрирующие дисперсное золото), можно предположить, что перенос из них золота в “продуктивный пласт” осуществлялся не только гидромеханически, но и посредством геохимической формы миграции его коллоидных и ионных частиц. Эти частицы золота переосадились на свежееобразованных пленках оксидов-гидроксидов железа, формируемых на поверхностях кварца и халцедона и частично сорбировались минералами глин. Такое переосажденное золото могло оставаться в дисперсном состоянии либо “укрупняться”. Это предположение подкрепляется наблюдением за процессами укрупнения золота в техногенных образованиях [7, 8]. Дисперсное золото россыпей имеет химические связи с железом, кремнием и кислородом, формируя кластерные структуры.

Установление в россыпях Амурской области кроме “видимого” золота (в том числе выявляемого микроскопическими исследованиями) его “невидимых” форм (дисперсного, наноразмерного) позволило оценить его долю в 30–60 % от общих запасов металла [7].

Проведен значительный объем работ по опробованию хвостов обогащения (промывки на промприборах) участков Кручининского месторождения: Большая Зубкоша, Верхний стан, Центральный, Юго-Западный, Осенняя площадь, а также многих других россыпных месторождений Забайкалья: Большая Дабиха, Алия, Дарасун, Кия, Пешковское, Верхняя Борзя, Нижний Мултун [9]. При пробоподготовке на ситах отделялся продуктивный класс – 250 мкм, выход которого по массе исходных песков россыпи (после отсева из них непродуктивных галечно-гравийных включений) составлял от 3.5 до 28.5 %. Кроме того, из отсеянного материала верхнего класса крупности отделялись шлиховые минералы, монофракции которых также анализировались. Для выявления дисперсного золота в этих составляющих проб использован как стандартный пробирно-атомно-абсорбционный анализ, так и “специальный пробирный анализ”, разработанный в Читинском филиале Института горного дела СО РАН.

Специальный пробирный анализ включает:

— смачивание проб раствором, содержащим перекись водорода, каустическую соду и прошедшим активационную обработку, включающую электролиз и ультрафиолетовое облучение дуговой разрядной лампой типа ДРТ-230 или ДРТ-240 высокого давления мощностью 230–240 Вт;

— шихтовку пробы с присадками: бура, сода, глет, ионообменная смола (анионит), серебро в виде порошка, хлорид серебра для коллектирования дисперсного золота, переходящего в расплав с запаздыванием относительно фазы аккумуляции восстановленного свинца в придонной части тигля;

— переплавку полученного после тигельной плавки в индукционной печи веркблея “пуговицы” с предварительным заворачиванием ее в свинцовую фольгу с известной массой для получения вторичного веркблея с целью повышения однородности сплава;

— стандартный пробирный анализ вторичного веркблея по полной схеме или растворение и осаждение с последующим прокаливанием и взвешиванием осадка.

Практически все проанализированные пробы содержали значительное количество дисперсного золота в “тонкой” продуктивной фракции: от 0.3 до 8.7 г/т по данным стандартного анализа и от 1.2 до 13.5 г/т по данным специального анализа. В шлиховом монофракционном материале содержание дисперсного золота в некоторых случаях превышало 100 г/т при использовании как стандартного, так и специального анализа; при этом долевая часть шлиховой фракции в классе – 2.5 мм песков россыпи может достигать 10 % и более.

Важно заметить, что кроме потерь собственно дисперсных форм золота, при переработке песков россыпей происходят потери “свободного” пластинчатого золота (иногда более 50 % от его общего количества) и значительной части золота мелкого (– 0.25 мм) и “тонкого” (размером частиц менее 0.1 мм). При механическом воздействии на плоские золотины при выемке, грохочении и промывке песков на промприборе они могут интенсивно дефрагментироваться до более “тонких” пластинчатых частиц (так называемое “битое” золото), легко переносимых в приповерхностном слое потока в шлюзе, и смываться с хвостами в прудки-отстойники.

Это предположение подтверждается обнаруженным эффектом роста (в 2 раза и более) содержания золота в тонком (– 250 мкм) классе хвостов промывки по сравнению с этой же фракцией исходных песков россыпи. В шлиховой фракции песков россыпи Нижний Мултун, более чем на 95 % представленной магнетитом, содержание золота на входе в промприбор составляет в среднем 0.65 г/т, при съеме — 1.1 г/т, что может быть объяснено значительным остаточным количеством тонкого (– 0.1 мм) и мелкого (– 0.25 мм) золота, задержанного осевшим на трафаредах шлюза магнетитом.

Очевидно, что проблема снижения потерь при извлечении как “тонкого” и “пластинчатого” золота, так и его дисперсных форм нахождения в исходных песках россыпей и хвостах промывки на промприборе не может быть решена только усовершенствованием гравитационных или флотационных методов обогащения. Должны предлагаться новые решения, основанные в первую очередь на использовании химических и комбинированных процессов извлечения.

Для решения проблемы доулавливания мелкого пластинчатого и тонкого золота предложено устанавливать после основного шлюза дополнительный — специальный шлюз (или под его днищем — подшлюзок), оборудованные завихрителями со встроенными магнитами и внешней системой впрыска электролизной водно-газовой эмульсии, содержащей флотореагент-собиратель золота, насосом-дозатором (рис. 1).

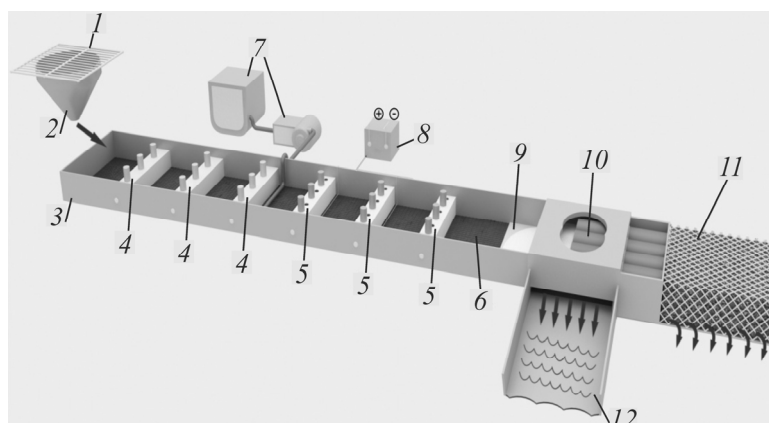


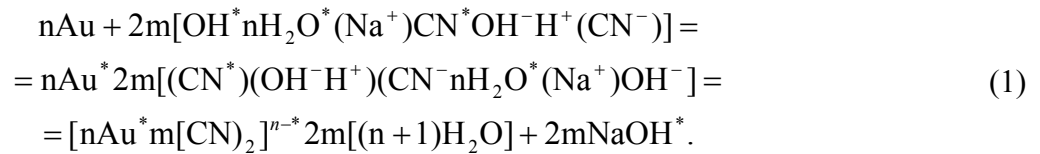
Рис. 1. Шлюзовый комплекс для улавливания “тонкого и чешуйчатого золота”: 1 — грохот; 2 — бункер; 3 — корпус шлюза; 4 — рифли с магнитными стержнями; 5 — рифли с электродами; 6 — коврик; 7 — насос-дозатор для пенообразователя; 8 — блок питания; 9 — отсекающий пенного продукта; 10 — отводные трубы для пенного продукта; 11 — уловитель с угольным накопителем; 12 — сливной подшлюзок

Мелкие пузырьки электролизных газов концентрируют на своей поверхности собиратель и, сцепляясь с частицами пластинчатого и тонкого золота, всплывают вместе с ними, тем самым концентрируя их в верхнем слое потока водно-минеральной смеси. Верхний слой потока в конце шлюза (подшлюзка) отсекается системой патрубков или пластиной. Сбросная часть шлюза (или подшлюзка) оборудуется уловителями золота из пенного продукта, в которых размещается обработанный гранулированный уголь. При этом из полученного в уловителе подшлюзка концентрата золото целесообразно извлекать методом активационного выщелачивания, возможно совместно с частью магнетитовой фракции шлихов.

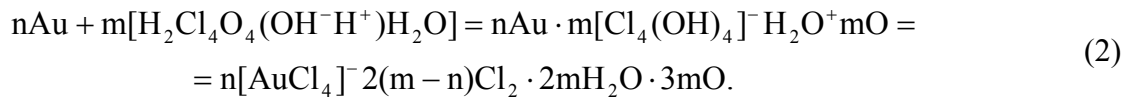
Дисперсное золото, сконцентрированное в тонкой продуктивной фракции песков, которая может отдельно декантироваться в прудках-отстойниках, также может извлекаться методом выщелачивания, но с использованием фотоэлектроактивированных растворов [6, 9–11]. Отличительной особенностью таких растворов является наличие в них кластеризованных реагентных комплексов. Данные структуры включают несколько (объединенных в одном гидратированном кластере молекулами воды) комплексобразующих соединений, в частности реакционно-активных радикальных форм CN^* . Они могут быть представлены формулой общего вида: $m[(CN^*)(OH^-H^+)(CN^-)nH_2O^*(Na^+)OH^-]$.

Коллективизированные протоны и гидроксил-ионы в составе водных кластеров не только трансформируют ионы CN^- в реакционно-активные метастабильные радикалы CN^* , но и приводят обобществленные электронные оболочки кластеров золота в возбужденное состояние, обеспечивая возможность их химического взаимодействия.

Таким образом, осуществляется одностадийное взаимодействие кластеров золота с кластеризованным цианидным комплексом с формированием кластерных гидратированных комплексных золото-циановых анионов $-\left[n\text{Au}^*m(\text{CN})_2\right]^{n-}n\text{H}_2\text{O}$:



Аналогичные кластерные реакции могут осуществляться и с участием хлоридных комплексов:



Для оценки возможности извлечения дисперсного золота из тонкой (-250 мкм) фракции песков проведены сравнительные эксперименты по его выщелачиванию стандартным и активированным цианидными растворами. В этой фракции, как показали результаты анализов, присутствует дисперсное золото ($0.85-2.3$ г/т), ассоциированное с гетитом и гидрогетитом. Оно локализовано преимущественно по границам микротрещин в кристаллических решетках кварца и халцедона и на поверхности частиц.

Данная “продуктивная” фракция в настоящее время практически теряется со сливом входного сгустителя. Проба тонкой продуктивной фракции песков россыпи Алия была разделена на две навески. Одна из навесок массой 951 г подвергалась окомкованию с 45 г цемента, 15 г извести-пушенки и 220 г воды, в которую добавлялся цианид натрия до достижения концентрации 2.5 г/л. Вторая навеска этой пробы массой 976 г окомковывалась с тем же расходом цемента, но для перемешивания использовали специально подготовленный активированный в фотоэлектрохимическом реакторе раствор, в который затем добавлялся цианид натрия до концентрации 2.5 г/л. Расход раствора на окомкование составил 0.2 м³/т. Агломерацию (окомкование) осуществляли перемешиванием и перекачиванием массы по наклонной плоскости. Минеральная смесь практически не схватывалась и была рыхлой, без окатышей. В таком виде смесь сыпалась в перколятор (трубу с внутренним диаметром 42 мм и высотой 1.5 м), уплотнялась встряхиванием и выстаивалась в течение 4 сут.

Классическое перколяционное выщелачивание золота (моделирующее кучное) проводили непрерывно из первой навески при $21-23$ °С путем прокапывания $0.4-0.5$ л раствора цианида с концентрацией 1 г/л из капельницы и инфильтрации раствора в материале, расположенном в трубе, в течение $18-20$ ч. Суточный объем выпущенного из перколятора продуктивного раствора составлял $0.35-0.45$ л. Значение рН изменялось в пределах $9.5-10.5$. Часть раствора отбиралась для анализа на содержание золота. Эксперименты продолжались в течение 7 сут. Установленная при этом динамика извлечения в продуктивный раствор золота приведена на рис. 2.

Скоростное активационное выщелачивание золота с наислороживанием рабочих растворов проводили из второй навески пробы. Материал этой навески также выстаивался в колонке в течение 4 сут, после чего осуществляли скоростное выщелачивание золота путем одноразового суточного орошения активированным водным раствором без добавления цианида натрия с расходом 0.2 л/сут [12]. Динамика извлечения золота по этому эксперименту представлена на рис. 3.

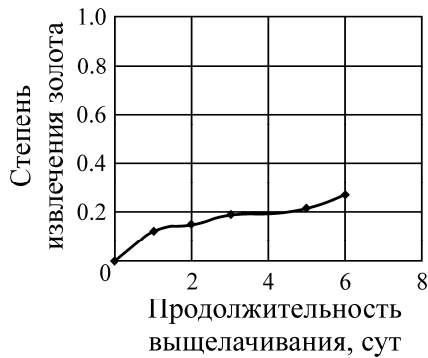


Рис. 2. Динамика классического перколяционного выщелачивания золота из твердой фазы слива сгустителя цианидным раствором

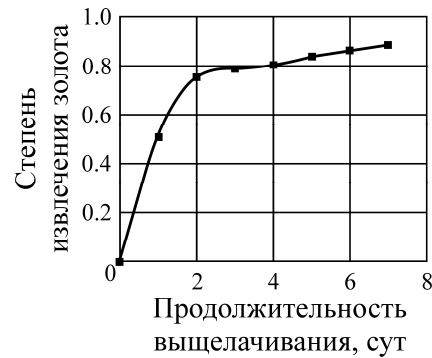


Рис. 3. Извлечение золота из тонкой фракции слива сгустителя по схеме активационного кучного выщелачивания

Как видно из полученных результатов, извлечение дисперсного золота из “тонкой” фракции песков россыпи достаточно высокое. Причем этот метод может быть применен для скважинного выщелачивания золота из маломощных и/или глубокозалегающих участков россыпей [8, 9, 13–15]. Например, на россыпях р. Кручина такими участками являются Осенняя площадь, Кутангинский, Верхний стан (см. таблицу).

Учитывая сложные гидрогеологические условия, характерные для этих участков россыпи, скважинное выщелачивание целесообразно выполнять стадийно (рис. 4). Перед подачей в продуктивный пласт активированных выщелачивающих растворов предлагается осуществлять дренаж пластовых вод через систему горизонтальных скважин и дренажных траншей, проводимых через 20–30 м. На первой стадии, после осушения пласта, в него закачивается концентрированный выщелачивающий раствор. Такая технология может быть прообразом технологий “реакторного типа”, основная задача которых — извлечение полезных компонентов из руд или песков россыпей на месте залегания с локальной интенсификацией управляемых массообменных процессов [10, 16, 17].

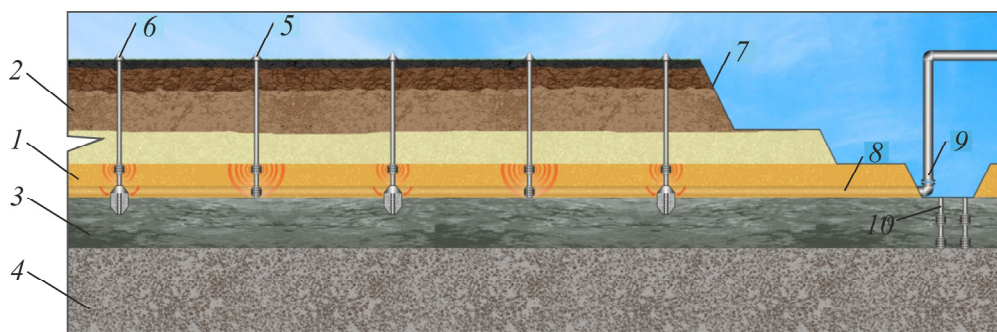


Рис. 4. Схема скважинного стадийного выщелачивания дисперсного золота из песков россыпей: 1 — продуктивный пласт; 2 — торф; 3 — плотик; 4 — кристаллические породы фундамента; 5 — закачные скважины; 6 — откачные скважины; 7 — дренажная траншея; 8 — дренажные скважины; 9 — отводной трубопровод; 10 — наблюдательные и аварийные скважины

В качестве активированных выщелачивающих агентов целесообразно использовать концентрированный цианидный раствор, подготовленный на основе гидрокарбонатно-пероксидного, подвергнутого фотоэлектрохимической обработке [6, 11]. Эффективность таких растворов подтверждается не только многочисленными лабораторными экспериментами, но и тестовыми перколяционными и промышленными испытаниями, проведенными на участке кучного выще-

лачивания рудника “Апрелково”. В варианте скважинного выщелачивания активированные рабочие растворы подаются в пласт через систему закачных скважин и скважин “двойного назначения” (закачных-откачных) в верхнюю и нижнюю части продуктивного пласта до полного влагонасыщения песков. При этом могут быть использованы процессы электродиффузионного выщелачивания (ионы растворенного золота движутся в электрическом поле без перемещения растворов к катодам, размещенным в погружных скважинных фильтрах с ионообменным сорбентом).

После электродиффузионного выщелачивания основной части золота осуществляют подачу в продуктивный пласт слабоконцентрированного электроактивированного цианидного раствора. Затем проводят откачку продуктивного раствора через скважины “двойного назначения” и горизонтальные дренажные скважины, нейтрализуя остаточные цианиды.

В периоды паводков и интенсивных ливней (роста дебита пластовых вод) формируемые продуктивные растворы откачиваются не только через основные откачные скважины, но и через аварийные. В случае близости реки вместо цианидного может быть использован активный хлоридный раствор.

ВЫВОДЫ

Золотороссыпные месторождения Забайкальского края являются сложными объектами разработки, так как характеризуются струйно-очаговой структурой продуктивных пластов, их малой мощностью при сравнительно большой глубине залегания. При этом частицы самородного золота преимущественно мелкие и тонкие, пластинчатой формы.

В шлиховом материале песков россыпей Забайкальского края в промышленных концентрациях присутствуют дисперсные формы золота. Содержание дисперсного золота в монофракциях шлихов превышало 100 г/т при использовании как стандартного, так и специального анализа, а в “тонкой” продуктивной фракции — от 0.3 до 8.7 г/т по данным стандартного анализа и от 1.2 до 13.5 г/т по данным специального пробирного анализа.

Для повышения извлечения мелкого и тонкого золота целесообразно выполнять при промывке песков россыпей комбинацию технологических процессов флотационного и гравитационного концентрирования в шлюзах специальной конструкции с последующим улавливанием флотоконцентрата тонкого и пластинчатого золота в уловителях с гранулированным углем.

Дисперсное золото, сконцентрированное в шлихах и тонкой продуктивной фракции песков, может быть эффективно извлечено методами кучного или кюветного выщелачивания с помощью фотоэлектроактивированных растворов.

Для разработки глубокозалегающих золотосодержащих россыпей предложена новая геотехнология скважинного выщелачивания с осуществлением предварительного дренажа продуктивного пласта россыпи, его пропитки фотоэлектроактивированными концентрированными растворами и последующим электродиффузионным выщелачиванием золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Геологические исследования** и горнопромышленный комплекс Забайкалья. — Новосибирск: Наука, 1999. — 567 с.
2. **Абрамов Б. Н., Петровский П. П.** Кручининская золотоносная россыпь // Энциклопедия Забайкалья / гл. ред. Р. Ф. Гениатулин. — Новосибирск: Наука, 2006. — Т. 3. — 153 с.
3. **Самохин Н. П., Воросов А. Ф., Литвинцева В. П.** Отчет с подсчетом запасов и прогнозных ресурсов по доразведке золотоносной россыпи р. Кручины, поисковых и поисково-оценочных работах в ее притоках за 1991 – 1997 гг. — Чита, 1999. — 157 с.

4. **Списовский В. Г.** Отчет о ревизии золотоносности долины р. Кручина. — Чита, 1954. — 47 с.
5. **Скважинное выщелачивание** золота из глубокозалегающих (погребенных) россыпных месторождений / С. Н. Тимошенко, Е. Т. Воронов, В. А. Овсейчук, М. А. Урунов. — Чита: ЗабГУ, 2015. — 163 с.
6. **Секисов А. Г., Шевченко Ю. С., Лавров А. Ю.** Перспективы использования шахтного выщелачивания при разработке золоторудных месторождений // ФТПРПИ. — 2016. — № 1. — С. 116–123.
7. **Моисеенко В. Г., Кузнецова И. В.** Роль наночастиц золота, серебра и свинца в образовании месторождений благородных металлов // ДАН. — 2010. — Т. 430. — № 3. — С. 377–381.
8. **Толстов Е. А.** Физико-химические геотехнологии освоения месторождений урана и золота в Кызылкумском регионе. — М.: МГГУ, 1999. — 314 с.
9. **Секисов А. Г., Трубачев А. И., Салихов В. С. и др.** Геолого-технологическая оценка и новые геотехнологии освоения природного и техногенного золотосодержащего сырья Восточного Забайкалья. — Чита: ЗабГУ, 2011. — 312 с.
10. **Пат. 2412350 РФ.** Способ комбинированной разработки месторождений полезных ископаемых / В. Н. Опарин, Ю. Н. Резник, А. Г. Секисов, А. П. Тапсиев, В. А. Хакулов, А. М. Фрейдин, В. И. Ческидов, В. С. Чечеткин // Оpubл. в БИ. — 2011. — № 5.
11. **Pat. 5.942.098 USA.** International Class C 25 B 001/00, C 25 C 001/20. Method of treatment of water and method and composition for recovery of presious metal / A. Sekissov, A. Paronyan, V. Kouzin, N. Lalabekyan. Filed 12.04.96.
12. **Рубцов Ю. И.** Разработка и научное обоснование ресурсосберегающей технологии скоростного кучного выщелачивания золота из скальных кварцевых руд: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — Чита: ЗабГУ, 2012. — 43 с.
13. **Фазлуллин М. И., Шаталов В. В., Гуров В. А., Авдонин Г. И., Смирнова Р. Н., Ступин В. И.** Перспективы подземного скважинного выщелачивания золота в России // Цв. металлы. — 2002. — № 10. — С. 39–46.
14. **Pat. 4752412 USA.** Precious metal recovery using ozone / W. Ph. van Antwerp, P. A. Lincoln. Filed 12.07.85.
15. **Yannopoulos J. C.** The extractive metallurgy of gold, Van Nostrand Reinhold, NY, 1991. — 281 p.
16. **Адушкин В. В., Опарин В. Н.** От явления знакопеременной реакции горных пород на динамические воздействия — к волнам маятникового типа в напряженных геосредах. Ч. 1 // ФТПРПИ. — 2012. — № 2. — С. 3–28.
17. **Опарин В. Н.** Геотехнологии будущего — геотехнологии “реакторного типа”: современные тенденции, научный задел, ключевые проблемы // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды: тр. Всерос. конф. с участием иностр. ученых. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2012. — С. 5–19.

Поступила в редакцию 28/1 2017