

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ РАЗВЕДКИ ТЕХНОГЕННЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

В. А. КОСЬЯНОВ¹, ректор, проф., д-р техн. наук

О. С. БРЮХОВЕЦКИЙ¹, проф., д-р техн. наук, bos.rggru@mail.ru

А. Г. СЕКИСОВ², врио директора, д-р техн. наук

А. А. ГРАБСКИЙ¹, зав. кафедрой, проф., д-р техн. наук

¹Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, Москва, Россия

²Институт горного дела ДВО РАН, Хабаровск, Россия

Введение

В связи с истощением минерально-сырьевой базы золота, ростом доли упорных руд при прогрессирующем снижении содержания металла объективно возрастает значимость вовлечения в эксплуатацию золотосодержащих техногенных образований.

На территории РФ накоплены значительные объемы отвалов и хвостов обогащения с содержанием золота, близким к текущему промышленному. Учитывая, что в большинстве случаев такое минеральное сырье требует существенно меньших затрат на добычу и переработку, чем первичное, в ближайшем будущем и даже на сегодняшний день оно может быть конкурентным источником получения этого благородного металла. Кроме производственно-коммерческого интереса, вовлечение такого техногенного сырья во вторичную эксплуатацию может попутно обеспечить и решение ряда экологических проблем.

Вместе с тем, в отличие от детальной и эксплуатационной разведки природных месторождений золота, данные которых позволяют с достаточной степенью определенности выбрать способ их разработки и технологию переработки добываемых руд или песков россыпей, разведка техногенных образований требует особого подхода. Это, во-первых, связано с тем, что такое сырье вследствие преимущественно сложных форм нахождения в нем золота («тонкого», чешуйчатого-«плавающего», инкапсулированного, дисперсного химически связанного) требует более глубокого изучения его вещественно-структурных особенностей на микро- и наномасштабе с привлечением современных средств электронной микроскопии. Во-вторых, вовлечение в эксплуатацию месторождений техногенного минерального сырья по многим условиям требует извлечения из них золота на месте его хранения. Соответственно, при освоении таких образований должны использоваться физико-химические геотехнологии, а в процессе их разведки необходимо устанавливать не только качественные характеристики минерального сырья, но его упорность при выщелачивании и фильтрационные параметры. Кроме того, вследствие высвобождения, локальной миграции и перераспределения золота в отвалах, отработанных штабелях кучного выщелачивания и хвостохранилищах, за годы взаимодействия техногенно трансформированного минерального сырья с физическими, химическими и микробиологическими агентами природной среды, необходимо исследовать и окружающие эти объекты горные породы и почвы.

Проведение пробоотборных выработок в массиве техногенных образований, в частности бурение разведочных скважин, должно осуществляться как для отбора представительных проб минеральной массы для ее минералогического и химического анализа, технологического тестирования, так и для исследования процесса

Отмечено истощение в настоящее время минерально-сырьевой базы рудного золота при прогрессирующем снижении его содержания, росте доли упорных руд. Предложены новые эффективные способы и технические средства разведки и разработки техногенных золотосодержащих минеральных образований.

Ключевые слова: техногенные образования, разведка, сложноизвлекаемые формы нахождения золота, вещественно-структурные особенности, геотехнологии, минеральное сырье, упорность при выщелачивании, разработка, новый способ.

DOI: 10.17580/gzh.2020.12.03

формирования в поровых растворах реагентной среды и перемещения в ней растворенного золота и других ценных компонентов [1–14].

Установление миграционной активности золота в этом случае необходимо для оценки возможности его перевода в подвижное состояние при различных, потенциально возможных геотехнологических вариантах освоения техногенного образования: скважинного выщелачивания, кучного выщелачивания, скважинной гидродобычи и их комбинаций. Соответственно, при разведке должна быть получена информация о миграционной активности выщелачиваемого золота и других ценных компонентов в различных сравнимых гидрофизических условиях. К таким оценочным параметрам при проведении геологоразведочных работ на техногенном объекте в первую очередь можно отнести: миграцию в потоке жидкости (выщелачивающий и продуктивный рабочие растворы), миграцию в объеме неподвижной жидкости (диффузия в пленочной фазе рабочего раствора, которым пропитана до полного влагонасыщения минеральная масса или диффузия в окомкованной массе, переуложенной в штабель и пропитанной выщелачивающим раствором). В ряде случаев, когда существует вероятность утечки продуктивных растворов при освоении техногенного образования, может быть исследована электродиффузионная миграция в условно статичной поровой жидкости минеральной массы, в которую вводят концентрированный выщелачивающий раствор и создают электрическое поле [15, 16].

Методы и результаты исследований

В МГРИ на кафедре гидравлики и гидрофизических процессов горного производства (в настоящее время вошла в состав кафедры «Горное дело») в ходе выполнения бюджетных и хозяйственных работ были обоснованы технические средства и технология проведения разведочных работ на техногенных золотосодержащих объектах, впоследствии получившие развитие в Институтах горного дела СО РАН и ДВО РАН применительно к условиям ряда отработанных штабелей кучного выщелачивания, хвостохранилищ и галеефельных отвалов Забайкальского края. Для отработанных штабелей кучного выщелачивания обоснована система разведки, включающая бурение разведочных скважин с обсадкой их перфорированными трубами со стадийной поинтервальной подачей выщелачивающих растворов в восходящем порядке и порционным сбором продуктивных растворов через оставшиеся в штабеле дренажные трубы. Поинтервальная оценка технологических параметров выщелоченной минеральной массы

отработанных штабелей кучного выщелачивания необходима, поскольку во многих случаях вследствие гипергенных процессов в ней по направлению от свободной поверхности с различной интенсивностью происходит трансформация структуры и вещественного состава (развитие дополнительных микротрещин и пор, окисление ее сульфидной, сульфоарсенидной и сульфосолевой составляющих атмосферным кислородом и продуктами жизнедеятельности бактерий, микроагрегация дисперсных форм золота в области поверхностей пор и микротрещин и т. д.). В результате этого уже через 3 года или 5 лет после окончания выщелачивания золота, доступного для контакта с рабочими растворами, появляется возможность доизвлечения его условно потерянной части. В связи с этим доизвлекаемую часть оставшегося в материале штабеля золота правильнее считать временно потерянной или, с целью урегулирования взаимоотношений между недропользователем и учетно-контролирующими органами, пролонгированной НЗП (незавершенной продукцией).

Наиболее представительные эксперименты по фотоэлектроактивационному кучному выщелачиванию из материала отработанных штабелей окомкованных и неокомкованных (перед выщелачиванием) руд месторождения Погромное с относительно высоким остаточным содержанием золота (0,72–0,78 г/т) были проведены авторами непосредственно на руднике «Апрелково». Предварительные лабораторные эксперименты, выполненные в лаборатории Читинского филиала ИГД СО РАН, показали, что извлечение (доизвлечение) золота цианидными растворами, подготовленными на базе фотоэлектроактивированных водогазовых эмульсий, из ранее окомкованных выщелоченных руд составляет 37,3 % без повторного окомкования и 58,3 % с повторным окомкованием. Проведенные параллельно эксперименты в крупнообъемных (с загрузкой до 100 кг) перколяторах на этом же материале, но со стандартными цианидными растворами, обеспечили извлечение золота без повторного окомкования 20,1 % и 35,6 % с окомкованием. Карбонатно-цианидные растворы на первом этапе использовали в пенетрационном режиме, т. е. с медленным заполнением растворами порового пространства при их капельной подаче в материал (плотность орошения порядка 2,5–3 л/(м²·ч) с последующей паузой в 2–3 сут перед орошением его цианидным раствором. Для эксперимента были отобраны по три крупнообъемные навески двух технологических проб выщелоченной минеральной массы с разных отработанных штабелей, ранее не окомкованных и окомкованных (с остаточными содержаниями золота 0,65 и 0,55 г/т соответственно). Одна из трех навесок каждой пробы служила контрольной. Как видно из графиков, приведенных на рис. 1, наиболее высокие уровни извлечения были достигнуты при использовании активационной схемы, несмотря на более низкое содержание цианидов в активном растворе по сравнению с контрольным.

Из материала отработанного штабеля с более высоким содержанием золота извлечение (доизвлечение) по активационной схеме составило 29 и 23,3 % (две верхние кривые), по контрольной – 21,9 %, из более бедной пробы извлечение золота по экспериментальным схемам составило 19,8 и 20,2 %, по контрольной – 17,3 %.

Пробирно-атомно-абсорбционный анализ сорбента – насыщенного золотом угля – подтвердил эффективность активационных схем.

Таким образом, геотехнологическое тестирование отобранных из отработанного штабеля кучного выщелачивания технологических проб на руднике «Апрелково» (ЗАО «Нордголд») показало, что предварительная геологическая разведка отработанных

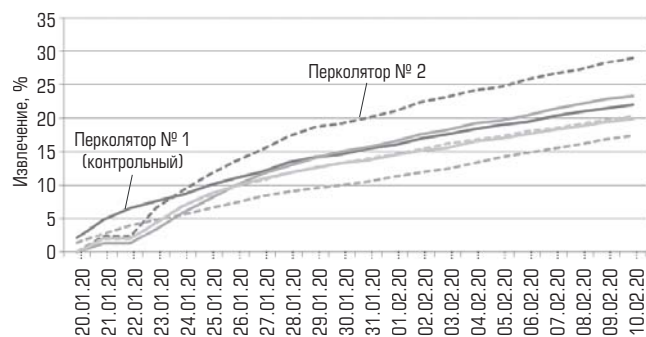


Рис. 1. Динамика извлечения золота из материалов отработанных штабелей (три верхних графика – из пробы с содержанием золота 0,65 г/т, три нижних графика – из пробы с содержанием золота 0,55 г/т). Соответствующие контрольные кривые занимают первое и четвертое положение снизу от оси абсцисс

штабелей КВ и тестирование минеральной массы с использованием инновационных технологий в этом случае являются объективно необходимыми процессами.

Другим, не менее значимым типом золотосодержащих техногенных образований, сформированным при разработке месторождений золота, являются хвосты флотационного обогащения руд и хвосты промывки песков россыпей [9, 15]. Основные особенности этих объектов – наличие в них двух или трех зон, выделяемых по вертикали с существенно различным содержанием золота и формами его нахождения, минеральным составом и гранулометрией дисперсной массы. Верхняя зона активных гипергенных преобразований, имеющая, как правило, мощность 1–2,5 м, может быть разведана закопашками или канавами с отбором и сокращением массовых проб, с отбором навесок для минералогического и химического анализа (в ряде наиболее сложных случаев и для электронно-микроскопного анализа). Нижние зоны выделяются по гранулометрическому и вещественному составу минеральной массы по результатам поинтервального опробования разведочных скважин. При этом должен осуществляться пробоотбор не только бурового материала, но и, главным образом, крупнообъемных порций минеральной массы для технологического тестирования. Причем пробоотбор из глубоких слоев хвостохранилищ или илоотстойников целесообразно выполнять поинтервальным размывом мини-гидромониторами околоскважинного пространства с гидродъемом и гидротранспортированием проб на поверхность.

Проведенные в ходе таких геолого-оценочных работ послышное (соответственно поинтервальное) опробование и тестирование трансформированного в ходе технологических процессов и последующих гипергенных воздействий материала позволяют установить области эффективного использования различных геотехнологических способов освоения техногенных образований этого типа. Для извлечения золота и других ценных компонентов из верхних слоев хвостохранилищ могут быть использованы схемы кюветного или кучного выщелачивания (с окомкованием минеральной массы), для отработки средних и нижних слоев – геотехнологии скважинного выщелачивания и/или скважинной гидродобычи.

Техногенные образования, сформированные при разработке россыпей, имеют свои специфические особенности как объекты разведки – повторной разработки: галезфельные и эфельные отвалы, а также хвосты промывки продуктивных песков.

Предлагается выделять следующие типы золотороссыпных техногенных образований – галезфельных отвалов и хвостов промывки песков (в том числе заботоренных) по соотношению форм нахождения золота.

1. Участок золотороссыпных техногенных образований, представленный минеральной массой с преобладающим гравииобогатимым золотом, малой долей (до 5 %) пластинчатого золота, незначительным (до 2 %) содержанием минералов шлихового комплекса при концентрации в нем инкапсулированного и дисперсного золота менее 0,1 г/т.

2. Участок золотороссыпных техногенных образований, включающий минеральную массу с гравииобогатимым золотом изометричной (комковидной, удлинённой и сложной) морфологии с преобладающей крупностью более 0,25 мм и «тонкое» золото пластинчатой формы в соотношениях не более 20:1.

3. Участок золотороссыпных техногенных образований, характеризующийся наличием минеральной массы, содержащей значительное (от 2 % по массе) количество шлиховых минералов с дисперсным и инкапсулированным золотом.

4. Участок золотороссыпных техногенных образований, представленный минеральной массой с высоким (от 0,5–0,7 г/т) содержанием золота в алевритовой фракции.

5. Участок золотороссыпных техногенных образований, содержащий минеральную массу с высоким содержанием как пластинчатых форм золота, так и его дисперсно-инкапсулированных форм шлиховых минералов и/или минералов алевритовой фракции.

Геолого-оценочные работы для объектов первых двух типов могут выполняться путем бурения скважин увеличенного диаметра с использованием пневмопробойников (разработка ИГД СО РАН) с поинтервальным отбором материала. Отобранный материал фракционируют, и мелкую фракцию промывают на лотках (выполняет это опытный техник-геолог). На основании результатов опробования устанавливают продуктивные слои, минеральную массу которых извлекают экскаватором, бульдозером или погрузчиком и промывают преимущественно на центробежных концентраторах.

Для остальных типов техногенных россыпных образований может быть использована разработанная авторами технологическая схема кюветного выщелачивания, представленная на **рис. 2**.

В соответствии с ней минеральную массу галезфельных отвалов стадийно фракционируют с последовательным отделением непродуктивных классов на грохотах и гидроциклонах, после чего продуктивный мелкофракционный материал подвергают последовательному кюветному (траншейному) выщелачиванию бесцианидными растворами. При предполагаемом использовании скважинного выщелачивания для доизвлечения золота из галезфельных отвалов, заботоренных хвостов промывки песков и оставленных межкотлованных целиков разведку можно проводить путем бурения вертикальных скважин двойного назначения – разведочных и эксплуатационных. При этом, помимо отбора минеральной массы в ходе бурения, необходимо выполнять и опытную закачку и откачку технической воды по смежным скважинам для определения коэффициента фильтрации. В случае низкой проницаемости минеральной массы техногенных образований для рабочих растворов, потенциальной опасности утечки продуктивных растворов целесообразно осуществлять их разведку с использованием процессов электродиффузионного выщелачивания с последующим электроосаждением на ионообменный сорбент выщелоченного золота. В случае использования скважинного электродиффузионного выщелачивания крупнообъемный проботбор для технологического

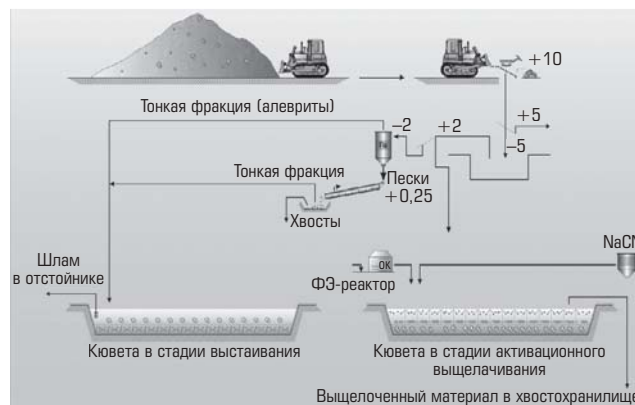
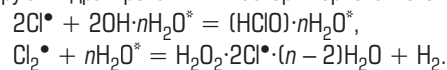


Рис. 2. Схема переработки галезфельных отвалов с использованием кюветного выщелачивания

тестирования минеральной массы можно не осуществлять, так как при этом оно практически выполняется на месте ее залегания. Суть предлагаемого способа разведочно-тестирующего скважинного электродиффузионного выщелачивания заключается в опытных закачках и выстаивании в минеральной массе концентрированного выщелачивающего гипохлоритно-хлоридного раствора, подготовленного предварительно в электрофотохимическом реакторе из исходного концентрированного раствора хлорида натрия и слабых растворов соляной кислоты. При облучении ультрафиолетовым светом молекулярный хлор переходит в активное состояние и частично распадается на два активных атома (радикала) $Cl_2^{ufo} \rightarrow Cl_2^* \rightarrow 2Cl^*$, которые при химическом взаимодействии с плочной водой и продуктами ее фотолитической диссоциации формируют гидратированный кластер хлорноватистой кислоты:



Активированный раствор закачивают через скважины, которые бурят по локально уплотненной сети, например 1,5·1,5 м. В скважины помещают электроды, на которые подают напряжение в диапазоне 8–12 В. При этом в поровом растворе начинается направленное перемещение образованных при выщелачивании комплексных золотохлоридных анионов $AuCl_4^-$, которые в электрическом поле периодически диссоциируют на катион золота и хлор-анион. Катионы золота диффундируют к катодам, вокруг которых размещается ионоselectивная на золото смола (см. рис. 2).

Апробация электродиффузионного способа разведки-разработки техногенных образований осуществлена авторами совместно с сотрудниками Читинского филиала ИГД СО РАН на одном из заботоренных хвостов промывки и галезфельных отвалов прииска ЗАО «Кварц», россыпь Кручина (**рис. 3**). При содержании в нижней части отвала золота, равном 0,32 г/м³, извлечение из опытного блока составило 73 %.

Важным отличием электродиффузионного метода разведки галезфельных отвалов и хвостохранилищ является возможность не только установления данных о минеральном и элементном составе отложений, но и оценки технологичности процесса выщелачивания из них золота. Таким образом, обеспечивается параллельное получение информации о вещественном и гранулометрическом составе минеральной массы в опробуемых интервалах и реальных параметрах выщелачивания золота.

Для освоения таких комбинированных золотосодержащих техногенных образований, как хвосты промывки песков,



Рис. 3. Внутрискважинный медный катод с оболочкой из ионообменной смолы

заботоренные с галезфельными отвалами, в составе которых может находиться и крупное самородное золото, высвобожденное при размокании комков глины, предлагается комбинированный способ разведки-разработки (рис. 4).

Способ включает бурение скважин 1, 2 первой очереди до поверхности, на которой размещен галезфельный отвал. Бурят контрольные разведочные скважины 3 второй очереди с заглублением ниже уровня этой поверхности на 1–1,5 м. Производят опробование бурового материала этих скважин, на основе которого устанавливают некондиционные зоны и границы зоны концентрирования «свободного» и наличие (отсутствие) переосажденного золота в подстилающей толще. По результатам опробования в продуктивной части 4 галезфельного отвала также выделяют зоны 5 с гравобогатым золотом, зоны 6 со средним содержанием золота, зоны 7 с низким содержанием золота. Скважины 1 богатых зон 5 расширяют шнеком 8, а извлеченную при этом минеральную массу подвергают гравитационному обогащению; полученные вторичные хвосты, содержащие дисперсные формы золота, возвращают в места исходной локализации. На основной стадии освоения галезфельного отвала осуществляют электродиффузионное выщелачивание золота. Для этого по центру 9 скважин 1 со стенками 10 устанавливают дренажную трубу 11 с перфорированной нижней частью 12, которая опирается на подстилающую толщу 13 через пята 14 с направляющими 15 для гибких перфорированных труб 16 с оголовками 17. Сетчатый каркас 18, установленный на мощность 19 продуктивного пласта 4, соединяют с кольцевыми перфорированными трубами 20 и с ребрами жесткости 21. В сетчатом каркасе 18 на уровне 22 перфорированной нижней части 12 дренажной трубы 11 находятся хвосты гравитационного обогащения 23.

Данный способ разведки-разработки комбинированных золотосодержащих техногенных образований позволяет выявить зоны с различным содержанием золота и извлечь без потерь при выщелачивании самородки, а также обеспечить полноценный

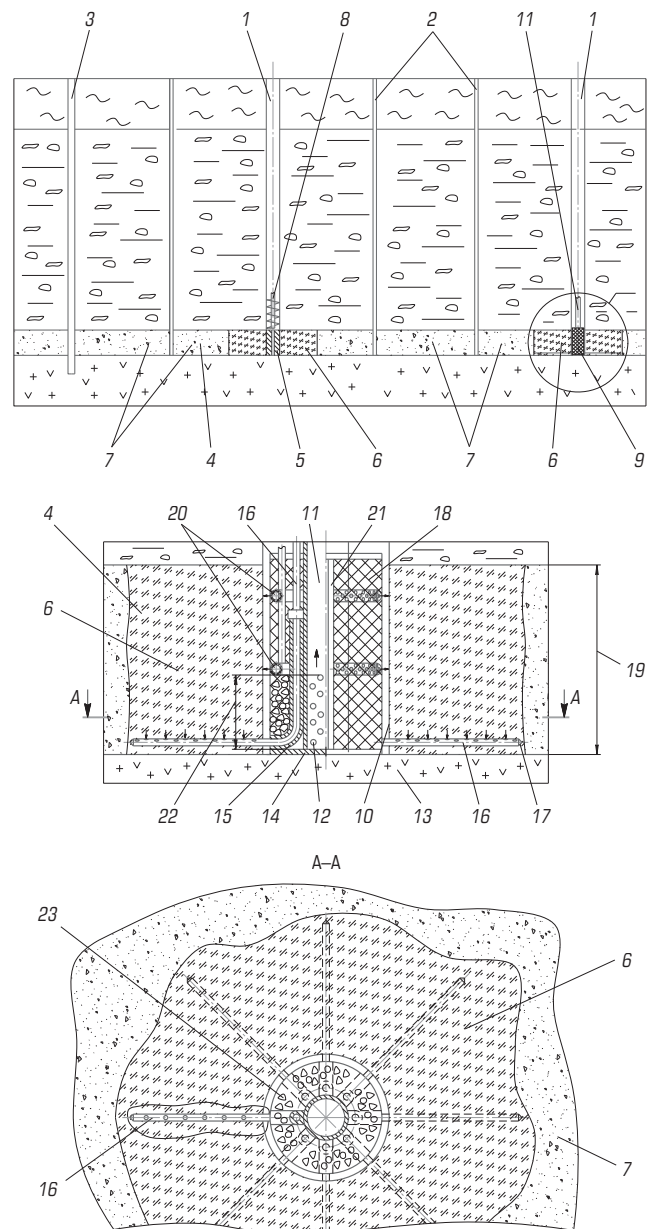


Рис. 4. Способ разведки-разработки галезфельных отвалов с общей схемой размещения разведочных скважин

перевод в технологические растворы мелкого, тонкого и дисперсного золота.

Выводы

1. Техногенные золотосодержащие минеральные образования в силу общей тенденции снижения содержания золота в добываемых рудах и песках россыпей становятся промышленными объектами, которые перед эксплуатацией должны пройти стадию геологической разведки и технологического тестирования. Поэтому актуальны научные исследования и инженерно-технические разработки, целью которых является изучение минералоготехнологических свойств золотосодержащего сырья и создание технологий и технических средств разведки и разработки техногенных золотосодержащих минеральных образований.

2. Такие техногенные образования, как отвалы забалансовых руд, отработанные штабели кучного выщелачивания,

хвостохранилища характеризуются не только различным содержанием и формами нахождения золота, но и гранулометрическим составом минеральной массы, степенью трансформации минерального сырья, сопровождающейся высвобождением, локальной миграцией и переосаждением золота. Эти особенности техногенных образований требуют использования при их разведке специальных методов и технических средств пробоотбора. Учитывая, что при их освоении применяют физико-химические геотехнологии для установления эффективных гидродинамических и гидрогеохимических параметров процессов, технологическое тестирование техногенно-трансформированной минеральной массы целесообразно осуществлять на месте залегания.

3. Предложены новые технические средства и технологии пробоотбора при проведении геологической разведки и технологической оценки техногенных минеральных образований: отвалов, отработанных штабелей кучного выщелачивания и хвостохранилищ.

Для отработанных штабелей кучного выщелачивания обоснована система разведки, включающая бурение разведочных скважин с обсадкой их перфорированными трубами со стадийной поинтервальной подачей выщелачивающих растворов в восходящем порядке и порционным сбором продуктивных растворов через оставшиеся в штабеле дренажные трубы. Для проведения геологической разведки и технологической оценки хвостохранилищ отвальных продуктов флотационного обогащения руд, промывки песков россыпей, а также галезфельных и эфельных отвалов предложено осуществлять пробоотбор не только бурового

материала, но и крупнообъемных порций минеральной массы для технологического тестирования путем поинтервального размыва мини-гидромониторами околоскважинного пространства с гидроподъемом и гидротранспортированием проб на поверхность.

Обосновано, что в случае низкой проницаемости минеральной массы техногенных образований для рабочих растворов, потенциальной опасности утечки продуктивных растворов целесообразно осуществлять их разведку с использованием процессов электродиффузионного скважинного выщелачивания с последующим электроосаждением на ионообменный сорбент выщелоченного золота.

Предлагаемые способы и технические средства разведки максимально адаптированы к особенностям различных золотосодержащих техногенных образований и могут в ближайшее время найти практическое применение.

В дополнение следует отметить, что использование физико-химических геотехнологий при разведке-разработке и переработке техногенного сырья, обеспечивающих взаимосвязь геозоологических и технологических процессов, позволяет не только разработать эффективные промышленные методы повышения извлечения золота, но и снизить уровень загрязнения среды токсичными реагентами и тяжелыми металлами.

Библиографический список

См. англ. блок. **ГЖ**

«GORNYI ZHURNAL», 2020, № 12, pp. 16–20
DOI: 10.17580/gzh.2020.12.03

Promising technology and equipment for exploration of gold-bearing manmade mineral deposits

Information about authors

V. A. Kosyanov¹, Rector, Professor, Doctor of Engineering Sciences

O. S. Bryukhovetskiy¹, Professor, Doctor of Engineering Sciences, bos.rgrgu@mail.ru

A. G. Sekisov², Acting Director, Doctor of Engineering Sciences

A. A. Grabskiy¹, Head of a Chair, Professor, Doctor of Engineering Sciences

¹Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

²Institute of Mining, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia

Abstract

Large-volume dumps and tailings ponds at gold placers in the territory of Russia hold gold at the content close to the commercially attractive value. In the meanwhile, the amount of gold in profitable cut-off is steadily decreasing. In connection with this, it is important to commence extraction of gold from gold-bearing mining and processing waste. Alongside with commercial production interest, recycling of gold-bearing manmade raw material can help meet some environmental challenges. As against the detailed and operational exploration of natural gold deposits, exploration of mining and processing waste requires a nontrivial approach as waste contains difficult gold, including dispersed and chemically bonded particles, which requires an in-depth study into the substance and structure of such gold at micro and nano scale. Recycling of manmade mineral raw material in many cases assumes extraction of gold from it at the site of its storage. Accordingly, development of such waste needs innovative physicochemical geotechnologies, and exploration should involve assessment of quality characteristics and leaching resistance of the material. The authors propose new methods of sampling in prospecting headings inside mining and processing waste bodies. Exploration drilling should include local interval washout for representative sampling required for the mineralogical and chemical analyses, as well as for testing. To study formation of a reagent medium in pore solutions of manmade mineral raw material and to examine dissolved gold flow in the reagent medium, a new method is proposed for the mining waste exploration with arrangement of a system of additional umbrella sprinklers and catchers of test and pregnant solutions inside the body of waste mass, with feed via larger diameter holes.

Keywords: mining and processing waste, exploration, difficult gold, substance and structure features, geotechnology, mineral raw material, leaching resistance development, new method.

References

- Bryukhovetskiy O. S., Sekisov A. G., Lavrov A. Yu., Rasskazova A. V. Improvement of development efficiency in multi-component refractory gold ore fields using in-situ leaching. *Gornyi Zhurnal*. 2020. No. 2. pp. 66–69. DOI: 10.17580/gzh.2020.02.09
- Bobadilla-Fazzini R. A., Pérez A. G., Gautier V., Jordan H., Parada P. Primary copper sulfides bioleaching vs. chloride leaching: Advantages and drawbacks. *Hydrometallurgy*. 2017. Vol. 168. pp. 26–31.
- Rubtsov Yu. I. Role of hydrogen ions in standard and activation heap leaching of gold. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017. Vol. 53. 012033 DOI: 10.1088/1755-1315/53/1/012033
- Cepeda-Pérez E., de Jonge N. Dynamics of gold nanoparticle clusters observed with liquid-phase electron microscopy. *Micron*. 2019. Vol. 117. pp. 68–75.
- Ming Xu, Soliman M. G., Xing Sung, Pelaz B., Feliu N. et al. Complicates the Prediction of *in Vitro* and *in Vivo* Interactions of Gold Nanoparticles. *Acs Nano*. 2018. Vol. 12, No. 10. pp. 10104–10113.
- Verkhovtsev A., Korol A. V., Solovyov A. V. Formalism of collective electron excitations in fullererenes. *The European Physical Journal D*. 2012. Vol. 66, No. 10. 253. DOI: 10.1140/epjd/e2012-30177-2
- Shenghua Yin, Leiming Wang, Aixiang Wu, Free M. L., Kabwe E. Enhancement of copper recovery by acid leaching of high-mud copper oxides: A case study at Yangla Copper Mine, China. *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 202. pp. 321–331.
- Holley E. A., Yu Ting Yu, Navarre-Sitchler A. Winterton J. Quantitative mineralogy and geochemistry of pelletized sulfide-bearing gold concentrates in an alkaline heap leach. *Hydrometallurgy*. 2018. Vol. 181. pp. 130–142.
- Van Staden P. J., Petersen J. The effects of simulated stacking phenomena on the percolation leaching of crushed ore, Part 1: Segregation. *Minerals Engineering*. 2018. Vol. 128. pp. 202–214.
- Velásquez-Yévenes L., Torres D., Toro N. Leaching of chalcocite ore agglomerated with high chloride concentration and high curing periods. *Hydrometallurgy*. 2018. Vol. 181. pp. 215–220.
- Sekisov A. G., Rasskazova A. V. Method of leaching gold from refractory ores. Patent RF, No. 2647961. Applied: 09.06.2017. Published: 21.03.2018. Bulletin No. 9.
- Rasskazova A. V. Leaching of base gold-bearing ore with chloride-hypochlorite solutions. *Proceedings of the XXIX International Mineral Processing Congress*. Moscow, 2018. pp. 4093–4098.
- Naumov V. A., Ilaltdinov I. Ya., Naumova O. B., Koltsov V. A. The assessment of the contents of gold in alluvial technogenic deposits. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2013. No. 4.
- Rylnikova M. V., Radchenko D. N., Aks V. V. Classification of man-made georesources in the prospects for integrated development of ore deposits. *GIAB*. 2012. No. 2. pp. 318–324.
- Tauson V. L., Kravtsova R. G., Lipko S. V., Makshakov A. S., Arsentev K. Yu. Surface Typochemistry of Native Gold. *Doklady Earth Sciences*. 2018. Vol. 480, Iss. 1. pp. 624–630.
- Altushkin I. A., Korol Yu. A., Levin V. V., Bakin A. V. Extraction of copper from the Gumeshev mine waters. *Tsvetnye Metally*. 2019. No. 6. pp. 13–21. DOI: 10.17580/tsm.2019.06.02